

## Propuesta Seneca Libre LTDA – Modelado

**Presentado por: Juan Manuel Jáuregui Rozo**

Como firma consultora especializada en soluciones de modelado, optimización y simulación, nuestro compromiso es mejorar los procesos de empresas con propuestas estructuradas y escalables. En este documento, presentamos una solución para el problema de optimización logística planteado por Seneca Libre LTDA., utilizando un enfoque formal basado en la metodología propuesta por el experto Fernando Alonso, gerente de logística y distribución de la empresa. Nuestro objetivo es ofrecer un modelo que no solo resuelva los inconvenientes actuales, sino que prepare a la empresa para el escalamiento de sus servicios, maximizando la eficiencia en la gestión de su flota y recursos logísticos.

Teniendo en cuenta la propuesta de Fernando Alonso, el modelo que se propone se centra en implementar doce (12) nuevos centros de distribución que estén ubicados de forma estratégica en la ciudad de Bogotá, los cuales podrán reemplazar progresivamente el centro de distribución de Funza. Esta propuesta busca satisfacer los objetivos clave como el aumento de la eficiencia y efectividad de los recursos, la expansión de la cobertura de entrega y garantizar la satisfacción de los clientes. Adicionalmente, este enfoque es ideal ya que el centro de distribución actual tiene una capacidad limitada y a futuro esto puede ser un gran problema para la escalabilidad de la empresa. Por otro lado, los vehículos están ubicados siempre en el único centro de distribución. Allí se cargan y se despachan para los diferentes puntos de envío. Esto resulta bastante ineficiente y genera problemas de planificación y ejecución. Al tener nuevos centros de distribución que estén ubicados estratégicamente, se pueden reducir los tiempos de entrega y aumentar la cobertura de la empresa. De esta manera, se pueden reducir costos de operación asociados a los vehículos y a la distancia recorrida. Otro aspecto fundamental de esta propuesta es la resiliencia que puede adquirir la empresa. Si en algún momento se presentan demoras o fallas en algún centro de distribución, otro puede absorber la demanda y garantizar la satisfacción de los clientes.

Teniendo en cuenta esta contextualización y los elementos cruciales para la empresa, a continuación, se presentará el modelo propuesto. Es importante mencionar que la propuesta se dividirá en diferentes aspectos. Primero, se presentarán los conjuntos que se tienen en este problema. Esta es la base para poder proponer un modelo de optimización y además es importante para el entendimiento del caso. Segundo, se presentarán los parámetros que son claves para modelar el problema. En este caso, los parámetros pueden estar asociados a los diferentes costos, distancias, pesos y demás. Tercero, se presentarán las variables de decisión que harán parte del modelo matemático. Estas variables son cruciales para combinarlas con los parámetros y generar las funciones objetivo. Cuarto, se presentará la función objetivo que hace parte del caso. En este contexto, se busca minimizar costos, tiempos o distancias. Finalmente, se presentarán las diferentes restricciones que completan el modelado del problema. Estas restricciones son fundamentales para poder modelar correctamente la solución.

### Conjuntos

En el contexto de la empresa se tienen una serie de conjuntos que son la base de la solución. Primero, se tiene el conjunto  $V$  que es el conjunto de vehículos disponibles. Segundo, se tiene el conjunto  $A$  que es el conjunto de centros de distribución que se tendrán en la empresa. Tercero, se tiene el conjunto  $P$  que es el conjunto de puntos de entrega de la empresa. Finalmente, se tiene el conjunto  $E$  que es el conjunto de estaciones de recarga para los vehículos. A continuación, se presenta un resumen más claro de los diferentes conjuntos.

$V \rightarrow$  Conjunto de vehículos disponibles

## Propuesta Seneca Libre – Entrega 1

Juan Manuel Jauregui - 201922481

$A \rightarrow$  Conjunto de centros de distribución

$P \rightarrow$  Conjunto de puntos de entrega

$E \rightarrow$  Conjunto de estaciones de recarga

Para aspectos técnicos de la implementación se propone unir los conjuntos  $A$  y  $P$  como un conjunto  $N$ .

### Parámetros

A continuación, se presentarán los diferentes parámetros que son necesarios para poder modelar el problema. En este caso, se tienen costos, tiempos, distancias, etc. Primero, se tiene el costo por minuto de carga de los artículos en los vehículos ( $V_{carga}$ ). Segundo, se tiene el tiempo total diario empleado en cargar los vehículos en minutos ( $T_{kgxv}$ ). Tercero, se tiene la distancia total diaria recorrida por los vehículos en km ( $D_{viaje,diario}$ ). Cuarto, se tiene el costo por kilómetro recorrido incluyendo combustible, energía y desgaste ( $C_{km}$ ). Quinto, se tiene el tiempo total diario de viaje de los vehículos en horas ( $T_{viaje,diario}$ ). Sexto, se tiene el costo por hora de operación del vehículo ( $C_{hora}$ ). Séptimo, se tiene el costo por unidad de energía o combustible ( $C_{fuel}$ ). Octavo, se tiene la cantidad diaria de combustible o energía necesaria para la flota ( $Q_{fuel,diario}$ ). Noveno, se tiene el tiempo de recarga diario de los vehículos ( $T_{recarga,diario}$ ). Décimo, se tiene el costo mensual de mantenimiento de cada vehículo ( $F_{mantenimiento}$ ). Undécimo, se tiene el número total de vehículos en la flota ( $N_{vehículos}$ ). Duodécimo, se tiene la distancia recorrida del centro de distribución  $i$  al punto de entrega  $j$  ( $d_{i,j}$ ) donde  $i \in N$  y  $j \in N$ . Decimotercero, se tiene la capacidad transportada del centro de distribución  $i$  al punto de entrega  $j$  ( $c_{i,j}$ ) donde  $i \in N$  y  $j \in N$ . Decimocuarto, se tiene la capacidad total transportada por los vehículos ( $C_{viaje,diario}$ ). Finalmente, se tiene la capacidad de cada vehículo ( $v_{vehículo}$ ). A continuación, se presenta un resumen más claro de los diferentes parámetros.

$V_{carga} \rightarrow$  Costo por minuto de carga de los artículos en los vehículos

$T_{kgxv} \rightarrow$  Tiempo total diario empleado en cargar los vehículos en minutos

$D_{viaje,diario} \rightarrow$  Distancia total diaria recorrida por los vehículos en km

$C_{km} \rightarrow$  Costo por kilómetro recorrido incluyendo combustible, energía y desgaste

$T_{viaje,diario} \rightarrow$  Tiempo total diario de viaje de los vehículos en horas

$C_{hora} \rightarrow$  Costo por hora de operación del vehículo

$C_{fuel} \rightarrow$  Costo por unidad de energía o combustible

$Q_{fuel,diario} \rightarrow$  Cantidad diaria de combustible o energía necesaria para la flota

$T_{recarga,diario} \rightarrow$  Tiempo de recarga diario de los vehículos

$F_{mantenimiento} \rightarrow$  Costo mensual de mantenimiento de cada vehículo

$N_{vehículos} \rightarrow$  Número total de vehículos en la flota

$d_{i,j} \rightarrow$  Distancia recorrida del centro de distribución  $i$  al punto de entrega  $j$

$c_{i,j} \rightarrow$  Capacidad transportada del centro de distribución  $i$  al punto de entrega  $j$

## Propuesta Seneca Libre – Entrega 1

Juan Manuel Jauregui - 201922481

$D_{viaje,diario} \rightarrow$  Distancia total diaria recorrida por los vehículos en km

### Variables de decisión

En el marco de esta solución, se plantean dos variables de decisión con el fin de obtener el mejor resultado posible. En este caso, se tienen que ponderar muchos aspectos importantes. Entre estos aspectos se tienen las ubicaciones de los nuevos centros de distribución, la cobertura de los centros de distribución con respecto a las zonas de entrega de productos y la cobertura de cierto vehículo a cierta zona de distribución. A continuación, se presenta un resumen más claro de las variables de decisión.

$$x_{i,j,k} \in \{0,1\}$$

$\rightarrow$  Variable binaria que indica si el punto de entrega  $j$  es atendido por el centro de distribución  $i$  mediante el uso del vehículo  $k$

$$u_i \in N \rightarrow \text{Variable que representa el orden de visitas}$$

### Función objetivo

En este caso, se planteará una sola función objetivo para poder resolver el problema. Para una futura implementación, plantear más de una función objetivo sería un problema y realmente con una sola expresión es posible minimizar los costos, distancias y tiempos que harían que la empresa crezca y solucione sus problemas actuales. Específicamente, la expresión que se planteará a continuación busca minimizar los costos operativos diarios que incluyen la carga de los vehículos, la distancia recorrida, el tiempo de viaje la recarga de combustible/energía y el mantenimiento de los vehículos.

$$\min \left( \sum_{i \in U} \sum_{v \in V} x_{i,j,k} (C_{distancia,diario} + C_{tiempo,diario} + C_{recarga,diario} + C_{mantenimiento,diario}) \right)$$

En esta expresión, los términos que se presentan se pueden desglosar de la siguiente forma:

$$C_{distancia,diario} = D_{viaje,diario} * C_{km} \rightarrow \text{Costo diario asociado a la distancia recorrida por los vehículos}$$

$$C_{tiempo,diario} = T_{viaje,diario} * C_{hora} \rightarrow \text{Costo diario asociado con el tiempo de operación de los vehículos}$$

$$C_{recarga,diario} = (C_{fuel} * Q_{fuel,diario}) + (T_{recarga,diario} * C_{hora}) \rightarrow \text{Costo de recarga de combustible/energía}$$

$$C_{mantenimiento,diario} = F_{mantenimiento} * N_{vehiculos} \rightarrow \text{Costo diario de mantenimiento de la flota}$$

### Restricciones

En el marco de esta propuesta, se tienen una serie de restricciones que hacen que el problema sea coherente y se cumplan con todos los límites y capacidades que tiene la empresa. En ese sentido, se presentarán siete (7) restricciones clave. Primero, se tiene la restricción asociada a la distancia recorrida por los vehículos en un día. La suma de la distancia recorrida para cada entrega de un centro de distribución a un punto de entrega debe ser menor que la distancia total recorrida en un día. Segundo, se tiene la restricción asociada a la capacidad de los vehículos. El total de la demanda atendida por cada vehículo no debe exceder su capacidad. Tercero, se tiene la restricción asociada a que cada vehículo debe salir de cada centro de distribución o punto de entrega exactamente una vez. Cuarto, se tiene la restricción asociada a que cada vehículo debe llegar a un centro de distribución o punto de entrega exactamente una vez. Quinto, se tienen que evitar las subrutas para cada vehículo. Sexto, cada punto de entrega o centro de distribución

## Propuesta Seneca Libre – Entrega 1

Juan Manuel Jauregui - 201922481

debe enviar y sacar un único flujo. Finalmente, se debe garantizar que no hay cruce entre vehículos. A continuación, se presentan las expresiones matemáticas asociadas a cada una de las restricciones.

1. Distancia total recorrida por los vehículos en un día

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in V} d_{i,j} x_{i,j,k} \leq D_{viaje, diario}$$

2. Capacidad total transportada por los vehículos en un día

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in V} c_{i,j} x_{i,j,k} \leq C_{viaje, diario}$$

3. Restricción de salida de cada nodo

$$\sum_{j \in N} x_{i,j,k} = 1, \forall i \in N, \forall k \in V$$

4. Restricción de entrada de cada nodo

$$\sum_{i \in N} x_{i,j,k} = 1, \forall j \in N, \forall k \in V$$

5. Evitar subrutas utilizando MTZ

$$u_{i,j} - u_{i,j} + |N| x_{i,j,k} \leq |N| - 1, \forall k \in V, \forall i, j \in N \mid i \neq j \mid i \neq 0 \mid j \neq 0$$

6. Cada nodo envía y recibe un único flujo

$$\sum_{j \in P} x_{i,j,k} \mid i \neq j - \sum_{j \in N} x_{i,j,k} \mid i \neq j = 0, \forall i \in N, \forall k \in V \mid i \neq 0$$

7. No hay cruce entre vehículos

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in V} x_{i,j,k} = 1 \mid i \neq j$$

Como se puede ver, se tienen en cuenta todas las diferentes variables y parámetros para poder optimizar los procesos de la empresa y de esta forma minimizar la función objetivo lo que más se pueda.

### Consideraciones finales

La propuesta de implementar doce nuevos centros de distribución, como sugiere Fernando Alonso, representa una estrategia clave para optimizar las operaciones logísticas de Seneca Libre. Este enfoque, hará que se reduzcan significativamente los tiempos de entrega y los costos operativos diarios y además se incrementará la resiliencia y flexibilidad ante posibles interrupciones. Este modelo permite una mejor gestión de la demanda creciente y prepara a la empresa para expandirse de manera eficiente. Además, al disminuir las distancias recorridas y mejorar la eficiencia en la carga y operación de los vehículos, se avanzará en las metas de sostenibilidad al reducir el consumo de combustible y las emisiones de carbono. Por lo tanto, esta solución ofrece una respuesta integral a los desafíos actuales y futuros, garantizando que Seneca Libre mantenga su liderazgo en un mercado cada vez más competitivo.