

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Industrial

Ingeniería Civil Logística



“Propuesta de sistema de apoyo a las decisiones de ruteo para el transporte marítimo de personal, en el área Producción Mar, Ventisqueros S.A.”.

OCTAVIO ALEJANRO ROBLES FUENTES

**INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL LOGÍSTICO**

Profesor Guía:

Sr. Cristian Oliva San Martín

Profesor informante:

Sr. Patricio Cea Echeverría

Concepción, Diciembre de 2015.-

Resumen

El estudio de un sistema de transporte integrado permite prever falencias que aumentan el costo al proceso, puesto que muchos de estos costos son evitables.

De esta manera, la empresa Ventisqueros S.A., en su área “Producción Mar”, consciente de estos sobrecostos, requirió de un sistema de apoyo a las decisiones de ruteo para su personal que debe trasladarse a través de los centros desplegados en las costas de Río Negro, Región de Los Lagos, de manera de hacer más eficiente el procedimiento.

Así mismo, se recopiló información del personal, como datos numéricos históricos para comprender el sistema en plenitud, y poder desarrollar un modelo matemático.

El estudio debió basarse en la gama de *Vehicle Routing Problems* (VRPs) existentes en la literatura, para así modelar los requerimientos propios del problema, obteniendo una función objetivo y restricciones que garanticen factibilidad.

El modelo propuesto debió llevarse a la práctica a través de una herramienta de programación, que entregó resultados que satisficieron los requerimientos entregados en un principio.

Además, se hizo una comparación entre casos reales versus los resultados entregados por la programación comprobándose un ahorro económico estimado del 5 % en el sistema.

Finalmente, se hicieron recomendaciones a la empresa, para mejorar el proceso actualmente utilizado.

Summary

The study of an integrated transport system allows the prevention of flaws that increase the process cost, since many of these costs are avoidable.

In this way, the company Ventisqueros S.A., in their area “Producción Mar”, aware of these overruns, required a system to support the decisions of routing for their staff that must move through the centers deployed on the shores of Río Negro, Región de Los Lagos, to make the procedure more efficient

Likewise, staff's information was compiled, such as historical numerical data to understand the system in its fullness, and being able to develop a mathematical model.

The study had to be based on the Vehicle Routing Problems (VRPs) range existing in literature, in order to model the specific requirements of the problem, obtaining a target function to ensure feasibility.

The proposed model had to be tried using a programming tool, that delivered the results, which satisfied the requirements provided at the beginning.

Also, a comparison was made between real cases and the results delivered by the programation, verifying an economical profit of about 5 % on the system.

Finally, recommendations were made to the company, to improve the process currently used.

Dedicatorias y Agradecimientos

*A mi núcleo familiar, mi madre, Maritza Fuentes
y mi hermana, Camila Robles.*

Agradecer a mi madre, a quien le debo cada uno de mis logros. Su entereza ha forjado nuestra familia, y que con su amor, apoyo e incondicionalidad han permitido formarme personal y profesionalmente.

A Camila, mi hermana, quien ha estado presente aportando momentos de distensión, que hacen más agradables los días.

A mi madrina, Alvarita Fuentes, quien me ha entregado apoyo y cariño desde que tengo uso de razón, y ha representado una segunda figura materna.

A mi polola, Francisca Sanhueza, quien me entrega su amor, confianza, y ayuda incondicional, siendo parte fundamental en esta etapa de mi vida.

Agradecer a Alex Villivar por su excelente disposición y ayuda en la realización de este proyecto de título y a Ventisqueros S.A. empresa que me permitió realizar este proyecto bajo su alero.

Finalmente, a las personas que creyeron en mí, que confiaron en mis capacidades y me brindaron su apoyo.

Tabla de contenido

Resumen	ii
Summary	iii
Dedicatorias y Agradecimientos	iv
1. Capítulo I: Introducción	- 8 -
1.1. Presentación del Proyecto	- 8 -
1.2. Objetivo General	- 9 -
1.3. Objetivos Específicos	- 9 -
1.4. Justificación del Problema	- 9 -
1.5. Metodología	- 11 -
1.6. Delimitación del Problema	- 15 -
2. Capítulo II: Marco Teórico	- 18 -
2.1. Evolución de la formulación del VRP	- 18 -
2.2. VRP heterogéneos	- 20 -
2.2.1. Literatura relacionada con VRP heterogéneos	- 21 -
2.2.2. Modelo clásico VRP heterogéneo	- 23 -
2.3. VRP con entregas y recogidas	- 24 -
2.3.1. Literatura relacionada VRP con entrega y recogida	- 26 -
2.3.2. Modelo clásico VRP con entrega y recogida	- 27 -
2.4. Métodos de resolución	- 30 -
2.4.1. Métodos exactos	- 30 -
2.4.2. Heurísticas	- 30 -
2.4.2.1. Metaheurísticas	- 32 -
2.4.3. Algoritmos híbridos	- 32 -
2.5. Metodologías utilizadas en la literatura	- 33 -
3. Capítulo III: Desarrollo del Problema	- 35 -
3.1. Diagnóstico	- 35 -
3.2. Formulación del Problema	- 41 -
3.2.1. Programación Lineal Entera	- 41 -
3.2.1.1. Modelo Propuesto	- 42 -
3.3. Heurística constructiva basada en el vecino más cercano	- 46 -
3.3.1. Restricciones del problema	- 49 -
3.3.2. Algoritmo propuesto	- 49 -
3.4. Programación del Problema	- 53 -
3.4.1. Desarrollo de la programación	- 53 -
3.5. Desarrollo caso ejemplo	- 56 -
3.5.1. Factibilidad de la ruta arrojada	- 59 -
3.6. Análisis comparativo: Sistema actual versus Sistema propuesto.	- 63 -
4. Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones	- 68 -
4.1. Conclusiones	- 68 -
4.2. Recomendaciones	- 71 -
Bibliografía	- 73 -
Referencias	- 77 -

Índice de Tablas

Tabla N°1: Coordenadas centros de engorda actuales.....	-11-
Tabla N°2: Centros de engorda concesionados.....	-16-
Tabla N°3: Propiedades según el tipo de VRP.....	-33-
Tabla N°4: Literatura y enfoques de resolución.....	-34-
Tabla N°5: Consumo estimado embarcaciones.....	-39-
Tabla N°6: Costos fijos embarcaciones.....	-39-
Tabla N°7: Conjuntos del modelo propuesto.....	-43-
Tabla N°8: Variables del modelo propuesto.....	-43-
Tabla N°9: Parámetros del modelo propuesto.....	-44-
Tabla N°10: Detalle pasajeros origen.....	-60-
Tabla N°11: Detalle Carga acumulada.....	-60-
Tabla N°12: Detalle tiempos.....	-61-
Tabla N°13: Costo Total.....	-62-

Índice de Gráficos:

Gráfico N°1: Consumo embarcaciones.....	-39-
Gráfico N°2: Sistema actual versus sistema propuesto (Semana 17 al 22 agosto).....	-64-
Gráfico N°3: Sistema actual versus sistema propuesto (Días anexos).....	-65-

Índice de Ilustraciones:

Ilustración N°1: Distribución general centros engorda de peces. Ventisqueros S.A.....	-16-
Ilustración N°2: Distribución flota heterogénea.....	-20-
Ilustración N°3: Distribución con entregas y recogidas.....	-25-
Ilustración N°4: Distribución centros engorda de peces con funciones de cultivo actual. Ventisqueros S.A.....	-37-
Ilustración N°5: Interfaz principal.....	-53-
Ilustración N°6: Pestaña ingreso de datos.....	-54-
Ilustración N°7: Menú ingreso de datos.....	-54-
Ilustración N°8: Pestaña resultados.....	-55-
Ilustración N°9: Menú resultados.....	-56-
Ilustración N°10: Detalle datos de entrada.....	-57-
Ilustración N°11: Matriz distancia más corta con respecto al centro Cholgo.....	-57-
Ilustración N°12: Matriz distancia más corta, considerando todos los vértices.....	-58-
Ilustración N°13: Resultados arrojados por el programa.....	-59-
Ilustración N°14: Distribución de lanchas según resultados.....	-62-

Índice de Imágenes

Imagen N°1: Centro Cholgo.....	-10-
Imagen N°2: Ventisqueros S.A.....	-15-
Imagen N°3: Centro engorda de peces, Ventisqueros S.A.....	-17-
Imagen N°4: Centro engorda de peces. Ventisqueros S.A.....	-36-
Imagen N°5: Embarcaciones para traslado de personal.....	-38-

Índice de Diagramas

Diagrama N°1: Flujo general del problema.....	-48-
Diagrama N°2: Flujo algoritmo propuesto.....	-52-

Índice de Anexos

ANEXO A: TIPOS DE VEHICLE ROUTING PROBLEM, VRP.....	-80-
ANEXO B: ENCUESTA, MEDICIÓN Y EVALUACIÓN	-82-
ANEXO C: PROGRAMACIÓN SISTEMA DE APOYO A LAS DECISIONES DE RUTEO.....	-88-
ANEXO D: MATRICES DISTANCIA Y TIEMPOS.....	-133-
ANEXO E: DETALLE CASO EJEMPLO.....	-139-
ANEXO F: ANÁLISIS COMPARATIVO.....	-141-

Índice de Tablas (ANEXOS)

Tabla N°1 anexos: Tipos de <i>Vehicle Routing Problem</i> , VRP.....	-81-
Tabla N°2 anexos: Establecimiento criterios y mediciones encuesta.....	-85-
Tabla N°3 anexos: Sistema de evaluación encuesta.....	-85-
Tabla N°4 anexos: Sistema de evaluación encuesta, totales esperados.....	-85-
Tabla N°5 anexos: Resultados primer ítem.....	-86-
Tabla N°6 anexos: Resultados segundo ítem.....	-86-
Tabla N°7 anexos: Resultados tercer ítem.....	-86-
Tabla N°8 anexos: Resultados cuarto ítem.....	-87-
Tabla N°9 anexos: Matriz distancias en millas náuticas.....	-134-
Tabla N°10 anexos: Matriz tiempos caso clima óptimo en minutos, Capitán Prat.....	-135-
Tabla N°11 anexos: Matriz tiempos caso clima óptimo en minutos, J.J. La Torre.....	-136-
Tabla N°12 anexos: Matriz tiempos caso clima no óptimo en minutos, Capitán Prat.....	-137-
Tabla N°13 anexos: Matriz tiempos caso clima no óptimo en minutos, J.J. La Torre.....	-138-
Tabla N°14 anexos: Análisis comparativo.....	-148-
Tabla N°15 anexos: Comparación diaria semana 17 al 22 agosto.....	-148-
Tabla N°16 anexos: Resultados generales semana 17 al 22 agosto.....	-149-
Tabla N°17 anexos: Comparación diaria días anexos.....	-149-
Tabla N°18 anexos: Resultados generales días anexos.....	-149-

Índice Ilustraciones (ANEXOS)

Ilustración N°1 anexos: Detalle matrices TSP.....	-139-
Ilustración N°2 anexos: Detalle carga acumulada.....	-140-
Ilustración N°3 anexos: Tiempos con respecto al centro de origen.....	-140-
Ilustración N°4 anexos: Detalle datos finales.....	-141-

1. Capítulo I: Introducción

1.1. Presentación del Proyecto

El rubro del transporte trae consigo enfrentarse con dificultades propias de la actividad, pasando por aspectos de distribución de carga y pasajeros, tomando en cuenta restricciones de insumos, capacidades, horarios, mantenciones de equipos y/o requerimientos especiales que pueden surgir en el camino.

El transporte no es una actividad generadora de valor, puesto que no interactúa en operaciones de transformación del bien, siendo así un elemento de transición de carga que vincula un punto de origen con diversos puntos de destino. (Martínez, Rivera, Vázquez, Martínez, s.f).

Así, una manera de sacar provecho al transporte, ya sea de bienes o de pasajeros, es que surge la necesidad de configurar rutas apropiadas que optimicen los recursos de la empresa minimizando costos. De este modo, utilizando herramientas de apoyo logísticas se llega al Problema de Ruteo de Vehículos o *Vehicle Routing Problem* VRP. (Bermeo y Calderón, 2009).

El VRP permite adoptar variantes asociadas a las características propias de un problema, por tanto admite obtener un adecuado sistema de control, de fácil implementación, y con bajos costos asociados. De esta manera, se logra establecer una optimización en el proceso, ya que se puede obtener una correcta planificación de los viajes a realizar a lo largo de los vértices estudiados.

1.2.Objetivo General

Diseñar y proponer un modelo VRP, que permita al área Producción Mar de Ventisqueros S.A., contar con un estándar de viajes entre los vértices de engorda de peces, mejorando el rendimiento de sus embarcaciones a cargo del traslado de personal.

1.3.Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado actual del área Producción Mar, y su manejo dirigido al transporte de personal, por medio de un análisis a los agentes activos participantes.
- Proponer un modelo de programación lineal entera que se ajuste a los requerimientos propios del problema.
- Utilizar una heurística constructiva basada en el vecino más cercano, para obtener mediante la programación realizada una solución de buena calidad.
- Diseñar un programa que trabaje con base de datos y permita visualizar de manera instantánea el recorrido que debe seguir una embarcación por los distintos centros de destino.
- Proponer alternativas de ruteo eficientes que estén orientadas a los centros de engorda de peces analizados.

1.4.Justificación del Problema

En Ventisqueros S.A. en su departamento de Producción Mar, para el traslado del personal del centro ubicado en Puerto Montt, (ver Imagen N°1), actualmente se utilizan dos embarcaciones, cuyos nombres son: Capitán Prat., y J.J. La Torre, con capacidad de 10 y 12 tripulantes considerando capitán y ayudante respectivamente.



Imagen N°1: Centro Cholgo, Ventisqueros S.A.

La distribución de las embarcaciones a través del sector se realiza dirigiendo la lancha con mayor capacidad a sectores más lejanos, mientras que la lancha con un menor número de tripulantes se despliega en las cercanías del vértice de origen, el centro Cholgo.

Para la distribución de la flota no se cuenta con un sistema de ruta para embarcaciones, por lo que no se despliegan a través del sector de manera eficiente, aumentando tiempos de recorrido y consumo de combustible, entre otros. En este momento el consumo de combustible bordea los 20.000 L. /Mes.

Cabe mencionar que la configuración de rutas por parte del personal encargado, resulta engorroso y en tiempos considerablemente altos.

Por otro lado, la falta de programación en los viajes, hace en general el desarrollo de la planificación diaria menos eficiente en comparación con otros centros del rubro.

El método *Rich Heterogeneous Vehicle Routing Problem Pickup and Delivery* (HVRPPD), permite configurar una ruta óptima de las embarcaciones, considerando restricciones de

flota y capacidad. En este caso, la capacidad de las embarcaciones está sujeta a la demanda de tripulantes con destino a los siguientes centros que se muestran en la Tabla N°1:

Centros de Engorda	Coordenadas UTM	
	Este	Sur
Cholgo (origen)	709688,03	5336170,98
Quintupeu Smolts	716877,53	5328232,57
Astilleros	710208,63	5327297,61
Calamaco	710622,02	5320336,42
Telele	704499,49	5316863,30
Cascada	708630,37	5315134,16
Antepulli	705213,74	5311966,57
Tambor	711968,56	5299599,35

Tabla N°1: Coordenadas centros de engorda actuales. Fuente: *Google Earth*.

Este modelo facilitará la toma de decisiones, permitiendo obtener el desempeño de las embarcaciones, horas hombres empleadas en los viajes y la categorización en términos de prioridad de centros visitados.

1.5. Metodología

La metodología utilizada, está basada en el cumplimiento de los objetivos propuestos en principio, para así otorgar una solución que se ajuste a los requerimientos del área Producción Mar, en la labor de transporte de personal por los ocho vértices actualmente utilizados para la engorda de peces.

- Para el primer objetivo específico: *“Diagnosticar el estado actual del área Producción Mar, y su manejo dirigido al transporte de personal, por medio de un análisis a los agentes activos participantes.”*

Para el diagnóstico, previa identificación del problema, se obtuvo información entregada por el Sr. Alex Villivar, ingeniero acuícola del área Producción Mar, a cargo del transporte de personal. Obteniendo de esta manera una mirada amplia del problema objeto de estudio.

Además, se hizo una revisión al material digital utilizado actualmente, en donde se establece el gasto general de combustible mensual, los horómetros¹ de las lanchas utilizadas, y los *tracks*² dirigidos a los capitanes de embarcación.

Por otro lado, se hizo una encuesta dirigida a capitanes y ayudantes de las embarcaciones, además del personal que actualmente trabaja en la confección de los *tracks*, con la finalidad de obtener sus percepciones de cómo se trabaja actualmente, y si se sienten a gusto con sus funciones.

Finalmente, se realizó una visita a las instalaciones de Ventisqueros S.A., observando en terreno la situación del problema, efectuando el traslado a través de los centros de engorda, con ambas lanchas y participando en la confección de *tracks*.

- Para el segundo objetivo específico: *“Proponer un modelo de programación lineal entera que se ajuste a los requerimientos propios del problema.”*

Con el diagnóstico del problema realizado, se recurrió a la literatura para encontrar modelos clásicos VRP que cumplan con restricciones estándares, además se plantearon nuevas restricciones propias del sistema estudiado para representar de mejor manera el problema. Así, con el problema definido en todos sus aspectos se establece el modelo VRP a utilizar en consideración de las características propias del problema. Por lo tanto, el modelo a utilizar es una combinación del *Heterogeneous Vehicle Routing Problem* (HVRP) (flota heterogénea) y *Vehicle Routing Problem Pickup and Delivery* (VRPPD) (entregas y

¹Dispositivo que registra el número de horas en que un motor o un equipo, generalmente eléctrico o mecánico ha funcionado desde la última vez que se ha inicializado el dispositivo. **Fuente:** CivilGeeks.com

²Documento utilizado para la distribución actual de personal a través de los distintos centros.

recogidas), con restricciones propias del problema, estableciéndose el modelo como un *Rich* HVRPPD.

Establecido el modelo de programación lineal entera, se procedió a determinar el método de solución del problema en consideración a la optimalidad por costos reducidos, y los tiempos de ejecución para la obtención de dicha solución.

- Para el tercer objetivo específico: *“Utilizar una heurística constructiva basada en el vecino más cercano, para obtener mediante la programación realizada una solución de buena calidad.”*

Siguiendo con el apoyo de la literatura revisada; se utilizó el modelo de programación lineal entera para encontrar una solución factible, que en primera instancia minimice los costos variables a través de la función objetivo establecida, esto se realizó con una heurística constructiva basada en el vecino más cercano. Además, se propuso el algoritmo a utilizar que cumpla con las restricciones de capacidad, flota y requerimientos de entrega y recogida.

Finalmente, analizar los datos recogidos del problema para realizar el objetivo número cuatro.

- Para el cuarto objetivo específico: *“Diseñar un programa que trabaje con base de datos y permita visualizar de manera instantánea el recorrido que debe seguir una embarcación por los distintos centros de destino.”*

En primer lugar se ubicó el vértice de origen, y los siete de destinos, en los que se trabaja actualmente, a través de la plataforma *Google Earth* que entrega una vista panorámica del sector, además entrega las coordenadas específicas de la ubicación.

De este modo, se obtiene la matriz de distancias que existen entre todos los pares de vértices. Esta matriz representa parte fundamental para la redistribución de las embarcaciones.

Por otro lado, con los datos recogidos de terreno, y basados en la velocidad de las lanchas, se realizaron cuatro matrices de tiempos, las dos primeras representan los tiempos en condiciones climáticas óptimas, mientras que las restantes los tiempos en condiciones climáticas desfavorables.

Además, a través de la información de requerimientos históricos de los vértices (oferta/demanda), se establece el criterio de demandas de los centros de engorda. Por su parte, se establecen los horarios que deben cumplir las embarcaciones para ajustarse a los requerimientos del personal y sus horarios de entrada y salida. Además, se obtienen los datos de capacidad y velocidad de las dos lanchas que funcionan en Río Negro.

Con todos los datos considerados, se realizó una base de datos, en la que además de los ocho centros utilizados actualmente, se consideraron los 15 restantes concesionados.

La programación se hizo en la herramienta *Visual Basic versión 2013*.

- Para el quinto y último objetivo específico: *“Proponer alternativas de ruteo eficientes que estén orientadas a los centros de engorda de peces analizados.”*

El último objetivo de estudio, buscó proponer alternativas que optimicen el proceso, a través del diagnóstico hecho a la empresa, con la percepción de trabajadores participantes en la actividad, el diseño de ruta arrojado por la programación del VRP, y con la verificación del ahorro de combustible. Finalmente, se hicieron recomendaciones a la empresa, para una mejor utilización de sus recursos físicos, como también una mejor utilización de los tiempos de la jornada laboral.

1.6. Delimitación del Problema

El proyecto de título se desarrolló en la empresa Ventisqueros S.A., la cual se desempeña en actividades de reproducción y crianzas de peces marinos, elaboración de congelados de pescados y mariscos y la elaboración de productos ahumados, salados, deshidratados y otros procesos similares.

Ventisqueros S.A., está ubicada en Calle Chinquihue Km. 14 Sector Bahía Chincui, Puerto Montt, Región de Los Lagos (ver Imagen N°2).



Imagen N°2: Ventisqueros S.A.

La realización del proyecto de título, se desarrolló en el área Producción Mar, desde el 10 de agosto hasta el 31 de diciembre del 2015.

La empresa cuenta con 23 centros de engorda de peces concesionados en el sector, estos están distribuidos en la bahía de Puerto Montt, los cuales se mencionan en la Tabla N°2 a continuación:

Centros de Engorda Ventisqueros S.A.		
VQ	Astilleros	Ica
PHN	Calamaco	Reñihue
Pelada	Telele	Puerto argentino
PHS	Cascada	Caleta Martín
Cholgo	Antepulli	Punta Iglesia
Llancahue	Tambor	Marimelli
Pichanco	Malomacum	Quintupeu
Puerto Montt	Linguar	Smolts

Tabla N°2: Centros de engorda concesionados. Fuente: Ventisqueros S.A.

La distribución referencial de los centros nombrados se ven en la Ilustración N° 1.

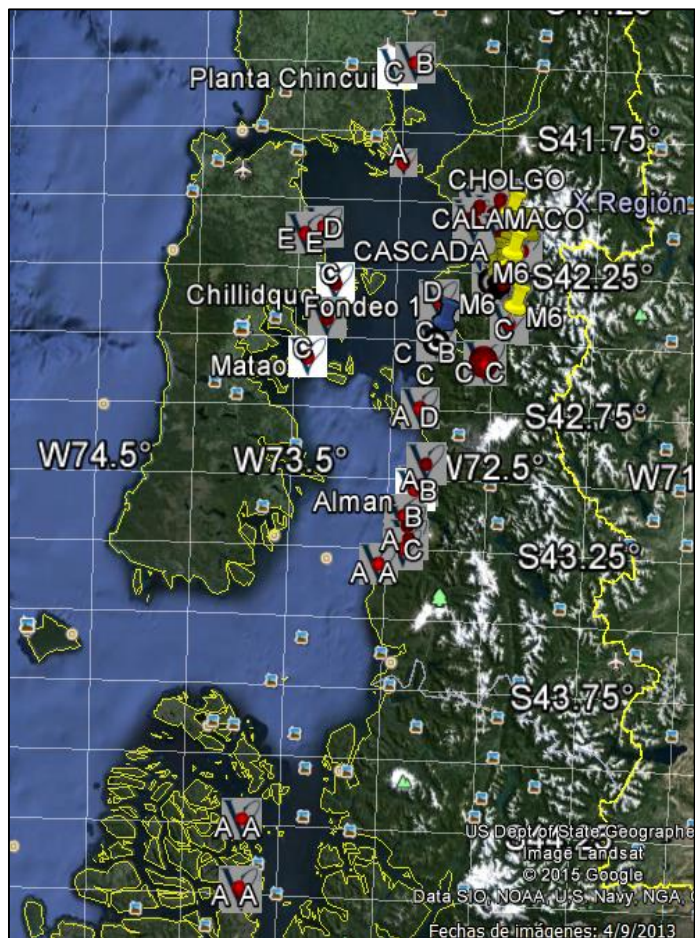


Ilustración N°1: Distribución general centros engorda de peces. Ventisqueros S.A. Fuente: Google Earth.

De los 23 centros concesionados actualmente, Ventisqueros S.A., en su área Producción Mar, trabaja con ocho centros (ver Imagen N°3), considerando el vértice de origen, el centro Cholgo, ubicados en la localidad de Rio Negro, Hornopiren.



Imagen N°3: Centro engorda de peces, Ventisqueros S.A.

En estos centros se estudió, su distribución en el área, las distancias entre sí, la planeación de rutas diarias y su gasto en insumos.

Se buscó entregar una propuesta de rutas eficientes que permitan disminuir costos de transporte de la empresa, así como también tiempos de operación y confección del *track*.

2. Capítulo II: Marco Teórico

El problema abordado en este proyecto de título es representativo de una situación real, en que la distribución de la flota de vehículos marítimos alrededor de diversos vértices de destino resulta dificultoso de prever sin la ayuda de un sistema de diseño de ruta estudiado. De esta manera, el *Vehicle Routing Problem* a través de sus variantes clásicas entrega una forma de hacer con mayor eficiencia el ruteo de vehículos.

El VRP es un problema de combinatoria que pertenece a un conjunto difícil de resolver, denominado NP-Hard (*nondeterministic polynomial-time hard*), esto quiere decir que la dificultad aumenta de manera exponencial con el tamaño del problema. Esto quedó demostrado por Lenstra y Rinnooy, 1981.

2.1. Evolución de la formulación del VRP

El VRP involucra la integración de factores que involucran la reducción de costos, tiempos e incluso de emisiones de contaminantes a la atmósfera. De este modo, se busca por medio de diversas restricciones la obtención de una solución que minimice estos elementos críticos.

El primer problema estudiado es el clásico problema del vendedor viajero o TSP (*Travelling Salesman Problem*) por sus siglas en inglés, el cuál fue formalizado por Merrill M. Flood, en 1956. El problema consiste en que un vendedor o agente, sale desde un vértice de origen debiendo visitar una cantidad establecida de destinos en un solo viaje, debiendo volver al punto de origen, de esta manera es una generalización de un ciclo hamiltoniano, el recorrido lo hace sólo un vehículo sin límite de capacidad y busca obtener una función de costos optimizada.

La evolución se dirige hacia el m-TSP, introducido por Miller, Tucker y Zemlin (1960), en donde es una generalización del TSP, en el cual se tiene un depósito central y m vehículos. El objetivo propuesto es construir exactamente m rutas, una para cada vehículo, de modo

que cada cliente sea visitado una vez por un vehículo dispuesto. Cada ruta debe comenzar y finalizar en el depósito central y puede contener a lo sumo n clientes. Por otro lado, a cada cliente se le relaciona una demanda y cada vehículo cuenta con una capacidad establecida, razón por la que se puede concluir que el problema del agente viajero da origen al problema de ruteo (Toth y Vigo, 2002).

Más tarde en Tilman (1969), introduce el *probabilistic travelling salesman problem* (PTSP), en donde a cada vértice de destino se le asocia una probabilidad asociada a la demanda, buscando la reducción de costos de recorrido.

El problema de ruteo de vehículos, se remonta a 1959, a través del *Capacitated Vehicle Routing Problem* CVRP, introducido por Dantzig y Ramser (1959), quienes formularon una aplicación para la distribución de combustible.

Este tipo de problema actúa de manera restrictiva con la capacidad de los vehículos. La función objetivo está sujeta a la capacidad de la flota y disminuye los costos de abastecer a los consumidores. Además, las demandas son determinísticas, la flota es homogénea y sale de un vértice central.

A partir del CVRP surgió una gama de evoluciones a este método, los que están sujetos a restricciones propias de cada problema.

Tanto el CVRP como otras variantes al clásico problema VRP, han sido estudiadas por diversos autores, las que se agrupan en un conjunto llamado VRP ricos o RVRP (*Rich vehicle routing problem*), uno de los métodos más abordados en la literatura es el problema de re ruta de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW). En la tabla **ANEXO A**, se puede ver un resumen de los métodos más conocidos, con sus siglas y significado.

Cabe mencionar que el primer algoritmo que resultó efectivo, para la solución del VRP es el algoritmo de ahorros (*Savings Algorithms*), introducido por Clarke y Wright (1964).

2.2. VRP heterogéneos

Dentro de los VRP clásicos existe una subdivisión, de acuerdo a las restricciones de flota, surgiendo los VRP homogéneos y heterogéneos. Siendo los heterogéneos analizados con mayor profundidad en el actual proyecto de título.

Los VRP heterogéneos, tienen una perspectiva a una problemática poco abordada en la literatura (ver Ilustración N°2), sin embargo representan una condición real de las empresas, que disponen de una flota con distintas características con la finalidad de abarcar un mercado más amplio, ajustándose a las necesidades de los clientes.

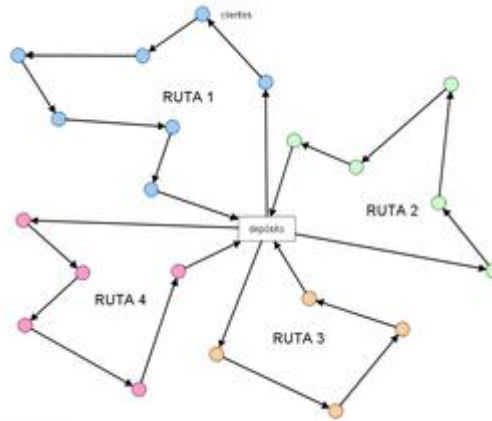


Ilustración N°2: Distribución flota heterogénea.

Para los problemas VRP heterogéneos, se definen dos categorías, dependiendo si la flota con la que se dispone es limitada o ilimitada, de esta manera, puede ser un problema *Heterogeneous Vehicle Routing Problem* (HVRP), o un *Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem* FSMVRP, respectivamente.

Por otro lado, también existe una diferenciación de si los costos que se incurren son fijos o variables, añadiéndose la letra “F” o “D”, correspondientemente. Baldacci, Battarra y Vigo (2008).

Así, las variantes de este problema se clasifican a continuación:

- Problema de Ruteo de Vehículos Heterogéneo con Costo Fijo y Vehículos Dependientes de Ruta (HVRPFD).
- Problema de Ruteo de Vehículos Heterogéneo con Costo y Vehículos Dependientes de Ruta (HVRPD).
- Problema de Ruteo de Vehículos Mixto y Tamaño de Flota con Costo Fijo (FSMF).
- Problema de Ruteo de Vehículos Mixto y Tamaño de Flota con Costo y Vehículos Dependientes de Ruta (FSMD).
- Problema de Ruteo de Vehículos Mixto y Tamaño de Flota con Costo Fijo y Vehículos Dependientes de Ruta (FSMFD).

2.2.1.Literatura relacionada con VRP heterogéneos

Los primeros acercamientos al problema de flota heterogénea son abordados desde la perspectiva de una flota ilimitada (FSMVRP) siendo Gheysens, Golden y Assad (1984) los primeros en tratarlo.

La propuesta de estos autores es el desarrollo de dos heurísticas, basadas en el algoritmo de ahorros de Clarke y Wright (1964) y en la utilización de un esquema de ruta gigante Beasley (1983) respectivamente.

Además, otros autores tratan la problemática de una flota heterogénea ilimitada en sus diferentes variables, Ferland y Michelon (1988) trataron el FSMFD, Desrochers y Verhoog (1991) trabajaron el FSMF y Gendreau, Laporte, Musaraganyi y Taillard (1999) consideraron el FSMD, FSMF. Estos, fueron pioneros en cada una de estas variables del FSMVRP. Cabe señalar que el problema con más estudios relacionados es el ruteo de vehículos mixto y tamaño de flota con costo fijo (FSMF).

Por otro lado, desde el punto de vista de trabajos relacionados con flota heterogénea limitada (HVRP), son considerablemente menos abordados, sin embargo, Semet y Taillard (1993) utilizaron una búsqueda tabú, Rochat y Semet (1994) trataron problemas reales

añadiendo algunas restricciones y Taillard (1996) trabajó con una heurística de generación de columnas.

Además, autores como Li, Golden y Wasil (2007) desarrollaron un algoritmo para resolver tanto los problemas HVRPD y HVRPFD, basado en el algoritmo RTR (*Record To Record*), en donde el comportamiento aceptable del algoritmo depende de la desviación. Por tanto, se busca evitar mínimos locales, donde aquellos vecinos cuyo valor de la función objetivo no se desvíen un porcentaje de sí misma se acepta como una nueva posible solución. Más tarde, mediante una búsqueda tabú, el algoritmo busca nuevos mínimos globales.

Baldacci y Mengozzi (2009) introdujeron un algoritmo de partición de conjuntos con procedimientos delimitadores basados en la relajación lineal y lagrangiana para resolver tanto HVRP como FSMVRP.

Penna, Subramanian y Ochi (2011) presentaron una metaheurística de búsqueda local iterada que utilizaba un procedimiento de búsqueda local resolviendo las cinco variedades de flota heterogénea vistas en el punto 2.1.1.

Otros autores como Taillard et al. (1999) además de considerar problemas FSMVRP también consideraron la HVRPD debiendo especificar un número limitado de vehículos para cada problema, además Tarantilis, Kiranoudis y Vassiliadis (2003), (2004) desarrollaron un algoritmo para resolver el HVRPD, los métodos comienzan con una solución inicial generada por una heurística constructiva. La idea de este tipo de algoritmos es permitir movimientos hacia soluciones con mayores valores de función objetivo, con el fin de escapar de los mínimos locales.

Finalmente, cabe señalar que Laporte et al. (1999) como Taillard (1996), señalan en sus publicaciones que no se conoce un método eficiente que pueda dar una solución exacta al problema de flota heterogénea para flota limitada, esto condicionado por los pocos estudios

dirigidos a abordar este punto, de este modo, se entregan “buenas soluciones” a este tipo de problemas a través de un enfoque heurístico.

2.2.2. Modelo clásico VRP heterogéneo

En los problemas con flota heterogénea, los costos y capacidades de los vehículos varían, así existirán tipos de vehículos dados por un conjunto $T = \{1, \dots, |T|\}$. La capacidad de los vehículos $k \in T$ es q^k y su costo fijo es f^k . Los costos y tiempos de viaje para cada tipo de vehículo son c_{ij}^k y t_{ij}^k respectivamente. Se asume que los índices de los vehículos están ordenados en forma creciente por capacidad (es decir, $q^{k_1} \leq q^{k_2}$ para $k_1, k_2 \in T, k_1 < k_2$).

En la siguiente formulación de flujo de vehículos de tres índices se agrega un índice para discriminar entre los tipos de vehículos.

$$\min \sum_{k \in T} f^k \sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0j}^k + \sum_{k \in T} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (1)$$

$$\text{s.a.} \sum_{k \in T} \sum_{i \in \Delta^+(j)} x_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (1.1)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij}^k - \sum_{j \in \Delta^-(i)} x_{ji}^k = 0 \quad \forall i \in V, \forall k \in T \quad (1.2)$$

$$r_0 = 0$$

$$r_j - r_i \geq (d_j + q^{|T|}) \sum_{k \in T} x_{ij}^k - q^{|T|} \quad \forall i \in V \setminus \{0\}, \forall j \in \Delta^+(i) \quad (1.3)$$

$$r_j \leq \sum_{k \in T} \sum_{i \in \Delta^-(j)} q_k x_{ij}^k \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (1.4)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in E, \forall k \in T \quad (1.5)$$

$$r_j \geq 0 \quad \forall j \in V \quad (1.6)$$

Las variables binarias x_{ij}^k indican si el arco (i, j) es utilizado por el vehículo k y las variables r_i positivas indican la carga acumulada en la ruta correspondiente hasta el vértice i (inclusive).

La función objetivo (1) mide el costo total de la solución incluyendo costos fijos y variables. Las restricciones (1.1) establecen que todo cliente debe ser visitado por algún vehículo. En (1.2) se indica que si un vehículo de tipo k visita al vértice i , entonces un vehículo del mismo tipo debe abandonarlo. Las restricciones (1.3) y (1.4) fijan los valores de las variables r_i y actúan como restricciones de eliminación de *subtours*, mientras que la capacidad de los vehículos se impone en (1.6).

En esta formulación se asume que la cantidad de vehículos de cada tipo es ilimitada. El problema correspondiente se denomina *Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem* (o FSMVRP). No sólo se debe decidir las rutas, sino la composición de la flota de vehículos a utilizar. Usualmente, al tratar con problemas de flota heterogénea, se opta por utilizar este modelo aun cuando en algunos casos no refleja la realidad.

Si la cantidad de vehículos disponibles de cada tipo k fuera v_k , conocida de antemano, debería agregarse la restricción denotada en (1.7). (Olivera, 2004, p.7).

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0j}^k \leq v_k \quad \forall k \in T. \quad (1.7)$$

2.3. VRP con entregas y recogidas

El problema con entregas y recogidas, o *Vehicle Routing Problem Pickup and Delivery*, VRPPD (ver Ilustración N°3), consiste en la capacidad de una flota de vehículos de entregar una cantidad establecida de objetos y/o pasajeros, por una zona geográfica, esta sea por modo terrestre, marítimo o aéreo, además con la característica particular de recoger

estos objetos y/o pasajeros en el mismo recorrido, con la finalidad de no incurrir en rutas extras que representaría un aumento en los costos de transporte.

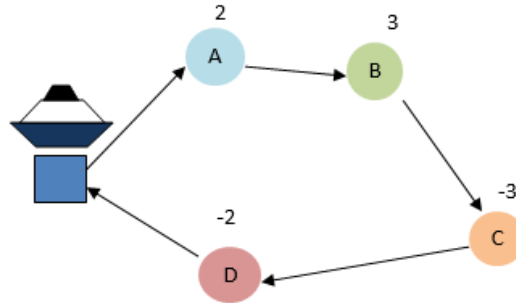


Ilustración N°3: Distribución con entregas y recogidas. Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de problema se sustenta en una logística inversa, puesto que en un escenario real, existe la devolución de objetos, o el regreso de pasajeros provenientes de los puntos visitados por la flota de vehículos.

De este modo, se deben tener consideraciones de capacidad de la flota, puesto que el vehículo debe contar con espacio suficiente para ejercer labores de reparto y recogida.

La variable de recogida es una limitante en la planificación, que se traduce en la utilización ineficiente de la capacidad del vehículo.

Dado este contexto, se deben tener algunas consideraciones que se explican a continuación:

- Los elementos demandados deben salir sólo desde el depósito central, y los elementos recogidos deben volver al depósito de origen, evitando así que exista un traspaso de elementos entre clientes.
- Los bienes deben ser en una primera instancia entregados a los clientes, para una vez finalizada esta tarea, realizar la recogida.

- Otra opción que se puede considerar es relajar la restricción de que todos los puntos deben ser visitados al menos una vez.

El objetivo es minimizar la flota de vehículos que cubran la ruta, así como también los tiempos de recorrido, con todos los beneficios que se conllevan.

Todas estas consideraciones deben estar sujetas a la capacidad del vehículo, resguardando la factibilidad de que se ejerzan las tareas de entrega y recogida.

2.3.1. Literatura relacionada VRP con entrega y recogida

La literatura que trata el VRPPD es de un orden más escaso, en comparación con el VRP clásico por ejemplo. Por otro lado, la literatura del ruteo con entregas y recogidas se puede clasificar en tres categorías principales:

- Entregas y recogidas simultáneas
- Mezcla de entregas y recogidas
- Problemas en donde las recogidas se realizan sólo después de las entregas

Dentro del primer punto, entregas y recogidas simultáneas, Min (1989) trabajó un problema práctico enfrentado por una biblioteca pública, dentro de las características, había un depósito central, dos rutas y 22 clientes. Halse (1992), abordó diversos VRP, resolviendo un VRPPD para 100 clientes, y teniendo un sólo depósito. Gendreau, Laporte y Vigo (1999), estudiaron un TSP con entregas y recogidas, en que en primera instancia, abordaban el problema sin tomar en cuenta restricciones de *Pickup and Deliveries*, para luego determinar el orden de las rutas. Más recientemente, Montane y Galvão (2006) abordaron el VRPPD con una búsqueda Tabú, mientras que Bianchessi y Righini (2007) a través de una heurística constructiva dirigida a la entrega y recogida simultáneamente.

Para el segundo punto, mezcla de entregas y recogidas, Golden, Baker, Alfaro y Schaffer (1985) basaron el método con que son insertados *backhaul*³ (recogida) en las rutas formadas por *linehaul*⁴ (entrega). Casco, Golden y Wasil (1988) desarrollaron una *load - based insertion procedure*, donde el costo de *backhaul* toma en cuenta la carga que deberá ser entregada en la *delivery route* más que en el número de paradas. Mosheiov (1994) tuvo un acercamiento investigando un TSPPD, cuyo método de solución fue resolver el TSP, para luego volver a insertar el depósito. Más tarde, Anily y Mosheiov (1994) resolvieron el TSPPD, creando un árbol de expansión mínima. Otro acercamiento lo tuvieron Salhi y Nagy (1999) extendiendo el método de inserción de Casco et al. (1988).

El tercer punto, es el más abordado en la literatura, de los cuales se detallan algunos a continuación, el primero de ellos por Deif y Bodin (1984), se basa en una extensión del método de ahorro, donde se tiene un depósito, un número indeterminado de rutas y hasta 300 clientes. Goetschalckx y Jacobs-Blecha (1989), aborda un método de solución introduciendo procedimientos de mejora teniendo un depósito central, dos rutas y entre 25 y 200 clientes a visitar. Min, Current y Schilling (1992) desarrollaron su método en separar clientes por recogidas y entregas, luego otorgándoles una asignación y finalmente trabajando un TSP clásico, alguna de sus características es tener tres depósitos. Gendreau, Laporte y Hertz (1997) crearon un árbol de expansión mínima en *linehauls* y *backhauls*, para luego transformar en un TSP. Osman y Wassan (2002) desarrollaron un método con solución inicial basado en el ahorro – inserción o en ahorro – asignación, más una búsqueda tabú, sus características están dadas por un depósito, 12 rutas y hasta 150 clientes.

2.3.2. Modelo clásico VRP con entrega y recogida

En la versión clásica del VRP con entrega y recogida cada cliente i tiene asociada una cantidad de bienes que se le debe entregar, y una cantidad que debe ser recolectada,

³ Cliente que envía productos al depósito.

⁴ Cliente que recibe productos del depósito.

denominado d_i y p_i respectivamente. Se asume que los productos son iguales para todos los clientes, y en muchos casos se suele utilizar una única cantidad de producto que se asocia a cada uno, considerando la diferencia neta entre la demanda de recogida y entrega como $\bar{d}_i = d_i - p_i$.

Además, dado un cliente i , se tiene asociado otro cliente O_i , que debe suministrar una cantidad d_i del producto, y un cliente D_i al que se debe enviar una cantidad p_i del producto. Se asume que en cada cliente siempre se realiza la entrega antes que la recolección, esto es, primero debe recibir la cantidad d_i que le corresponde, y luego recién es posible recolectar p_i (Toth y Vigo, 2002).

Por lo tanto, el problema consiste en encontrar exactamente k rutas simples asociadas a un vehículo, con un costo mínimo total de forma tal que:

- Cada ruta empieza y termina en el depósito.
- Cada cliente es visitado por exactamente una ruta.
- Dentro de una ruta, la carga del vehículo no debe exceder una carga máxima u_n .
- Para cada cliente i , si el cliente O_i es distinto al depósito, entonces debe ser visitado en la misma ruta que i , antes que el cliente i .
- Para cada cliente i , si el cliente D_i es distinto al depósito, entonces debe ser visitado en la misma ruta que i , después que el cliente i .

El VRPPD puede ser formulado con la *Generalised Assignment Procedure* (GAP), que aborda limitaciones de capacidad, Fisher y Jaikumar (1981). Definiéndose de la siguiente manera:

$v = \{1, 2, \dots, V\}$ número de vehículos.

$n = \{1, 2, \dots, N\}$ número de *clusters*.⁵

$C_n =$ Costo de asignar un vehículo al *cluster* n . $\forall n \in N$.

⁵ Conjunto de clientes.

u_n = Carga máxima que se puede llevar al *cluster* n .

t_v = Capacidad restante de un vehículo v cargado parcialmente.

$$x_{vn} \begin{cases} 1 & \text{si un vehículo } v \text{ es asignado a un cluster } n \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

La formulación bajo GAP es:

$$\text{Minimizar } \sum_{v \in V} \sum_{n \in N} C_n x_{vn} \quad (2)$$

Sujeto a:

$$\sum_{v \in V} x_{vn} = 1 \quad n = 1, \dots, N \quad (2.1)$$

$$\sum_{n \in N} u_n x_{vn} \leq t_v \quad v = 1, \dots, V \quad (2.2)$$

$$x_{vn} \in \{0,1\} \quad n = 1, \dots, N \text{ y } v = 1, \dots, V \quad (2.3)$$

La restricción (2.1) garantiza que cada *cluster* está asignado a un determinado vehículo mientras la restricción (2.2) asegura que la carga máxima de un *cluster* no supera la capacidad del vehículo asignado a ese grupo.

2.4. Métodos de resolución

Los métodos de resolución se pueden basar en tres enfoques, de los cuales los primeros dos son mayormente estudiados dado su generalidad, estos son los métodos exactos y las heurísticas (metaheurísticas), siendo el tercer método el que refleja una solución para un tipo de problema en específico, conocido como algoritmo híbrido.

2.4.1. Métodos exactos

Los métodos exactos están sujetos a problemas de tamaño limitado, debido a que la resolución está sujeta a VRPs de tipo *NP-hard*, según Nabila Azi, Michel Gendreau y Jean-Yves Potvin en 2010 para problemas con hasta 50 depósitos. Por tanto, para problemas de gran tamaño resulta dificultoso obtener soluciones en un tiempo computacional razonable.

Para los métodos exactos se desprenden tres formulaciones que entregan soluciones factibles, búsqueda directa de árbol, programación dinámica y programación lineal entera. Para estas formulaciones la resolución se enfoca en métodos de ramificación y acotamiento con generación de columnas o agregando métodos de restricciones válidas, ramificación y corte, además se pueden obtener soluciones factibles estableciendo cotas inferiores y superiores.

2.4.2. Heurísticas

Las heurísticas están destinadas a problemas con una cantidad de vértices mayor a las enfrentadas por métodos exactos, en donde se obtienen soluciones de una calidad aceptable, mediante una exploración limitada del espacio de búsqueda, esto permite tener menores tiempos de ejecución pero no se asegura la optimalidad.

Los métodos heurísticos pueden clasificarse en tres tipos, métodos constructivos, métodos de dos fases y heurísticas de mejora.

Los métodos constructivos no tienen como inicio la búsqueda de una solución factible, sino que esta se va elaborando a medida de que se progresa en el método. Dentro de este método, aparece el algoritmo clásico de ahorros, y la heurística de inserción.

El algoritmo de ahorro crea n rutas factibles, donde se prueba unir los vértices (i, j) , calculando el ahorro de cada movimiento.

Para la heurística de inserción por su parte, se crean soluciones mediante sucesivas inserciones de clientes en las rutas, por tanto en cada iteración se tiene una solución parcial, para luego seleccionar un cliente no visitado con anterioridad para insertarlo en la última ruta creada.

Los métodos de dos fases, se establecen a partir de métodos de asignación elemental, donde se desprende el algoritmo de barrido (*sweep algorithm*), que a partir de un depósito central se hace girar una recta que agrupa clientes hasta infringir la restricción de capacidad, para luego resolver el TSP. Además, se desprende el problema de asignación generalizada (GAP), para el cual la primera fase consiste en escoger los vértices semilla para construir los agrupamientos y la segunda en asignar los vértices a cada agrupamiento sin traspasar la capacidad del vehículo asignado.

En el algoritmo de ramificación y acotamiento truncado, el árbol de búsqueda posee tantos niveles como rutas de vehículos y cada nivel tiene un conjunto de rutas de vehículos.

Por otro lado, se desprende el algoritmo de los pétalos siendo una extensión del algoritmo de barrido y el método de rutear primero y asignar después, en la primera fase se resuelve el TSP sin considerar restricciones y estableciendo una gran ruta, mientras que en la segunda fase se hace una partición de la ruta en rutas factibles. Finalmente, están los procedimientos de búsqueda local, los que se aplican para mejorar una solución ya obtenida, a través de vecindades con menor costo.

Las heurísticas de mejora trabajan sobre una solución factible, para este tipo existen del tipo intra-ruta, que mueven arcos dentro de una misma ruta, entre los que se encuentran entre otras las heurísticas 2-opt, 3-opt y extra-ruta que intercambian los arcos entre dos o más rutas distintas, como la heurística 2-swap.

2.4.2.1. Metaheurísticas

Las metaheurísticas utilizan una estrategia general utilizada para resolución de problemas difíciles de afrontar debido a la gran cantidad de instancias que interactúan en el problema. La diferencia principal de una heurística de una metaheurística es la fase de búsqueda local, mientras la primera busca la mejor solución en el vecindario, la segunda intenta encontrar una solución que le permita salir del vecindario de búsqueda local, para abarcar una solución global, por tanto entrega en algunos casos una solución que una heurística no encuentra. Así, se puede decir que una metaheurística es una reformulación de una heurística.

Algunas de las metaheurísticas más comunes y características deseables las mencionan Dréo, Siarry, Pérowski y Taillard en 2006. De los cuales están los siguientes:

- Búsqueda de vecindarios variables
- Algoritmos genéticos
- Búsqueda tabú
- Colonias de hormigas
- Enjambre de partículas

2.4.3. Algoritmos híbridos

Los algoritmos híbridos son métodos utilizados para problemas específicos, por lo tanto son también conocidos como métodos *ad-hoc*, estos combinan aspectos de diversos métodos exactos, heurísticas y/o metaheurísticas. Por su parte, Jourdan, Basseur y Talbi en 2009 presentan una taxonomía completa de métodos híbridos descritos en la literatura.

2.5. Metodologías utilizadas en la literatura

Los problemas de ruta para vehículos en la literatura han sido abordados desde distintos puntos, a través de las metodologías expuestas en el punto 2.4., dependiendo de las características del problema y las restricciones del mismo.

El problema que trabaja el proyecto de título es del tipo HVRPPD, que tomó las restricciones de flota heterogénea limitada, y entrega y recogida de personal. En la Tabla N°3 se observan las propiedades por tipo de VRP.

Tipo VRP	Propiedad
HVRP	Flota heterogénea limitada, costos fijos, variables y capacidades distintas.
VRPPD	Minimizar flota y tiempos, y contar con capacidad para entregar y recoger bienes/personal durante el mismo recorrido.

Tabla N°3: Propiedades según el tipo de VRP. Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo, para estos tipos de VRP, utilizando información de Rangel (2005) además, de la literatura revisada, se construyó la Tabla N°4 resumen, de los métodos y perspectivas, en la solución de los rich VRP utilizados en este proyecto de título.

Rich VRP	Literatura		Perspectiva Algoritmo	Solución		
	Autores	Año		Exacto	Heurística	Metaheurística
CVRP	Fisher	1994	Ramificación y acotamiento	√		
	Bullheimer, Hartl, Strauss	1997	Colonia de hormigas			√
	Blasum, Hochstätler	2002	Ramificación y corte	√		
	Pisinger, Ropke	2005	Búsqueda adaptativa por entornos grandes			√
HVRP	Semet y Taillard	1993	Búsqueda Tabú			√
	Taillard	1996	Generación		√	

		de Columnas			
	Gendreau, Laporte, Musaraganyi, Taillard	1999	Búsqueda Tabú		√
	Prins	2002	Algoritmo de ahorros (MER)	√	
	Tarantiiis, Kiranoudis, Vassiliadis	2003	Heurística constructiva (BATA)	√	
	Li, Golden, Wasil	2007	Búsqueda Tabú (RTR)		√
	Baldacci, Mengozi	2009	Relajación lineal y lagrangiana	√	
	Penna, Subramanian, Ochi	2011	Búsqueda Local	√	
	Brandão	2011	Búsqueda Tabú		√
	Linfati, Escobar, Gatica	2013	Búsqueda Tabú		√
VRPPD	Min	1989	Dos fases (Cluster, TSP)	√	
	Halse	1992	Dos fases (Cluster, Rutear)	√	
	Gendreau, Laporte, Vigo	1999	Rutear y Asignar	√	
	Righini	2000	Partición de recorridos	√	
	Montane y Galvão	2006	Búsqueda Tabú		√
	Bianchessi, Righini	2007	Heurística constructiva (Búsqueda Local)	√	
	Santa, Peñuela, Granada	2014	Búsqueda Tabú		√

Tabla N°4: Literatura y enfoques de resolución. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°4, se incluye literatura sobre el CVRP, ya que entrega información de trabajos con restricciones de capacidad y además de ser uno de los RVRP más abordados.

Se puede observar, que tanto, CVRP, HVRP y VRPPD pueden ser abordados desde heurísticas y/o metaheurística, mientras que para resolver el HVRP y VRPPD se han utilizado tanto heurísticas constructivas como búsquedas tabúes como factor común. Cabe señalar que una manera de trabajar una búsqueda tabú es obtener una solución inicial factible desde una heurística constructiva.

3. Capítulo III: Desarrollo del Problema

El desarrollo del proyecto de título unificó los factores reales del problema, obtenidos desde terreno, con entrevistas, datos actuales, y registros históricos con el componente teórico, apoyado de literatura que respalda métodos y procedimientos empleados para entregar una propuesta de solución.

3.1. Diagnóstico

Ventisqueros S.A., en su área Producción Mar, cuenta con personal que planifica la asignación de lanchas dirigidas a los distintos centros de engorda (ver Imagen N°4) para que el personal pueda desempeñar sus actividades diarias. Esta distribución de lanchas, se hace de manera empírica, apoyado de una planilla *Excel*, que se utiliza como registro del traslado de tanto personal interno como externo a la empresa.



Imagen N°4: Centro engorda de peces. Ventisqueros S.A.

Los traslados cuentan con horarios de salida y llegada al centro principal, Cholgo, que es factor común para las embarcaciones, estos horarios están fijados debido al sistema integrado que se tiene con el traslado por modo terrestre. De esta manera, los recorridos en el turno de mañana, deben tener un rango de 8:00-11:00 hrs., siendo entrada y salida respectivamente, y por su parte el turno de la tarde consta con un horario de 14:00-17:00 hrs. por lo que la operación de traslados debe ajustarse a este margen. Cabe señalar, que no existe una restricción de ventanas de tiempo en los centros de destino, contando con flexibilidad en tiempos, además éstos son de un orden más bien reducido, no superando en la mayoría de los casos los 2 minutos de ejecución.

Por otro lado, en algunas ocasiones existe un sistema de prioridad, que obliga a visitar un centro primero, en desmedro de otro. Esto debido a exigencias de personal que deben estar a disposición en un centro con urgencia, por recambio de personal o por alguna situación que lo amerite. Estas situaciones producen un aumento en consumo de insumos y costos en tiempos de viaje, ya que el recorrido no es el óptimo adecuado.

Por su parte, se cuenta con la ventaja de que las embarcaciones pueden desplazarse por cualquiera sea el centro de engorda de destino, sin embargo, actualmente por la experiencia en la confección de recorridos, y sujetos a la característica de contar con una flota

heterogénea limitada de embarcaciones se planifican las rutas dirigiendo la lancha con mayor capacidad, J.J. La Torre, a los centros más lejanos con referencia al origen Cholgo, siendo los más lejanos el centro Tambor, seguido por Antepulli, y por contra parte la Capitán Prat se dirige a los centros más cercanos como lo son por ejemplo, Astilleros y Calamago. Estas distancias, son con respecto a los centros de engorda que tienen funciones de cultivo de peces en la actualidad, aun así, esta consideración está sujeta a los 23 centros concesionados por la empresa. A continuación, la Ilustración N°4 muestra la situación de cultivo actual.



Ilustración N°4: Distribución centros engorda de peces con funciones de cultivo actual. Ventisqueros S.A.
Fuente: Google Earth.

Durante el trayecto que realizan las embarcaciones (ver Imagen N°5) se realizan labores de entrega y recogida de personal, y en donde desde el centro de origen las lanchas deben salir

con al menos la mitad de su capacidad, salvo situaciones puntuales. Además, en días específicos se debe utilizar sólo una lancha, por motivos como viajes especiales, mantención o desperfectos. Por consiguiente, se debe estimar cuál lancha se debe destinar a realizar por sí sola el itinerario de viajes.

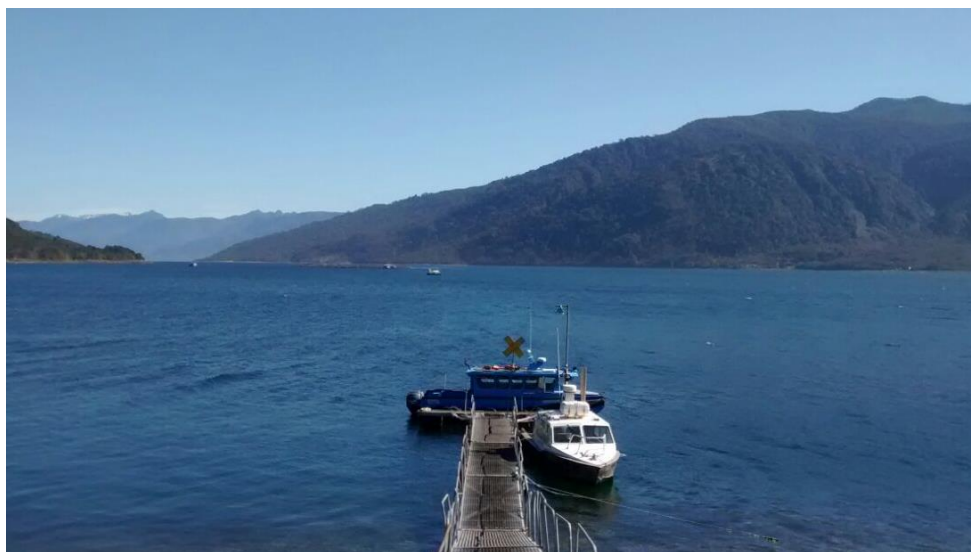


Imagen N°5: Embarcaciones para traslado de personal.

Una restricción propia del sector, es el aspecto climático, que puede provocar cierre de centros, retrasos en la distribución y deterioro en el rendimiento de las lanchas, se estima que las lanchas efectúan el recorrido al 50 % de su velocidad habitual, provocando entre otras cosas un mayor consumo en combustible. Se debe señalar, que el consumo de combustible es considerado un punto crítico de evaluación. Los datos recogidos de las planillas de control de combustible se muestran en el Gráfico N°1.

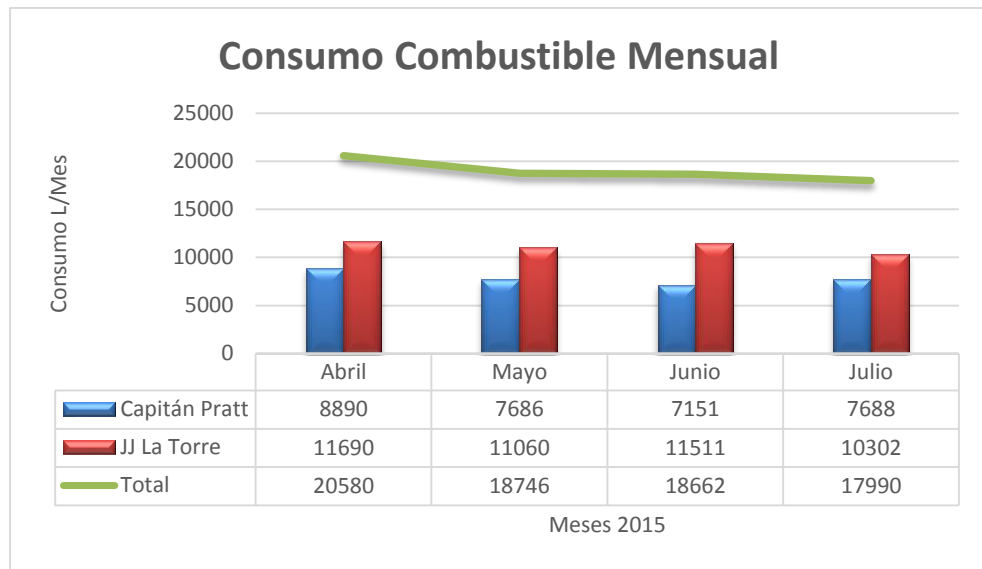


Gráfico N°1: Consumo embarcaciones. Fuente: Datos proporcionados Ventisqueros S.A.

De estas mismas planillas, se tiene que el consumo real de ambas embarcaciones se muestra en la Tabla N°5:

CONSUMO ESTIMADO (L/Hr)	
Capitán Prat	J.J. La Torre
31,8	33,2

Tabla N°5: Consumo estimado embarcaciones. Fuente: Datos proporcionados Ventisqueros S.A.

Además, los costos fijos de cada lancha deben ser considerados en el costo operacional de los traslados (ver Tabla N°6), éstos se distribuyen de la siguiente manera:

COSTOS FIJOS		
	Capitán Prat	J.J. La Torre
Mant. y Rep. de casco	\$ 120.000	\$ 140.000
Mant. y Rep. motor	\$ 50.000	\$ 50.000
Depreciación casco	\$ 200.000	\$ 220.000
Depreciación motor	\$ 260.000	\$ 260.000
Total (\$/Mes)	\$ 630.000	\$ 670.000
COSTO FIJO (\$/DÍA)	\$ 21.000	\$ 22.333

Tabla N°6: Costos fijos embarcaciones. Fuente: Datos proporcionados Ventisqueros S.A.

Los centros de engorda funcionan en algunos casos con 15 personas, sin embargo pueden desempeñarse hasta con 10, tienen ofertas y demandas que varían según el sistema de días libres del personal, de esta manera según información proporcionada por la empresa, las ofertas y demandas de cada centro no superan un flujo de 5 personas, en la mayoría de los casos.

Los resultados de la encuesta realizada al personal de Ventisqueros S.A. entregaron la siguiente información:

En primer lugar, se manifestó la necesidad de un sistema de apoyo de fácil utilización por parte del usuario, que permita confeccionar el *track* diario en menores tiempos que los actuales y que pueda ser utilizado considerando los 23 centros de la empresa.

En el ítem motivación y reconocimiento se obtuvo que el personal tiene un nivel alto de responsabilidad con la empresa, además desempeñan sus funciones diarias con claridad, por lo que se desprende que los costos de ejecución no son a causa de la falta de compromiso de los trabajadores.

En el tercer ítem, área y ambiente de trabajo, se recoge que el puesto de trabajo del personal administrativo cuenta con las condiciones óptimas para poder desarrollar sus actividades, mientras que desde el punto de vista de la tripulación el puesto de trabajo puede ser mejorado en función de la seguridad y comodidad considerando las sugerencias propuestas por capitanes y ayudantes.

El ítem formación e información, se establece que los niveles de comunicación entre personal administrativo y operativo funciona correctamente, sin embargo se puede mejorar a medida que exista un sistema integrado que permita al flujo de información ser más expedito.

En el último ítem evaluado, funcionamiento, se confirmó la información proporcionada en un principio desde el punto de vista administrativo, por lo que se establece que el problema es transversal al personal, pasando a ser un problema a la vez del personal operativo. La experiencia del personal ayudó a confeccionar las restricciones que se deben cumplir y las oportunidades de mejoras en el traslado de personal.

La medición y evaluación de la encuesta se encuentra en el **ANEXO B**.

Finalmente, debido a que los centros de origen y destino están establecidos distintamente de los costos en transporte, se tienen dos tipos de decisiones, la primera de tipo táctica mientras que la segunda de orden operativa, esto quiere decir que se debe establecer la mezcla de flota apropiada, conjuntamente con la planificación, asignación de personal y horarios de trayecto.

3.2. Formulación del Problema

La formulación del problema que satisface los requerimientos establecidos en el punto 3.1. está dada por la combinación del VRP con flota heterogénea limitada, y el VRP con entregas y recogidas. Además, se le agregan condicionantes propias del sistema real, siendo así según diversos autores que afrontaron el RVRP, un problema de difícil resolución.

De esta manera, el rich VRP formulado entregará una solución factible sujeto a las restricciones consideradas.

3.2.1. Programación Lineal Entera

La programación lineal entera permite trabajar la tarea de asignación de rutas, sustentado en las variables enteras que interactúan en el modelo. La mezcla de restricciones establecidas en la literatura de los RVRP estudiados, más las consideraciones de los factores reales,

permiten a través de la formulación matemática cuantificar el problema en términos de costos, y la minimización de éstos.

A continuación se detalla el modelo propuesto para obtener una solución factible.

3.2.1.1. Modelo Propuesto

El siguiente modelo propuesto, tiene como base los modelos ilustrados en Olivera (2004), y Linfati, Escobar y Cuevas (2014).

Sea el grafo $G = (V, E)$, donde $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_n\}$ número de vértices -o nodos-, siendo (v_0) el vértice de origen, y (v_1, v_2, \dots, v_n) vértices de destino. Mientras que E representa la cantidad de arcos -o aristas-, cada uno de estos con costos y tiempos denotados por c_{ij}^k y t_{ij}^k respectivamente, siendo $\{i, j\}$, $(\forall i, j \in E)$ vértices de origen y destino respectivamente y $k \in T$ tipo de vehículo. Además, existe un tiempo de servicio s_i , y un $t_{m\acute{a}x}$, que actúa como variable de factibilidad del sistema. Por su parte, existe un conjunto de vehículos $T = \{k_1, k_2, k_3, \dots, |k|\}$, cada uno de estos con una capacidad q^k asociada, un $l_{m\acute{i}n}$ carga mínima en el vértice i y un costo fijo denotado por f^k . Cada cliente tiene una demanda negativa d_i y una oferta positiva o_i . Por otro lado, se tiene un conjunto $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ tipo de rutas. Las variables a_i^k , refieren a la carga acumulada en la ruta. Finalmente, se denota al conjunto de vértices adyacentes a i por $\Delta^+(i)$, es decir $\{j \in V / (i, j) \in E\}$ mientras que los incidentes por $\Delta^-(i)$, o sea $\{j \in V / (j, i) \in E\}$.

La Tabla N°7 ilustra los elementos descritos con anterioridad, siendo el primer ítem a identificar los conjuntos definidos.

Conjuntos	Descripción
V	Conjunto de vértices
E	Conjunto de arcos
T	Conjunto de vehículos
R	Conjunto de rutas

Tabla N°7: Conjuntos del modelo propuesto. Fuente: Elaboración propia.

Las variables de decisión (ver Tabla N°8) permiten identificar los factores sobre los cuales se tiene control, así, se define la variable de utilización de un arco $i, j \in E$, la carga acumulada en la ruta r_n sujeto a la oferta y demanda en los vértices, la cantidad de traslados (rutas) que se pueden realizar, sujeto a la cantidad de vehículos limitados y el establecimiento de una carga mínima en cada vértice de r_n .

Variables	Descripción	
x_{ij}^k	1	Si el arco i, j es utilizado por el vehículo $ k $
	0	En otro caso
a_i^k	Carga acumulada en r_n	
r_n	Tipo de rutas	
l_{min}	Carga mínima en el vértice i	
t_{max}	Tiempo máximo en recorrer r_n	
k_{lim}	Cantidad de tipo de vehículos limitada	

Tabla N°8: Variables del modelo propuesto. Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros son factores estocásticos, los cuales no son posibles de manipular puesto que actúan en función del desarrollo del problema (Fombellida R. s.f.), de esta manera, la Tabla N°9 identifica los parámetros usados en el modelo propuesto.

Parámetros	Descripción
c_{ij}^k	Costo del arco i,j asociado a la distancia
f^k	Costo fijo del vehículo $ k $
q^k	Capacidad del vehículo $ k $
t_{ij}^k	Tiempo en recorrer el arco i,j
s_i	Tiempo de servicio en el vértice i
d_i	Demanda del cliente i
o_i	Oferta del cliente i

Tabla N°9: Parámetros del modelo propuesto. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se denota el modelo matemático propuesto, con su debida justificación.

Función objetivo: Minimiza los costos fijos y variables totales, toma en cuenta los costos de operación de los vehículos y las distancias que recorren.

$$\text{Minimizar } \sum_{k \in T} f^k \sum_{j \in \Delta^+(0)} X_{0j}^k + \sum_{k \in T} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (3)$$

Sujeto a:

Conjunto restricción 1: Todos los clientes de los centros deben ser visitados una o más veces.

$$\sum_{k \in T} \sum_{i \in \Delta^+(j)} x_{ij}^k \geq 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (3.1)$$

Conjunto restricción 2: Conservación del flujo, si un vehículo k visita un centro i , debe abandonar el centro un vehículo k con las mismas características.

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij}^k = \sum_{j \in \Delta^-(i)} x_{ji}^k \quad \forall i \in V, \forall k \in T \quad (3.2)$$

Conjunto restricción 3: Todas las rutas $\in R$, deben iniciar en el depósito central (origen).

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in T \quad (3.3)$$

Conjunto restricción 4: Todas las rutas $\in R$, deben finalizar en el depósito central (origen).

$$\sum_{i \in \Delta^-(0)} x_{i0}^k = 1 \quad \forall k \in T \quad (3.4)$$

Conjunto restricción 5: Los vehículos deben partir con una carga mínima desde el depósito central.

$$a_{0,}^k = l_{\text{mín}} \quad 0 \in V \quad (3.5)$$

Conjunto restricción 6: La variable a_j^k , debe estar sujeta a oferta y demanda del vértice j .

$$[a_i^k + (o_j + d_j)] \sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ij}^k = a_j^k \quad \forall i, j \in V, \quad \forall k \in T \quad (3.6)$$

Conjunto restricción 7: La carga acumulada del vehículo k en el vértice j , debe estar restringida por la capacidad q del vehículo k .

$$a_j^k \leq \sum_{k \in T} \sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ij}^k q^k \quad \forall i, j \in V, \quad \forall k \in T \quad (3.7)$$

Conjunto restricción 8: El tiempo total de las rutas $r_n \in R$, debe estar sujeto al cumplimiento de los horarios fijados.

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ij}^k (t_{ij}^k + s_i) \leq t_{m\acute{a}x} \quad \forall i, j \in V, \quad \forall k \in T \quad (3.8)$$

Conjunto restricción 9: Establecimiento de un número limitado de tipos de vehículos.

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0j}^k \leq k_{l\acute{i}m} \quad \forall k \in T \quad (3.9)$$

Conjunto restricción 10: La carga acumulada en el vértice i , debe ser siempre mayor o igual a cero, incluido v_0 .

$$a_i^k \geq 0 \quad \forall i \in V \quad (3.10)$$

Conjunto restricción 11: Dominio de las variables binarias, donde 1 representa que el arco i, j ha sido utilizado por el vehículo $|k|$, $\forall i, j \in E$, mientras que en caso contrario se utiliza el 0.

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in E, \forall k \in T \quad (3.11)$$

3.3.Heurística constructiva basada en el vecino más cercano

Existen diversos tipos de heurísticas que pretenden encontrar una buena solución en función de la factibilidad del problema. Dentro de las heurísticas estudiadas, la heurística constructiva basada en el vecino más cercano pretende entregar una ruta de costo mínimo, resolviendo instancias que unen los vértices i, j con la menor distancia entre sí, reduciendo éstas y a su vez los costos de traslado.

Para el problema planteado se necesitó encontrar la combinación de rutas que utilicen la menor cantidad de insumos, principalmente combustible, así, la heurística mencionada anteriormente satisface este requerimiento, además como se observa en la Tabla N° 4, ha sido utilizada anteriormente en la resolución de problemas con restricciones similares a la de este proyecto de título.

El algoritmo que se utilizó consta de tres pasos:

Primer paso: Fijar un vértice de inicio, el depósito central.

Segundo paso: Buscar el vértice más cercano, en términos de costos, al último vértice incorporado (considerando flota, oferta y demanda de la instancia) y añadirlo a la ruta existente, teniendo en cuenta que permanezca la factibilidad de la ruta.

Tercer paso: Repetir el segundo paso hasta que todos los vértices estén contenidos en la ruta. Una vez que esto ocurra, unir el último vértice incorporado con el vértice de inicio.

A continuación se muestra un diagrama de flujo general del problema:

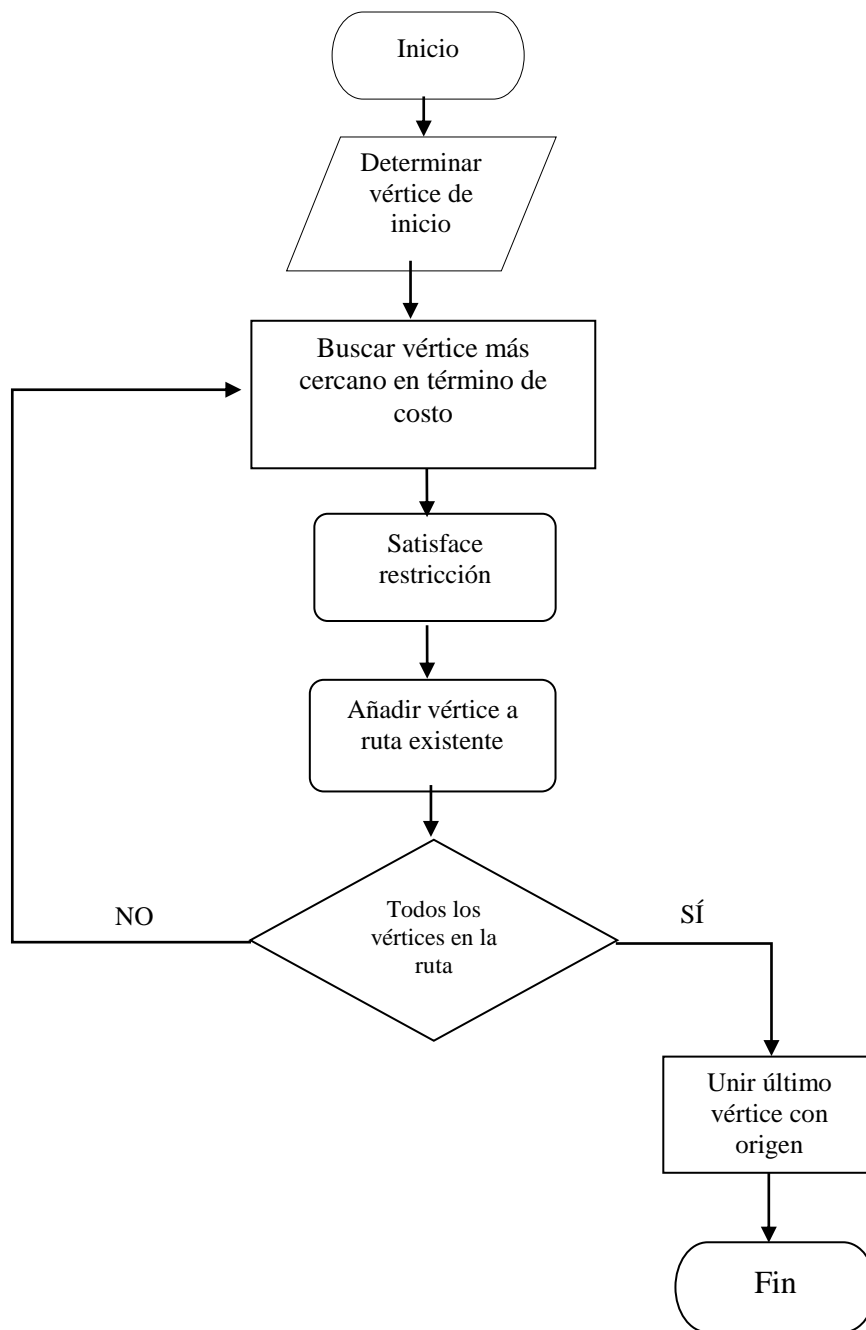


Diagrama N°1: Flujo general del problema Fuente: Elaboración propia.

3.3.1. Restricciones del problema

Las restricciones que se consideraron van en relación a la flota, las capacidades de ésta y los tiempos del sistema.

Flota heterogénea: Se cuenta con dos lanchas con características distintas.

Capacidad del vehículo: La capacidades de las lanchas están sujetas a la cantidad de trabajadores a entregar y recoger en los centros de engorda de peces.

Tiempo del sistema: El tiempo máximo del conjunto de rutas está dado por el horario de salida y llegada al depósito central. El tiempo máximo está estimado de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo Máximo} = \text{Tiempo Traslado Total} + \text{Tiempo Servicio Total}$$

3.3.2. Algoritmo propuesto

El siguiente pseudocódigo permite obtener una buena solución utilizando una heurística constructiva basada en el vecino más cercano, considerando las características del problema.

Datos Entrada:

- Número de centros
- Distancias
- Flota (número y características)
- Ofertas y demandas
- Tiempos horarios

Datos Salida

- Rutas
- Costos

Primer paso: Depósito central a primer vértice a visitar

✓ **Determinar Depósito central**

- **Capacidad lancha uno** = Oferta del depósito central + (oferta primer vértice a visitar – demanda primer vértice a visitar) < Cap1
- **Capacidad lancha dos** = Oferta del depósito central + (oferta primer vértice a visitar – demanda primer vértice a visitar) < Cap2

✓ **Recoger distancia a recorrer**

- **Tiempo del sistema** = Tiempo traslado + tiempo servicio = TS

✓ **Determinar factibilidad de la ruta**

✓ **Unir vértices factibles**

Segundo paso: Insertar un vértice a la ruta

- **Último vértice añadido** = Vértice inicial
- **Capacidad lancha uno** = Capacidad resultante paso anterior + (oferta vértice a visitar – demanda vértice a visitar) < Cap1
- **Capacidad lancha dos** = Capacidad resultante paso anterior + (oferta vértice a visitar – demanda vértice a visitar) < Cap2

✓ **Recoger distancia a recorrer.**

➤ **Tiempo del subsistema**= Tiempo resultante paso anterior + (tiempo traslado + tiempo de servicio vértice a visitar) < TS

✓ **Determinar factibilidad de la ruta**

✓ **Unir vértices factibles**

✓ **Repetir**

✓ **Todos los centros visitados**

Tercer paso: Cerrar ciclo

➤ Unir último vértice añadido con el depósito central.

✓ **Determinar factibilidad final**

➤ Recoger datos salida

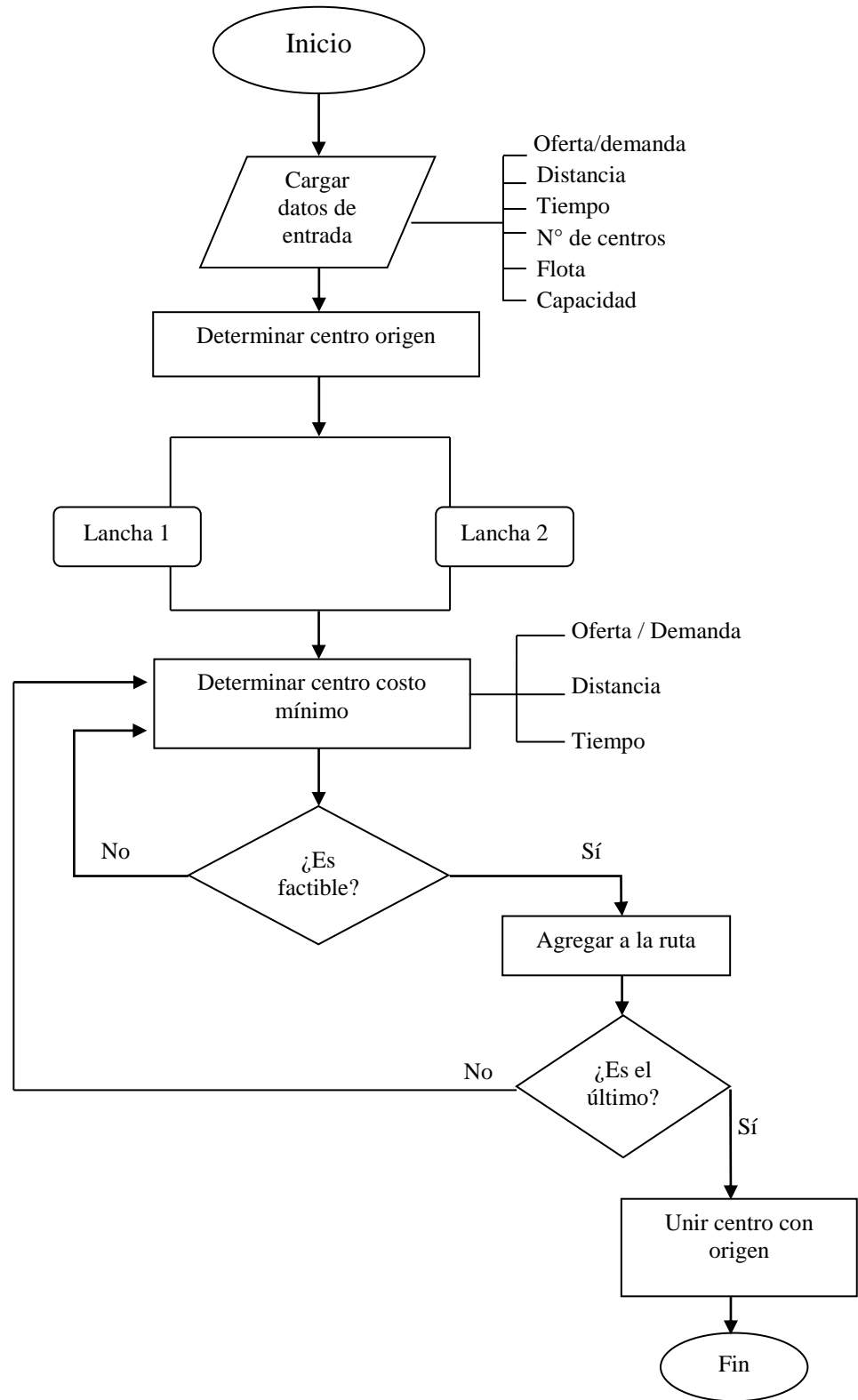


Diagrama N°2: Flujo algoritmo propuesto Fuente: Elaboración propia

3.4. Programación del Problema

La programación del problema se hizo con la herramienta *Visual Basic versión 2013*.

3.4.1. Desarrollo de la programación

La programación permite que sólo el personal encargado de realizar los *tracks* tenga acceso, así ningún usuario externo podrá realizar cambios que puedan dañar lo programado (ver Ilustración N°5).



Ilustración N°5: Interfaz principal. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, luego de ingresar la contraseña correcta, se debe señalar si se desea ingresar nuevos datos, o bien, revisar resultados de casos ingresados con anterioridad.

Una vez señalada la opción “DATOS”, se desplegará la pestaña que permitirá ingresar los datos de entrada, para más tarde procesarlos (ver Ilustración N°6).

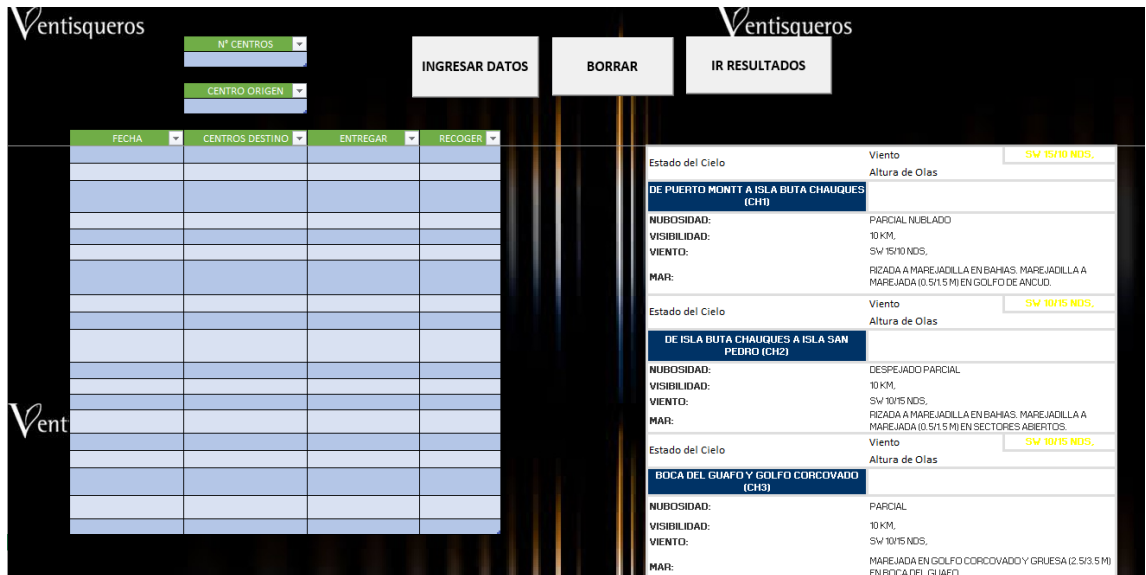


Ilustración N°6: Pestaña ingreso de datos. Fuente: Elaboración propia.

La pestaña además entrega un cuadro del clima actualizado al momento de abrir el archivo (ver Ilustración N°7), esto con la finalidad de señalar si se cuenta con condiciones favorables o desfavorables, puesto que las embarcaciones tienen tiempos distintos dependiendo de las condiciones climáticas.



Ilustración N°7: Menú ingreso de datos. Fuente: Elaboración propia.

El menú ingreso de datos, recopila la información para realizar el TSP, ya que, luego de presionar el botón “FINALIZAR”, la programación compara las distancias entre sí, de todos los centros ingresados, entregando una ruta basada en la distancia mínima.

Una vez, obtenida esta ruta mínima, se debe desplegar la pestaña resultados (ver Ilustración N°8), para poder visualizar la distribución de la carga de pasajeros a lo largo del recorrido.



Ilustración N°8: Pestaña resultados. Fuente: Elaboración propia.

Luego de presionar el botón resultados (ver Ilustración N°9), se requerirán ingresar datos del problema específico, como la ventana horaria, el clima actual, personas que salen desde el centro de origen y el precio del combustible.



Ilustración N°9: Menú resultados. Fuente: Elaboración propia.

Luego de presionar el botón aceptar, se entregará la ruta que debe seguir cada una de las embarcaciones, con su respectivo tiempo total estimado, número de pasajeros que llegan al origen una vez terminada la ruta y el costo total en pesos (\$). Además, en el apartado del detalle, se considera personas a entregar y a recoger y el tiempo estimado entre un par de vértices.

La programación, se puede observar en el **ANEXO C**.

3.5. Desarrollo caso ejemplo

A manera de ejemplificar el funcionamiento, se desarrolla el siguiente caso.

En primer lugar, los datos ingresados por el usuario son el número de centros, incluidos el centro principal, y el detalle de éstos, con sus respectivas ofertas y demandas (ver Ilustración N°10).

Ventisqueros

N° CENTROS: 8

CENTRO ORIGEN: Cholgo

FECHA	CENTROS DESTINO	ENTREGAR	RECOGER
3/12	Astilleros	4,00	2,00
3/12	Quintupeu Smolts	2,00	0,00
3/12	Telele	0,00	4,00
3/12	Calamaco	3,00	2,00
3/12	Antepulli	4,00	0,00
3/12	Cascada	5,00	1,00
3/12	Tambor	4,00	0,00

Ilustración N°10: Detalle datos de entrada. Fuente: Elaboración propia.

El programa por su parte, una vez detectado los datos ingresados busca en una serie de matrices las distancias entre centros, ordenándolos de menor a mayor, para así detectar el par de vértices más cercano (ver Ilustración N°11).

ARCO	CENTRO ORIGEN	DESTINOS	DISTANCIAS
CholgoAstilleros	Cholgo	Astilleros	5,43
CholgoCalamaco	Cholgo	Calamaco	9,20
CholgoCascada	Cholgo	Cascada	11,60
CholgoQuintupeu Smolts	Cholgo	Quintupeu Smolts	12,09
CholgoTelele	Cholgo	Telele	12,10
CholgoAntepulli	Cholgo	Antepulli	13,80
CholgoTambor	Cholgo	Tambor	20,60

Ilustración N°11: Matriz distancia más corta con respecto al centro Cholgo. Fuente: Elaboración propia.

Una vez finalizada la búsqueda, se obtiene la ruta del camino más corto, sin considerar el número de embarcaciones disponibles, ni sus capacidades.

En la segunda y tercera columna de la Ilustración N°12 se muestran los tiempos considerando un clima óptimo, mientras que la cuarta y quinta refieren al clima no óptimo.

Para el siguiente caso se toma un clima favorable (ver Ilustración N°12), por lo que los tiempos son estimados en base a las matrices N° 10 y N° 11 – matrices de distancia y tiempos en **ANEXO D** -.

ARCO	PRAT	TORRE	PRAT 2	TORRE 2
CholgoAstilleros	14	15	28	30
AstillerosCalamaco	10	10	20	20
CalamacoCascada	6	8	13	16
CascadaTelele	6	15	12	30
TeleleAntepulli	5	8	10	16
AntepulliTambor	23	18	46	36
TamborQuintupeu Smolts	50	62	101	124
Quintupeu SmoltsCholgo	27	34	55	68
	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
TOTAL	141	170	285	340

Ilustración N°12: Matriz distancia más corta, considerando todos los vértices. Fuente: Elaboración propia.

Obtenido ésto, se incluyen las restricciones de ventana de tiempo del sistema, personas que hacen ingreso en el centro principal y el valor del combustible. Además, se incluye los datos del número de flota con sus capacidades disponibles.

Los resultados que arrojó el proceso se observan en la Ilustración N°13:

RESULTADOS		BORRAR		COSTO TOTAL \$ 222.832		IR DATOS	
FECHA	3/12	FECHA	3/12	FECHA	3/12	FECHA	3/12
EMBARCACIÓN	CAPITÁN PRAT	EMBARCACIÓN	J.J. LA TORRE	EMBARCACIÓN	J.J. LA TORRE	EMBARCACIÓN	J.J. LA TORRE
N° PASAJEROS	1	N° PASAJEROS	0	N° PASAJEROS	0	N° PASAJEROS	0
TIEMPO TOTAL (MIN)	78	TIEMPO TOTAL (MIN)	157	TIEMPO TOTAL (MIN)	157	TIEMPO TOTAL (MIN)	157
CLIMA	ÓPTIMO	CLIMA	ÓPTIMO	CLIMA	ÓPTIMO	CLIMA	ÓPTIMO
RUTA	ENTREGAR / RECOGER / TIEMPO	RUTA	ENTREGAR / RECOGER / TIEMPO	RUTA	ENTREGAR / RECOGER / TIEMPO	RUTA	ENTREGAR / RECOGER / TIEMPO
Cholgo	4 // 2 // 14	Cholgo	4 // 0 // 58	Cholgo	4 // 0 // 58	Cholgo	4 // 0 // 58
Astilleros	3 // 2 // 10						
Calamaco	5 // 1 // 6						
Cascada	0 // 4 // 6						
Telele	4 // 0 // 5						
Antepulli	CAP. DISP 7 // 31						
Cholgo	VOLVER AL ORIGEN	Tambor	2 // 0 // 62	Cholgo	VOLVER AL ORIGEN	Cholgo	VOLVER AL ORIGEN
		Quintupeu Smolts	CAP. DISP 10 // 34				
COSTO FIJO	\$ 21.000	COSTO FIJO	\$ 22.333	COSTO FIJO	\$ 22.333	COSTO FIJO	\$ 22.333
COSTO VARIABLE	\$ 57.876	COSTO VARIABLE	\$ 121.623	COSTO VARIABLE	\$ 121.623	COSTO VARIABLE	\$ 121.623

Ilustración N°13: Resultados arrojados por el programa. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados encuentran una ruta factible, por consiguiente cumple todas las restricciones impuestas y arroja un costo mínimo asociado al traslado de personal.

3.5.1. Factibilidad de la ruta arrojada

Considerando el modelo propuesto del punto 3.2.1.1, función objetivo y restricciones:

Conjunto restricción N°1: Todos los centros son visitados a lo menos una vez, mientras que la lancha Capitán Prat visita Astilleros, Calamaco, Cascada, Telele y Antepulli la lancha J.J. La Torre los centro Tambor y Quintupeu Smolts.

Conjunto restricción N°2: La conservación del flujo se garantiza en ambas embarcaciones, puesto que las lanchas siguen un recorrido continuo teniendo el mismo punto de inicio y fin.

Conjunto restricción N°3: Ambas rutas comienzan en el centro de origen Cholgo.

Conjunto restricción N°4: Ambas rutas finalizan en el centro de origen Cholgo.

Conjunto restricción N°5: Las personas que deben salir desde el centro Cholgo son 14, por lo tanto a la lancha Capitán Prat se le asignan 8 personas (para que pueda satisfacer ofertas y demandas de la ruta que sigue), mientras que J.J. La Torre sale con 6.

N° Pasajeros	Capitán Prat	J.J. La Torre
14	8	6

Tabla N°10: Detalle pasajeros origen. Fuente: Elaboración propia.

Conjunto restricción N°6: La carga acumulada en el primer centro, en un par de vértices, más la oferta y demanda del segundo centro es igual a la carga acumulada del segundo centro.

CENTROS	Cholgo	Astilleros	Calamaco	Cascada	Telele	Antepulli	Tambor	Quintupeu Smolts
Carga acumulada Capitán Prat	8	6	5	1	5	1	-	-
Carga acumulada J.J. La Torre	6	-	-	-	-	-	2	0

Tabla N°11: Detalle Carga acumulada. Fuente: Elaboración propia.

Conjunto restricción N°7: Si se observa la carga acumulada en la Tabla N°11, se tiene que en todo momento la carga es menor o igual a las capacidades de ambas lanchas (Capacidad efectiva 8 y 10 respectivamente).

Conjunto restricción N°8: El cumplimiento horario está sujeto a una ventana de 180 minutos, dado esto, la lancha Capitán Prat muestra un tiempo estimado de 78 min., mientras que J.J. La Torre uno de 157 min.

Detalle tiempos (min)		
Centros	Capitán Prat	J.J. La Torre
Cholgo	0	-
Astilleros	14	-
Calamaco	10	-
Cascada	6	-
Telele	6	-
Antepulli	5	-
Tambor	-	58
Quintupeu Smolts	-	62
Cholgo	31	34
Resumen de Tiempos		
Tiempo Traslado	72	154
Tiempo Servicio	6	3
Tiempo Total	78	157

Tabla N°12: Detalle tiempos. Fuente: Elaboración propia.

Conjunto restricción N° 9: El número de embarcaciones está limitada, ya que, se cuentan con dos lanchas, de distintas características.

Conjunto restricción N° 10: Las cargas siempre son mayores o iguales a cero.

Conjunto restricción N° 11: Los costos variables son considerados dependiendo de los centros que visita cada embarcación respectivamente.

Función Objetivo: La función objetivo representa la sumatoria de costos fijos, y variables de ambas lanchas. Para este punto, el precio estimado del combustible es de \$700.

Lanchas	Capitán Prat	J.J. La Torre
Costos Fijos	\$ 21.000	\$ 22.333
Costos Variables	\$ 57.876	\$ 121.623
Costo Total	\$ 222.832	

Tabla N°13: Costo Total. Fuente: Elaboración propia.

Ilustrativamente, se puede observar a continuación:

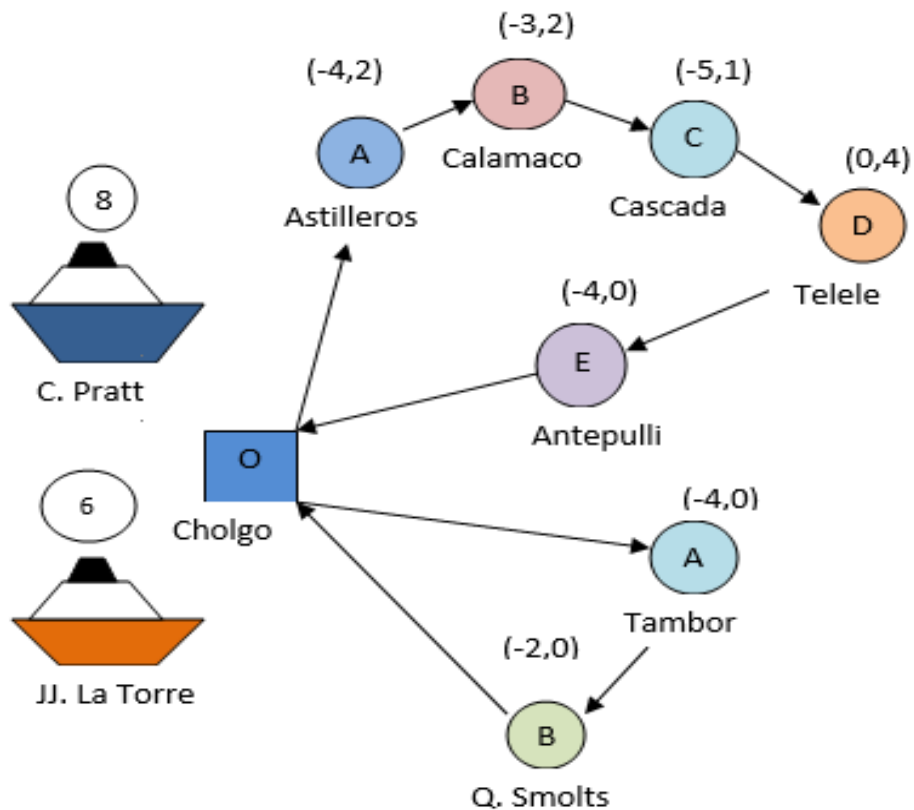


Ilustración N°14: Distribución de lanchas según resultados. Fuente: Elaboración propia.

El detalle puede ser visto con mayor profundidad en el **ANEXO E**.

3.6. Análisis comparativo: Sistema actual versus Sistema propuesto.

De la comparación del sistema actual utilizado en Ventisqueros S.A., versus el sistema propuesto, se tienen las siguientes consideraciones:

- Se hizo una evaluación de los traslados realizados entre la semana del 17 al 22 de agosto del 2015, comparando rutas, distribución y costos totales estimados.
- Se hizo una evaluación de cuatro días adicionales para estimar si los resultados de la semana evaluada anteriormente son representativos del sistema.
- Las instancias se evaluaron considerando tanto para las rutas proporcionadas por la empresa, como para las entregadas por el programa, un clima “óptimo”.
- Las ventanas horarias del sistema consideraron un rango de 180 minutos.
- El precio del combustible fue estandarizado en \$ 700/L.

Dadas estas consideraciones, se tiene lo siguiente:

En la semana del 17 al 22 de agosto, el 66,7 % de los casos analizados, el ruteo realizado por la empresa tiene costos más bajos que los arrojados por el programa, entregando así, un ahorro económico del 7,19 %.

Por otro lado, se tiene que de los casos restantes, el ahorro que proporcionó el programa es de un 24,28 %. El Gráfico N°2 muestra lo sucedido.

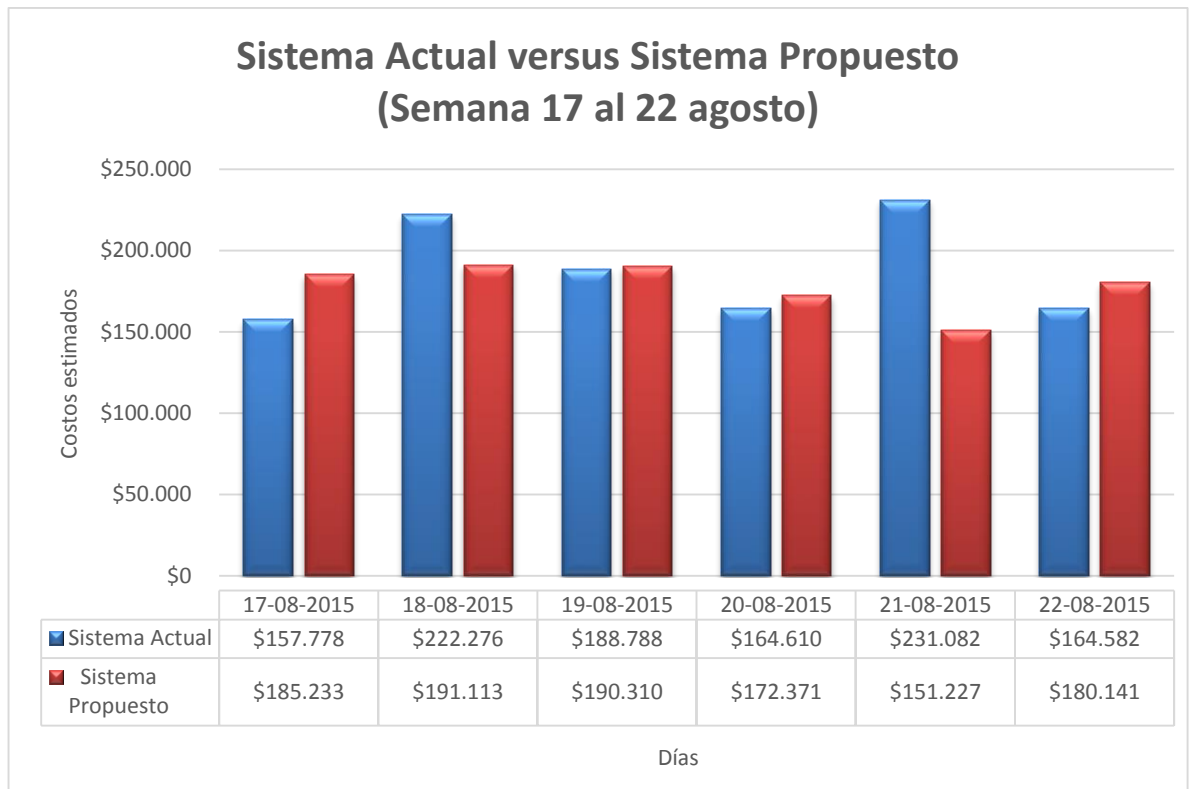


Gráfico N°2: Sistema actual versus sistema propuesto (Semana 17 al 22 agosto). Fuente: Elaboración propia.

Además, tomando los resultados totales de la semana, el sistema propuesto entregó ahorros económicos estimados de un 5,2 % por sobre el ruteo de la empresa.

El análisis que consideró cuatro casos anexos a la semana antes estudiada, arrojó que en el 75 % de ellos, el programa obtuvo mejores resultados económicos, llegando a un ahorro del 8,5 % promedio.

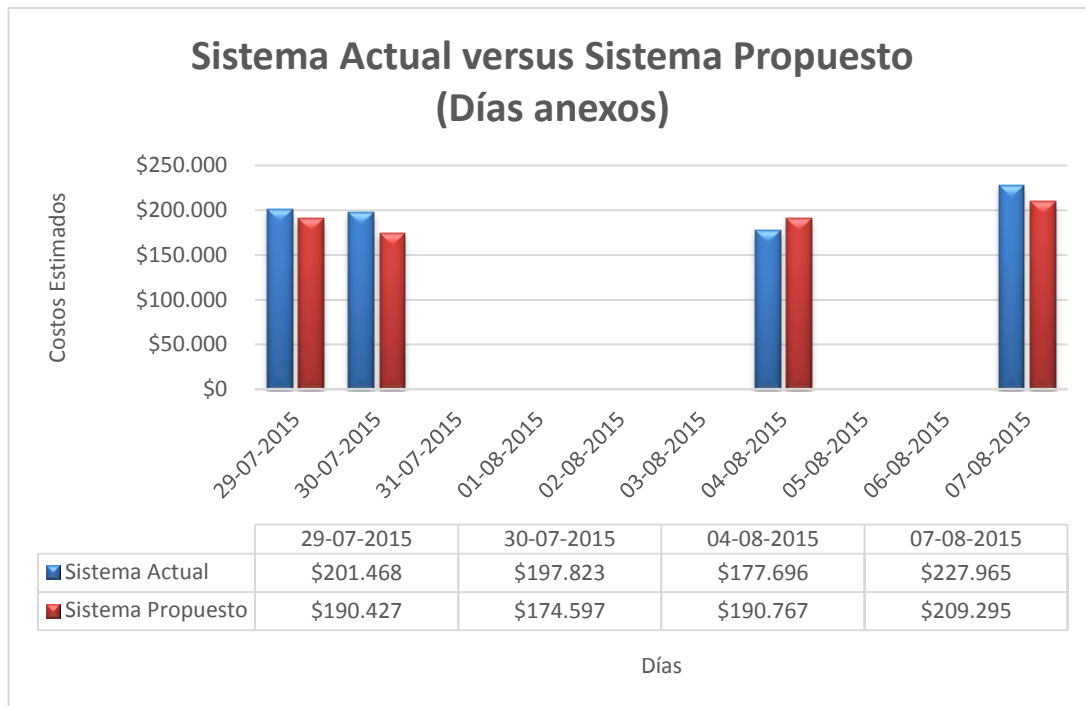


Gráfico N°3: Sistema actual versus sistema propuesto (Días anexos). Fuente: Elaboración propia.

Por su lado, de los resultados totales de estos cuatro casos, se llegó a un ahorro económico estimado del 4,95 % aproximado, siendo así consistente con el 5,2 % estimado de la semana antes analizada.

Por lo tanto, basados en estos resultados, se puede decir que el sistema propuesto ayuda a bajar los costos variables del sistema de ruteo en un 5 %, equivalentes a un ahorro aproximado de \$60.000 semanales (ver Tabla N°16 anexos).

Cabe señalar, que el sistema propuesto funciona bajo la premisa de permutación de tripulantes, dejando en determinados casos pasajeros pendientes de entregar a su centro de destino, sin embargo, esto se evidencia a través del detalle mostrado al usuario, permitiéndole tomar esta consideración para la decisión de ruteo.

Siguiendo con el análisis de los resultados, el sistema propuesto disminuyó considerablemente los tiempos en confección de los *tracks*, ya que en pocos minutos se

obtuvo una ruta factible, que además, dados los datos anteriores, entregó menores costos estimados que el proceso actual.

Así mismo, debido a la rapidez con que se pueden obtener estos resultados, es posible visualizar distintos escenarios con horizontes de tiempo inferiores a 3 horas -que es la ventana horaria actual del sistema-, así, en determinados casos se puede contar con mayores márgenes en tiempos de operación.

Por su parte, bajo la modalidad de un clima no óptimo, los resultados obtenidos por la empresa representan una solución en función de las condiciones climáticas, mientras que el sistema propuesto obtuvo resultados factibles para la lancha Capitán Prat, ya que ésta puede trasladarse con una velocidad mayor a la J.J. La Torre. Sin embargo, ésta última muestra resultados factibles para las cargas acumuladas que se originan de la permutación de pasajeros, no así con los tiempos de operación, donde sobrepasa la ventana horaria impuesta. Dado esto, el nuevo sistema muestra los resultados considerando esta violación de tiempos, funcionando de igual modo como una herramienta de decisión, que permite dar prioridad al personal que requiera con mayor urgencia llegar a su centro de destino, o bien retirarse de éste. Esto se justifica a través del detalle que muestra el sistema, ya que se puede decidir hasta qué punto se cumple con las restricciones iniciales.

Otro punto a favor del sistema propuesto está dado por el porcentaje de utilización que se le da a la lancha Capitán Prat, que en todos los casos, salvo situaciones en que la oferta del primer vértice a visitar sea mayor en 5 o más pasajeros a la demanda, se carga a capacidad completa. Lo anterior es debido a que tiene menores costos operacionales y se intenta si es posible, trazar una ruta sólo con una lancha. Cabe recordar que el criterio de carga actual es transportar a lo menos cada lancha con la mitad de su capacidad.

Finalmente, se puede concluir que para los centros analizados no se evidencia un ahorro diario contundente, esto se explica dado el conocimiento empírico que posee el personal en la confección de *tracks* relacionados con estos centros, sin embargo, al analizar otros

centros concesionados, el nuevo sistema presentará desde primera instancia una solución factible que minimice los costos.

El detalle puede observarse en el **ANEXO F**.

4. Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

Ventisqueros S.A. en sus labores diarias de ruteo de embarcaciones para satisfacer ofertas y demandas de personal, tanto propio como externo, se enfrenta a un problema de difícil solución. Lo anterior debido a las características singulares del problema, ya que, no sólo existe el problema de distribuir la flota, sino que también se desafían condiciones climáticas, lo que hace que diariamente exista un escenario diferente.

Dado esto, el cumplimiento del objetivo general, está basado en datos históricos, al apoyo del personal administrativo y operativo, en conjunto al trabajo desarrollado en este proyecto de título.

Por otro lado, se establecieron cinco objetivos específicos, de los cuales se concluye:

- Para el primer objetivo específico: *“Diagnosticar el estado actual del área Producción Mar, y su manejo dirigido al transporte de personal, por medio de un análisis a los agentes activos participantes.”*

La revisión de los archivos digitales, ayudó a obtener una panorámica general y teórica del problema, de igual manera, apoyados en estos datos, se direccionó el desarrollo del estudio realizado.

Con la ayuda del personal administrativo, se desarrolló una herramienta que permitió recolectar datos en terreno, así, se obtuvo la percepción del personal operacional, capitanes y ayudantes, verificando que el problema es transversal a la sección. De este análisis, se recogió información fidedigna, y se notó la disposición de aceptar nuevas alternativas de ruteo, distintas a las utilizadas actualmente

Cabe señalar, que con este diagnóstico se definieron variables cuantitativas y cualitativas.

- Para el segundo objetivo específico: *“Proponer un modelo de programación lineal entera que se ajuste a los requerimientos propios del problema.”*

La información recopilada en el punto anterior fue llevada a un modelo matemático llamado *Rich Heterogeneous Vehicle Routing Problem Pickup and Delivery*, que utilizó la combinación de restricciones encontradas en la literatura con otras nuevas dirigidas al problema en particular. De este modo, se propuso un modelo para la resolución del problema que afronta el área Producción Mar, con la finalidad de entregar alternativas factibles de ruteo que pretenden minimizar tiempos y costos del proceso

- Para el tercer objetivo específico: *“Utilizar una heurística constructiva basada en el vecino más cercano, para obtener mediante la programación realizada una solución de buena calidad.”*

El modelo se llevó a cabo con una heurística constructiva basada en el vecino más cercano, considerando características de flota, tiempos del sistema, y costos asociados a la realización de una ruta. Se ilustró el algoritmo que pretendió satisfacer los requerimientos del problema, y que ayudó posteriormente a encontrar ahorros de hasta un 34,56 % (ver Tabla N°15 anexos) en costos totales.

- Para el cuarto objetivo específico: *“Diseñar un programa que trabaje con base de datos y permita visualizar de manera instantánea el recorrido que debe seguir una embarcación por los distintos centros de destino.”*

La programación, que está respaldada según lo mencionado anteriormente, entregó resultados en tiempos breves, con costos tentativos que parten con un ahorro estimado de un 5,5 % (ver Tabla N°17 anexos), además de un detalle de ofertas, demandas y tiempos entre un par de vértices. Se debe destacar que los tiempos entre un par de vértices es un

factor importante para el personal a cargo de la confección de *tracks*, puesto que al margen de los resultados arrojados por el programa, les permite tomar decisiones de aceptar o no la ruta recomendada, así también, pueden asignar cual es el costo de visitar cada centro por separado, lo que fue una sugerencia hecha por el personal durante la visita a terreno realizada.

- Para el quinto y último objetivo específico: *“Proponer alternativas de ruteo eficientes que estén orientadas a los centros de engorda de peces analizados.”*

La realización de los *tracks*, se hace con un día de anticipo, puesto que además del flujo de personal de la empresa, se deben sumar o restar dependiendo el caso, personas externas. De este modo, es común que surjan contratiempos de último minuto, por lo que el programa debido a la rapidez con la que se ejecuta, toma mayor preponderancia a la hora de tomar decisiones de ruteo.

Por otro lado, se desprende que el conocimiento empírico del personal que configura las rutas, se acerca a los resultados mostrados por el programa, ya que éstos dominan distancias y tiempos aproximados de visitar cada centro, siendo el factor diferenciador las cargas de pasajeros y la interacción con las capacidades de la flota, puesto que este varía según la distribución diaria.

Finalmente, la utilización del programa, es una alternativa eficiente para la toma de decisiones de ruteo, que ayuda a la logística marítima de Ventisqueros S.A., permitiendo estimar costos, tiempos de traslado y variaciones en la entrega y recogida del personal.

4.2. Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones surgen luego de haber analizados los resultados y que intentan mejorar el sistema logístico de Ventisqueros S.A.

- Una vez se haya puesto en marcha la utilización de esta nueva herramienta, comunicarlo al personal operacional, con el fin de obtener impresiones acerca de las posibles mejoras percibidas.
- Realizar una planificación con jornadas rotativas del personal operacional, puesto que según las condiciones climáticas y/o factores de oferta y demanda, una lancha tendrá notoriamente mayor carga laboral. Por tanto, sería recomendable que el personal de la mañana cambie de embarcación en la jornada de la tarde, y viceversa.
- La nueva herramienta entrega en su detalle el tiempo estimado entre un par de centros, de esta manera se recomienda asignar los costos de traslados equitativamente a cada centro, y no arbitrariamente al último centro visitado, como se hace actualmente.
- Debido a que este proyecto es una propuesta, se sugiere llevar un registro anexo al que se lleva actualmente, de cuál es el ahorro real de la implementación de esta nueva herramienta, considerando costos variables incurridos luego de la puesta en marcha.
- Considerar el costo de oportunidad que se genera con el ahorro de tiempos en configurar la ruta, puesto que esta nueva herramienta los disminuye sustancialmente.
- Utilizar esta herramienta en caso de que surja un cambio en la oferta y/o demanda de último minuto, ya que, una vez hayan iniciado su recorrido las embarcaciones, en

pocos segundos verificarán si es posible trasladar una persona que no esté en el *track*.

- Realizar un estudio de tiempos más acabado, con el fin de que los resultados sean aún más representativos de la realidad, mejorando la calidad de la solución.

Bibliografía

- Anily Sh. & Mosheiov G. (1994), "*The Traveling Salesman Problem with Delivery and Backhauls*," Operations Research Letters 16, 11 - 18.
- Azi N., Gendreau M. & Potvin J. (2010) "*An exact algorithm for a vehicle routing problema with time windows and multiple use of vehicles*", European Journal of Operational Research, Vol. 202, No. 3, 756-763.
- Baldacci R., Battarra M. & Vigo D. (2008) "*Routing a heterogeneous fleet of vehicles. In: The vehicle routing problem: latest advances and new challenges*". Springer, Berlin, 11–35.
- Baldacci R & Mingozzi A (2009) "*A unified exact method for solving different classes of vehicle routing problems Math*". Program 120, 347–380.
- Beasley J.E. (1983). "*Route- first cluster- second methods for vehicle routing*". Omega, 11, 403-408.
- Bianchessi, N. & Righini, G. (2007). "*Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery*". Computers & Operations Research, 34, 578-594.
- - Casco D. O., Golden B. L. & Wasil E. A. (1988), "*Vehicle Routing with Backhauls: Models, Algorithms, and Case Studies*," in Vehicle Routing: Methods and Studies, 127 -147.
- Clarke G. & Wright J. (1964) "*Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points*". Operations Research, 12(4), 568-581.
- Dantzig G. B. & Ramser J. H. (1959). "*The Truck Dispatching Problem. Management Science*", Vol. 6, No. 1, 80-91.
- Desrochers M. & Verhoog J. W. (1991). "*A new heuristic for the fleet size and mix vehicle routing problem*". Computers and Operations Research, 18, 263-274.
- Dréo J., Siarry P., Pétrowski A. & Taillard E. (2006): "*Metaheuristics for Hard Optimization*". Primera Edición, Berlin, Springer-Verlag,

- Ferland, J. A. & Michelon, P. (1988). *"The Vehicle Scheduling Problem with Multiple Vehicle Types"*. Journal of the Operational Research Society, 39(6), 577-583.
- Fisher M. & Jaikumar R. (1981). *"A generalize dassignment heuristic for vehicle routing"*. Networks 11: 109–124.
- Flood M. M. (1956). *"The traveling-salesman problem"*. Operations Research. Vol. 4, 61-75.
- Gendreau M., Laporte G. & Hertz A. (1997), *"An Approximation Algorithm for the Traveling Salesman Problem with Backhauls"*, Operations Research 45, 639-641.
- Gendreau M., Laporte G. & Vigo D. (1999), *"Heuristics for the Travelling Salesman Problem with Pickup and Delivery,"* Computers & Operations Research 26, 699 - 714.
- Gendreau M, Laporte G., Musaraganyi Ch., & Taillard E. (1999). *"A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem"*. Computers and Operations Research, 26, 1153-1173.
- Gheysens F.G., Golden B.L. & Assad A.A. (1984) *"A comparison of techniques for solving the fleet size and mix vehicle routing problem"*. OR Spectrum, 6(4), 207-216.
- Goetschalckx M. & Jacobs-Blecha Ch. (1989), *"The Vehicle Routing Problem with Backhauls,"* European Journal of Operational Research 42, 39-51.
- Golden B. L., Baker E. K., Alfaro J. L. & Schaffer J. R. (1985), *"The Vehicle Routing Problem with Backhauling: Two Approaches,"* working paper MS/S 85-017, University of Maryland, College Park.
- Halse K. (1992), *"Modeling and Solving Complex Vehicle Routing Problems"*. PhD thesis, Institute of Mathematical Statistics and Operations Research, Technical University of Denmark, Lyngby.
- Jourdan L. Basseur M. & Talbi E-G (2009): *"Hybridizing exact methods and metaheuristics: A taxonomy"*. European Journal of Operations Research, Vol n 199(3) .620-629.
- Lenstra J. & Rinnooy K. (1981). *"Complexity of vehicle routing and scheduling problems"*. Networks 11, 221 – 227.

- Li F., Golden B.L. & Wasil E.A. (2007). "A record-to-record travel algorithm for solving the hetero geneous fleet vehicle routing problem." *Computers & Operations Research*, 34(9), 2734-2742.
- Martínez E., Rivera R., Vázquez C. & Martínez C. (sin fecha). "Desarrollo de modelos industriales. Cadena de valor" *Monografías*. Disponible en: <http://http://www.monografias.com/trabajos28/cadena-de-valor/cadena-de-valor.shtml>
- Miller C. E., Tucker A.W. & Zemlin R.A. (1969). "Integer programming formulations and traveling sales man problems", *J. ACM*, vol. 7, 326–329.
- Min H. (1989), "The Multiple Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up Points," *Transportation Research A* 23A, 377-386.
- Min H., Current J. & Schilling D. (1992), "The Multiple Depot Vehicle Routing Problem with Backhauling," *Journal of Business Logistics* 13, 259 -288.
- Montane, F. & Galvão, R. (2006). "A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service", *Computers & Operations Research*, 33 (3), 595-619.
- Mosheiov G. (1994), "The Travelling Salesman Problem with Pick-up and Delivery," *European Journal of Operational Research* 79, 299 - 310.
- Osman I. H. & Wassan N. A. (2002), "A Reactive Tabu Search Meta-heuristic for the Vehicle Routing Problem with Backhauls". *Journal of Scheduling* 5, 263-285.
- Penna P, Subramanian A. & Ochi L., (2011), "An Iterated Local Search heuristic for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem", *Journal of Heuristics*, doi:10.1007/s10732-011-9186-y
- Rochat Y. & Semet F. (1994). "A tabu search approach for delivering pet food and flour in Switzerland." *Journal of the Operational Research Society*, 45, 1233-1246.
- Salhi S. & Nagy G. (1999), "A clusterinsertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with back hauling," *Journal of the Operational Research Society* 50, 1034-1042.

- Semet F. & Taillard E. (1993). "*Solving real-life vehicle routing problems efficiently using taboo search.*" *Annals of Operations Research*, 41, 469-488.
- Taillard E. (1996). "*A heuristic column generation method for the heterogeneous fleet vrp.*" Technical Report CRT-96-03, Centre for Research on Transportation, University of Montreal, Canada.
- Tarantilis C.D., Kiranoudis C.T. & Vassiliadis V.S. (2003) "*A list based threshold accepting metaheuristic for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem.*" *Journal of the Operational Research Society*, 54(1), 65-71.
- Tarantilis C.D., Kiranoudis C.T. & Vassiliadis V.S. (2004). "*A threshold accepting metaheuristic for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem.*" *European Journal of Operational Research*, 152(1), 148-158
- Tillman, F. A. (1969). "*The multiple terminal delivery problem with probabilistic demands.*" *Transportation Science*, 3(3), 192-204.

Referencias

- Bermeo E. & Calderón J. (2009). "*Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte El Hombre y la Máquina*", Universidad Autónoma de Occidente Cali, Colombia. N 32. 52-67. Disponible en:
http://www.academia.edu/15864695/Redalyc.Dise%C3%B1o_de_un_modelo_de_optimizaci%C3%B3n_de_rutas_de_transporte
- Castañeda M. (2009) "*Aplicación de la metaheurística búsqueda tabú al problema de la ruta más corta para una empresa distribuidora de harina de trigo*". Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia. Disponible en:
http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/587/1/digital_18066.pdf
- Fombellida R. (s.f.) "*I. La investigación operativa*" Disponible en:
<http://www.eio.uva.es/~ricardo/io/introio.pdf>
- Linfati R., Escobar J.W. & Cuevas B. (2014). "*An algorithm based on granular tabu search for the problem of balancing public bikes by using multiple vehicles*". Universidad nacional de Colombia. Medellín, Colombia. Dyna, vol. 81, núm. 186. 284-294. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49631663036>
- Lüer A. Benavente M. Bustos J. & Venegas B. (2009) "*El problema de rutas de vehículos extensiones y métodos de resolución, estado del arte*". Workshop internacional EIG 2009. Universidad de la Frontera, Chile. Disponible en: http://ceur-ws.org/Vol-558/Art_23.pdf
- Nagy, G., & Salhi, S. (2005). "*Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries*". European journal of operational research, 162(1), 126-141. Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221703008361>
- Olivera A. (2004). "*Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos. Instituto de Computación*", Facultad de Ingeniería, Universidad de la Republica, Montevideo,

Uruguay. Disponible en:

<https://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>

- Rangel N. (2005). "*Análisis de los problemas de asignación de rutas, horarios, y carga en una distribuidora de productos (Unpublished master's thesis)*". Posgrado en ciencias de la computación. Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México. Disponible en: <file:///C:/Users/PC%20PC/Downloads/TMNerlsonRV05.pdf>
- Rocha L. González C & Orjuela J. (2011) "*Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución*". En: Ing. Vol. 16 N°2 35-55. Disponible en: <file:///C:/Users/PC%20PC/Downloads/Dialnet-UnaRevisionAlEstadoDelArteDelProblemaDeRuteoDeVehi-4797255.pdf>
- Romero G. (2008) "*Diseño y desarrollo de un sistema de apoyo a las decisiones de ruteo marítimo para un proveedor de alimentos de la industria del salmón*". (Tesis de Pregrado) Universidad de Chile, Santiago, Chile. Disponible en: <http://www.dii.uchile.cl/~gduran/docs/tesis/Romero-Tesis.pdf>
- Toth P. & Vigo D. (2002). "*The Vehicle Routing Problem*". Society of Industrial and Applied Mathematics (SIAM) monographs on discrete mathematics and applications, Philadelphia, USA, 1-23, 109-149.
- Toth P. & Vigo D. (2002). "*The Vehicle Routing Problem*". Society of Industrial and Applied Mathematics (SIAM) monographs on discrete mathematics and applications, Philadelphia, USA, 225-238.
- Villasante J. (2014) "*Ruteo de barcos para el suministro de alimentos en la industria salmonera*" (Tesis de magíster) Universidad de Chile, Santiago, Chile. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130356/cf-villasante_jv.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yeun, L. C., Ismail, W. R., Omar, K., & Zirour, M. (2008). "*Vehicle routing problem: models and solutions*". Journal of Quality Measurement and Analysis, 4(1), 205-218. Disponible en:

https://www.techylib.com/en/view/spleenaback/vehicle_routing_problem_models_and_solutions

ANEXO A: TIPOS DE VEHICLE ROUTING PROBLEM, VRP.

SIGLA	SIGNIFICADO
TSP	Travelling Salesman Problem (Problema del Agente Viajero)
m-TSP	Multiple Travelling Salesman Problem (Problema del Agente Viajero Múltiple)
m-TSPTW	Multiple Travelling Salesman Problem Time Windows (Problema del Agente Viajero Múltiple con Ventanas de Tiempo)
m-PTSP	Multiple Probabilistic Travelling Salesman Problem (Problema del Agente Viajero Múltiple Probabilístico)
PTSP	Probabilistic Travelling Salesman Problem (Problema del Agente Viajero Probabilístico)
CVRP	Capacited Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo de Vehículos Capacitado)
DVRP	Distance Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo de Vehículos con restricciones de Distancia)
DCVRP	Capacited and Distance Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo de Vehículos con restricciones de Capacidad y Distancia)
VRPTW	Vehicle Routing Problem Time Windows (Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo)
VRPMTW	Vehicle Routing Problem Multiple Time Windows (Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo Múltiples)
VRPTD	Vehicle Routing Problem with Time Deadlines (Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo Duras)
VRPSTW	Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows (Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de tiempo duras Flexibles)
VRPB	Vehicle Routing Problem with Backhauls (Problema de Ruteo de Vehículos con Retornos)
VRPBTW	Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows (Problema de Ruteo de Vehículos con Retornos)
SDVRP	Split Delivery Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo de Vehículos con Entregas Fraccionadas)
SDVRPTW	Split Delivery Vehicle Routing Problem with Time Windows (Problema de Ruteo de Vehículos con Entregas Fraccionadas y Ventanas de Tiempo)
VRPHF	Vehicle Routing Problem Heterogeneous Fleet (Problema de Ruteo de Vehículos Flota Heterogénea)
VRPPD	Vehicle Routing Problem Pickup and Delivery (Problema de Ruteo de Vehículos Recogida y Entrega)
VRPPDTW	Vehicle Routing Problem Pickup and Delivery and Time Windows (Problema de Ruteo de Vehículos Recogida y Entrega con Ventanas de Tiempo)

Site-dependent VRP	Vehicle Routing Problem Site-dependent (Problema de Ruteo de Vehículos Dependiente del Sitio)
HVRPFD	Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Routing Fixed Cost (Problema de Ruteo de Vehículos Heterogéneo con Costo Fijo y Vehículos Dependientes de Ruta)
HVRPD	Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Routing Cost (Problema de Ruteo de Vehículos Heterogéneo con Costo y Vehículos Dependientes de Ruta)
FSVRP	Fleet Size Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo de Vehículos Tamaño de Flota)
FSMFD	Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Fixed Costs and Vehicle Dependent Routing (Problema de Ruteo de Vehículos Mixto y Tamaño de Flota con Costo Fijo y Vehículos Dependientes de Ruta)
FSMD	Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Costs and Vehicle Dependent Routing (Problema de Ruteo de Vehículos Mixto y Tamaño de Flota con Costo y Vehículos Dependientes de Ruta)
FSMF	Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Fixed Costs (Problema de Ruteo de Vehículos Mixto y Tamaño de Flota con Costo Fijo)
PVRP	Periodic Vehicle Routing Problem with (Problema de Ruteo de Vehículos Periódico)
Multi - trip VRP	Vehicle Routing Problem Multiple Trips (Problema de Ruteo de Vehículos Múltiples Viajes)
Multi - depot VRP	Vehicle Routing Problem Multiple Depots (Problema de Ruteo de Vehículos Múltiples Depósitos)
MCVRP	Multi Capacity Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo de Vehículos Múltiples Capacidades)
MOVRP	Multi Objective Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo de Vehículos Múltiples Objetivos)
SVRP	Stochastic Vehicle Routing Problem (Problema de Ruteo de Vehículos Estocástico)
VRPUD	Vehicle Routing Problem Uncertain Demand (Problema de Ruteo de Vehículos Demanda Incierta)
VRPSTT	Vehicle Routing Problem with Stochastic Travel Times (Problema de Ruteo de Vehículos)
SVRP nodos Stochastic	Vehicle Routing Problem Stochastic Nodes (Problema de Ruteo de Vehículos Estocástico con Nodos Estocásticos)

Tabla N°1 anexos: Tipos de *Vehicle Routing Problem*, VRP. Fuente: Rocha, L.; González, C. y Orjuela, J. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución.

ANEXO B: ENCUESTA, MEDICIÓN Y EVALUACIÓN.



Facultad de Ingeniería

Universidad Católica de la Santísima Concepción

Ventisqueros
pure origin, pure quality

ENCUESTA PERSONAL ÁREA PRODUCCIÓN MAR, VENTISQUEROS S.A.

<p>La siguiente encuesta tiene como función ayudar a diagnosticar el proceso que se realiza actualmente en el área Producción Mar, específicamente en el traslado de personal interno y externo a través de los distintos centros de engorda de peces. La encuesta está sujeta al Proyecto de Título, “Propuesta de sistema de apoyo a las decisiones de ruteo para el transporte marítimo de personal, en el área Producción Mar, Ventisqueros S.A.” de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (UCSC). Las respuestas tienen carácter confidencial por lo que se ruega responder con sinceridad. Cualquier consulta favor dirigirlas al correo: oarobles@ing.ucsc.cl</p>					
FAVOR MARCAR CON UNA "X" EN EL ESPACIO QUE CORRESPONDA					
LUGAR DE TRABAJO	CAPITÁN	AYUDANTE	OTRO		
1.- ¿Cuál es la labor que realiza actualmente?					
De haber marcado la opción "OTRO", favor indicar su puesto de trabajo:					
Si usted trabaja en el diseño de rutas ¿Le sería más cómodo seguir trabajando con Excel o cambiar de programa de apoyo?					
FAVOR MARCAR CON UNA "X" SEGÚN LA NOTA QUE ESTIME, SIENDO LA NOTA 5 LA MEJOR POSIBLE Y LA NOTA 1 LA PEOR					
MOTIVACIÓN Y RECONOCIMIENTO	1	2	3	4	5
1.- ¿Sus funciones y responsabilidades están bien definidas?					
2.- ¿Recibe información de cómo desempeña su trabajo?					
3.- ¿Está motivado y le gusta el trabajo que desarrolla?					
4.- ¿Le resulta fácil expresar sus opiniones en su grupo de trabajo?					
5.- ¿La comunicación interna dentro de su área de trabajo funciona correctamente?					

ÁREA Y AMBIENTE DE TRABAJO	1	2	3	4	5
1.- ¿El trabajo en su área o línea está bien organizado?					
2.- ¿Las condiciones de trabajo de su línea son seguras?					
3.- ¿Las cargas de trabajo están bien repartidas?					
4.- ¿Mantiene su lugar de trabajo limpio y libre de obstáculos?					
5.- ¿Puede realizar su trabajo de forma segura?					
FORMACIÓN E INFORMACIÓN	1	2	3	4	5
1.- ¿Recibe la formación necesaria para desempeñar correctamente su trabajo?					
2.- Cuando necesita formación específica, al margen de la establecida en el plan de formación ¿ha sido satisfecha?					
3.- Cuando se implantan nuevos mecanismos y es necesaria formación específica, ¿La empresa se lo proporciona?					
4.- ¿Los procedimientos establecidos en un principio se ejecutan correctamente?					
FAVOR MANIFIESTE SU APRECIACIÓN, SIENDO 5 LA MEJOR Y 1 LA PEOR					
FUNCIONAMIENTO	1	2	3	4	5
1.- ¿Encuentra que el actual recorrido a los centros de engorda es el adecuado?					
2.- ¿Le gustaría contar con nuevas alternativas de recorridos a los centros de engorda?					
3.- ¿Cree usted, que los tiempos de traslado pueden reducirse considerablemente?					
4.- ¿Encuentra que el procedimiento actual de planificación de traslados es el óptimo?					
5.- ¿Encuentra que debe existir traslado de personal interno, diferenciado del traslado de personal externo?					
6.- ¿Cree usted, que debería existir una cantidad mínima de pasajeros para transportar en todos los centros?					
7.- ¿Cree usted, que la lancha más grande debe abastecer los puntos más lejanos y la más pequeña los más cercanos?					
8.- ¿Está de acuerdo con los actuales horarios de traslado?					
9.- ¿Con qué nota evalúa el sistema de traslado actual?					

Detalle de establecimientos de criterios, y escalas de medición.

ÍTEM DE EVALUACIÓN	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECÍFICO
I.- MOTIVACIÓN Y RECONOCIMIENTO	Aporta información relacionada con el nivel de identificación por parte de los trabajadores. También aporta información sobre el nivel de conocimiento de los trabajadores sobre sus funciones y responsabilidades.	Evaluar el nivel de responsabilidad del personal con la empresa, además se recoge información de qué tanto conocen sus funciones a desempeñar. Así, estimar si los costos en ejecución (tiempo de ocupación y ocio, combustible, insumos) pueden ser a causa de la falta de compromiso de los trabajadores.
II.- ÁREA Y AMBIENTE DE TRABAJO	Se obtiene información relacionada con las condiciones de trabajo relacionadas con la seguridad, higiene y ergonomía. Con esta información se puede detectar y adelantarnos a la adecuación de los puestos de trabajo, para evitar riesgos e implantar mejoras en las condiciones y acondicionamiento de los espacios de trabajo.	Evaluar si el puesto de trabajo cuenta con las condiciones óptimas para poder desarrollar las actividades delegadas al personal, si estos se sienten seguros y cómodos. Puesto que, una buena organización en el área de trabajo produce ahorros de tiempos considerables.
III.- FORMACIÓN E INFORMACIÓN	Entrega información relacionada con los planes de formación que se aportan a los trabajadores, la formación básica impartida y las posibilidades de desarrollo profesional que se ofrece a los trabajadores en general. A través de esta información se puede detectar tanto nuevas necesidades formativas, como la necesidad de implantar otras vías de formación, o bien, las necesidades de desarrollo profesional en el caso de que exista.	Evaluar los niveles de comunicación existentes en la empresa en la actualidad y establecer una visión futura con la implementación de un nuevo sistema, para que las instrucciones dadas sean transmitidas de manera correcta al personal encargado de llevarlas a cabo. Con esto, se visualiza si los trabajadores siguen un protocolo dispuesto con anterioridad o qué nivel de improvisación existe.

IV.- FUNCIONAMIENTO	Se recoge información de la percepción de los trabajadores acerca de cómo se llevan a cabo las operaciones designadas. Si requieren nuevas alternativas de procedimientos y qué tan útiles estas serían, desde el punto de vista de su experiencia.	Evaluar el funcionamiento actual del área encargada del traslado de personal, basados en la experiencia de los trabajadores que ejecutan la actividad, entregando una mirada empírica.
V.- SUGERENCIAS	Permite obtener impresiones generales de los trabajadores.	Evaluar aspectos que el personal considere importantes de considerar.

Tabla N°2 anexos: Establecimiento criterios y mediciones encuesta. Fuente: Elaboración propia.

Sistema de evaluación de las respuestas realizadas por el personal

ESCALA DE PUNTAJE	ÍTEM EVALUADO
1,0	MUY MALO
2,0	MALO
3,0	REGULAR
4,0	BUENO
5,0	MUY BUENO

Tabla N°3 anexos: Sistema de evaluación encuesta. Fuente: Elaboración propia.

EVALUACIÓN	TOTAL (100 %)	CONSIDERADO		
		BUENO (> 80 %)	REGULAR (>= 60 %)	DEFICIENTE (< 60 %)
I.- MOTIVACIÓN Y RECONOCIMIENTO	225	180	135	134
II.- ÁREA Y AMBIENTE DE TRABAJO	225	180	135	134
III.- FORMACIÓN E INFORMACIÓN	180	144	108	107
IV.- FUNCIONAMIENTO	405	324	243	242
TOTAL	1035	828	621	68

Tabla N°4 anexos: Sistema de evaluación encuesta, totales esperados. Fuente: Elaboración propia.

MOTIVACIÓN Y RECONOCIMIENTO	TOTAL	RESULTADO
1.- ¿Sus funciones y responsabilidades están bien definidas?	43	Considerado bueno
2.- ¿Recibe información de cómo desempeña su trabajo?	42	Considerado bueno
3.- ¿Está motivado y le gusta el trabajo que desarrolla?	44	Considerado bueno
4.- ¿Le resulta fácil expresar sus opiniones en su grupo de trabajo?	45	Considerado bueno
5.- ¿La comunicación interna dentro de su área de trabajo funciona correctamente?	39	Considerado bueno

Tabla N°5 anexos: Resultados primer ítem. Fuente: Elaboración propia.

ÁREA Y AMBIENTE DE TRABAJO	TOTAL	
1.- ¿El trabajo de su área o línea está bien organizado?	41	Considerado bueno
2.- ¿Las condiciones de trabajo de su línea son seguras?	41	Considerado bueno
3.- ¿Las cargas de trabajo están bien repartidas?	40	Considerado bueno
4.- ¿Mantiene su lugar de trabajo limpio y libre de obstáculos?	43	Considerado bueno
5.- ¿Puede realizar su trabajo de forma segura?	44	Considerado bueno

Tabla N°6 anexos: Resultados segundo ítem. Fuente: Elaboración propia.

FORMACIÓN E INFORMACIÓN	TOTAL	
1.- ¿Recibe la formación necesaria para desempeñar correctamente su trabajo?	39	Considerado bueno
2.- Cuando necesita formación específica al margen de la establecida en el plan de formación ¿Ha sido satisfecha?	41	Considerado bueno
3.- Cuando se implantan nuevos mecanismos y es necesaria formación específica ¿La empresa se lo proporciona?	41	Considerado bueno
4.- ¿Los procedimientos establecidos en un principio se ejecutan correctamente?	37	Considerado bueno

Tabla N°7 anexos: Resultados tercer ítem. Fuente: Elaboración propia.

FUNCIONAMIENTO	TOTAL	
1.- ¿Encuentra que el actual recorrido a los centros de engorda es el adecuado?	32	Considerado regular
2.- ¿Le gustaría contar con nuevas alternativas de recorridos a los centros de engorda?	44	Considerado bueno
3.- ¿Cree usted que los tiempos de traslado pueden reducirse considerablemente?	30	Considerado bueno
4.- ¿Encuentra que el procedimiento actual de planificación de traslados es el óptimo?	35	Considerado bueno
5.- ¿Encuentra que debe existir traslado de personal interno, diferenciado del traslado de personal externo?	10	Considerado deficiente
6.- ¿Cree usted que debería existir una cantidad mínima de pasajeros para transportar en todos los centros?	40	Considerado bueno
7.- ¿Cree usted, que la lancha más grande debe abastecer los puntos más lejanos y la más pequeña los más cercanos?	36	Considerado bueno
8.- ¿Está de acuerdo con los actuales horarios de traslado?	35	Considerado regular
9.- ¿Con qué nota evalúa el sistema de traslado actual?	32	Considerado regular

Tabla N°8 anexos: Resultados cuarto ítem. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO C: PROGRAMACIÓN SISTEMA DE APOYO A LAS DECISIONES DE RUTEO.

Elementos visibles, ocultos y formato que seguirá la programación

```
Private Sub Workbook_Open()  
  
    'Oculta Pestañas  
  
    Sheets("BIENVENIDO").Visible = True  
    Sheets("DATOS").Visible = xlSheetVeryHidden  
    Sheets("RESULTADOS").Visible = xlSheetVeryHidden  
    Sheets("BASE DE DATOS").Visible = xlSheetVeryHidden  
    Sheets("EJECUCIÓN").Visible = xlSheetVeryHidden  
  
    Application.DisplayFormulaBar = False 'Oculta barra de fórmulas  
    Application.DisplayFullScreen = True 'Pantalla completa  
  
    Application.DisplayStatusBar = True  
  
    ActiveWindow.DisplayHeadings = False 'Oculta títulos  
  
    ActiveWindow.DisplayGridlines = False 'Oculta líneas cuadrícula  
  
    'Muestra menú principal  
  
    UserForm1.Show  
  
End Sub
```

Programación Menú Principal

```
Private Sub BTN_DATOS_Click()  
  
    If Textcontraseña <> "admin1" Then GoTo wrongpass  
    MsgBox "Seleccione si desea abrir otra pestaña, de lo contrario pulse FINALIZAR"  
    Sheets("DATOS").Visible = True  
    Sheets("DATOS").Select  
    Sheets("BIENVENIDO").Visible = False  
Exit Sub
```

```
wrongpass:
MsgBox "Lo sentimos, contraseña incorrecta, vuelva a
intentarlo"
Textcontraseña = Empty
Textcontraseña.SetFocus
End Sub
```

```
Private Sub BTN_INFORMACIÓN_Click()
```

```
MsgBox "Introduzca clave y seleccione pestañas que desea
visualizar"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub BTN_RESULTADOS_Click()
```

```
If Textcontraseña <> "admin1" Then GoTo wrongpass
MsgBox "Seleccione si desea abrir otra pestaña, de lo
contrario pulse FINALIZAR"
Sheets("RESULTADOS").Visible = True
Sheets("RESULTADOS").Select
Sheets("BIENVENIDO").Visible = False
```

```
Exit Sub
```

```
wrongpass:
MsgBox "Lo sentimos, contraseña incorrecta, vuelva a
intentarlo"
Textcontraseña = Empty
Textcontraseña.SetFocus
End Sub
```

```
Private Sub BTN_FINALIZAR_CLICK()
```

```
UserForm1.Hide
MsgBox "Bienvenido al sistema de ruteo Ventisqueros S.A:"
End Sub
```

Programación Menú Ingreso de Datos

```
Private Sub TextCantCentros_Change()  
  
If TextCantCentros <= 4 Or TextCantCentros > 8 Then  
  
TextCantCentros = Empty  
TextCantCentros.SetFocus  
  
Exit Sub  
End If  
  
End Sub  
  
-----  
  
Private Sub BTN_INGRESAR_Click()  
  
'/////////////////////////////////////  
'CAMPOS OFERTA Y DEMANDA LLENOS  
'/////////////////////////////////////  
  
If IsNumeric(TextDemanda) = False Or TextDemanda = "" Then  
    MsgBox "Ingrese valor numérico por favor, ENTREGAR"  
    TextDemanda = Empty  
    Exit Sub  
  
End If  
  
If IsNumeric(TextOferta) = False Or TextOferta = "" Then  
    MsgBox "Ingrese valor numérico por favor, RECOGER"  
    TextOferta = Empty  
    Exit Sub  
End If  
  
'/////////////////////////////////////  
'BORRAR DATOS ANTERIORES  
'/////////////////////////////////////  
  
Sheets("EJECUCIÓN").Range("B9,E9:F9,H3:H11,O3:P11,C16:D24,H16  
:I24,C28:D36,H28:I36,C40:D48,H40:I48,C52:D60,H52:I60,C64:D72,  
H64:I72") = Empty
```

```

'////////////////////////////////////
'INICIAR USEFORM2
'////////////////////////////////////

ActiveSheet.Cells(10, 2).Select
Selection.EntireRow.Insert

    Range("H10:J10").Select
    Selection.Delete Shift:=xlUp

    ActiveSheet.Cells(4, 3) = Cint(TextCantCentros)
    ActiveSheet.Cells(7, 3) = ComboBoxCO
    ActiveSheet.Cells(10, 2) = TextFecha
    ActiveSheet.Cells(10, 3) = ComboBoxCD
    ActiveSheet.Cells(10, 4) = Cint(TextDemanda.Value)
    ActiveSheet.Cells(10, 5) = Cint(TextOferta.Value)

ComboBoxCD = Empty
TextOferta = Empty
TextDemanda = Empty

ComboBoxCD.SetFocus

End Sub

```

```

Private Sub UserForm_Initialize()
'////////////////////////////////////
'ASIGNAR RANGO A COMBOBOX
'////////////////////////////////////

Me.ComboBoxCD.List           =           Sheets("BASE           DE
DATOS").Range("CENTROS").Value
Me.ComboBoxCO.List           =           Sheets("BASE           DE
DATOS").Range("CENTROS").Value

End Sub

```

```

Private Sub BTN_FINALIZAR_CLICK()

'////////////////////////////////////
'DECLARACIONES VARIABLES
'////////////////////////////////////

```

```

Dim SUMA, AUX, AUX2 As Integer

'/////////////////////////////////////////
'CICLO USEFORM2
'/////////////////////////////////////////

ComboBoxCO = Empty
TextFecha = Empty
TextDemanda = Empty
TextOferta = Empty
ComboBoxCD = Empty

'/////////////////////////////////////////
'CERRAR USEFORM2
'/////////////////////////////////////////

UserForm2.Hide

'/////////////////////////////////////////
'RECOGER VALOR NUMÉRICO
'/////////////////////////////////////////

Sheets("DATOS").Cells(4, 3) = Val(TextCantCentros)

'/////////////////////////////////////////
'CONDICIONAL PARA FIJAR NÚMERO DE CENTROS
'/////////////////////////////////////////

If Sheets("DATOS").Cells(4, 3).Value = 5 Then

'/////////////////////////////////////////
'ORDENAR CENTROS POR DISTANCIA
'/////////////////////////////////////////

    For SUMA = 16 To 19

        Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA,3).Value =
        Sheets("DATOS").Cells(7, 3).Value

    Next SUMA

```

```

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D16:D19") .Value           =
Sheets ("DATOS") .Range ("C10:C13") .Value

'////////////////////
'FILTRAR EN ORDEN ASCENDENTE
'////////////////////

        Set                               H1                               =
ActiveWorkbook.Worksheets ("EJECUCIÓN") .ListObjects ("Tabla46")
        With H1.Sort
            .SortFields.Clear:                               .SortFields.Add
Key:=Range ("Tabla46[ [#All], [DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
            Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal: .Header
= xlYes: .Apply
        End With

                For SUMA = 16 To 18

                        Sheets ("EJECUCIÓN") .Cells (SUMA,      8) .Value           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Cells (16, 4) .Value

                Next SUMA

                        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I16:I18") .Value           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D17:D19") .Value

        Set                               H1                               =
ActiveWorkbook.Worksheets ("EJECUCIÓN") .ListObjects ("Tabla4")
        With H1.Sort
            .SortFields.Clear:                               .SortFields.Add
Key:=Range ("Tabla4[ [#All], [DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
            Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal:
.Header = xlYes: .Apply
        End With

                For SUMA = 28 To 29

                        Sheets ("EJECUCIÓN") .Cells (SUMA,      3) .Value           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Cells (16, 9) .Value

                Next SUMA

```

```

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D28:D29") .Value      =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I17:I18") .Value

        Set H1 =
ActiveWorkbook.Worksheets ("EJECUCIÓN") .ListObjects ("Tabla468"
)
        With H1.Sort
            .SortFields.Clear: .SortFields.Add
Key:=Range ("Tabla468[ [#All], [DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
            Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal:
.Header = xlYes: .Apply
        End With

        SUMA = 28

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Cells (SUMA, 8) .Value
= Sheets ("EJECUCIÓN") .Cells (SUMA, 4) .Value

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I28") .Value      =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D29") .Value

        SUMA = SUMA + 12

Sheets ("EJECUCIÓN") .Cells (SUMA, 3) .Value      =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Cells (28, 9) .Value

Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D40") .Value      =
Sheets ("DATOS") .Cells (7, 3) .Value

End If

If Sheets ("DATOS") .Cells (4, 3) .Value = 6 Then

    For SUMA = 16 To 20

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Cells (SUMA, 3) .Value      =
Sheets ("DATOS") .Cells (7, 3) .Value

```

```

Next SUMA

    Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("D16:D20").Value =
    Sheets ("DATOS").Range ("C10:C14").Value

        Set H1 =
ActiveWorkbook.Worksheets ("EJECUCIÓN").ListObjects ("Tabla46")
        With H1.Sort
            .SortFields.Clear: .SortFields.Add
Key:=Range ("Tabla46[[#All],[DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
            Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal: .Header
= xlYes: .Apply
        End With

            For SUMA = 16 To 19

                Sheets ("EJECUCIÓN").Cells (SUMA, 8).Value =
                Sheets ("EJECUCIÓN").Cells (16, 4).Value

                    Next SUMA

                        Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("I16:I19").Value =
                        Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("D17:D20").Value

                            Set H1 =
ActiveWorkbook.Worksheets ("EJECUCIÓN").ListObjects ("Tabla4")
                            With H1.Sort
                                .SortFields.Clear: .SortFields.Add
Key:=Range ("Tabla4[[#All],[DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
                                Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal:
                                .Header = xlYes: .Apply
                            End With

                                For SUMA = 28 To 30

                                    Sheets ("EJECUCIÓN").Cells (SUMA, 3).Value =
                                    Sheets ("EJECUCIÓN").Cells (16, 9).Value

                                        Next SUMA

                                            Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("D28:D30").Value =
                                            Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("I17:I19").Value

```

```

        Set H1 = ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla468")
        With H1.Sort
            .SortFields.Clear: .SortFields.Add
Key:=Range("Tabla468[[#All],[DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
            Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal:
.Header = xlYes: .Apply
        End With

        For SUMA = 28 To 29

            Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 8).Value
= Sheets("EJECUCIÓN").Cells(28, 4).Value

        Next SUMA

Sheets("EJECUCIÓN").Range("I28:I29").Value =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("D29:D30").Value

        Set H1 = ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla49")
        With H1.Sort
            .SortFields.Clear: .SortFields.Add
Key:=Range("Tabla49[[#All],[DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
            Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal:
.Header = xlYes: .Apply
        End With

        SUMA = 40

        Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA,
3).Value = Sheets("EJECUCIÓN").Cells(28, 9).Value

Sheets("EJECUCIÓN").Range("D40").Value =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("I29").Value

```

```
Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 8).Value =  
Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 4).Value
```

```
Sheets("EJECUCIÓN").Range("I40").Value =  
Sheets("DATOS").Cells(7, 3).Value
```

```
End If
```

```
    If Sheets("DATOS").Cells(4, 3).Value = 7 Then
```

```
        For SUMA = 16 To 21
```

```
            Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 3).Value =  
Sheets("DATOS").Cells(7, 3).Value
```

```
        Next SUMA
```

```
        Sheets("EJECUCIÓN").Range("D16:D21").Value =  
Sheets("DATOS").Range("C10:C15").Value
```

```
        Set H1 = ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla46")  
        With H1.Sort  
            .SortFields.Clear: .SortFields.Add  
Key:=Range("Tabla46[[#All],[DISTANCIAS]]"),  
SortOn:=xlSortOnValues, _  
        Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal: .Header  
= xlYes: .Apply  
        End With
```

```
        For SUMA = 16 To 20
```

```
            Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 8).Value =  
Sheets("EJECUCIÓN").Cells(16, 4).Value
```

```
        Next SUMA
```

```
        Sheets("EJECUCIÓN").Range("I16:I20").Value =  
Sheets("EJECUCIÓN").Range("D17:D21").Value
```

```

        Set H1 = ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla4")
        With H1.Sort
            .SortFields.Clear: .SortFields.Add
            Key:=Range("Tabla4[ [#All], [DISTANCIAS]]"),
            SortOn:=xlSortOnValues, _
            Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal:
            .Header = xlYes: .Apply
        End With

        For SUMA = 28 To 31

            Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 3).Value =
            Sheets("EJECUCIÓN").Cells(16, 9).Value

        Next SUMA

        Sheets("EJECUCIÓN").Range("D28:D31").Value =
        Sheets("EJECUCIÓN").Range("I17:I20").Value

        Set H1 = ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla468")
        With H1.Sort
            .SortFields.Clear: .SortFields.Add
            Key:=Range("Tabla468[ [#All], [DISTANCIAS]]"),
            SortOn:=xlSortOnValues, _
            Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal:
            .Header = xlYes: .Apply
        End With

        For SUMA = 28 To 30

            Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 8).Value
            = Sheets("EJECUCIÓN").Cells(28, 4).Value

        Next SUMA

        Sheets("EJECUCIÓN").Range("I28:I30").Value =
        Sheets("EJECUCIÓN").Range("D29:D31").Value

        Set H1 = ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla49")

```

```

        With H1.Sort
            .SortFields.Clear:                                .SortFields.Add
Key:=Range("Tabla49[[#All],[DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
            Order:=xlAscending,          DataOption:=xlSortNormal:
.Header = xlYes: .Apply
        End With

```

```

        For SUMA = 40 To 41

```

```

            Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA,
3).Value = Sheets("EJECUCIÓN").Cells(28, 9).Value

```

```

        Next SUMA

```

```

Sheets("EJECUCIÓN").Range("D40:D41").Value =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("I29:I30").Value

```

```

        Set H1 = ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla4610")

```

```

        With H1.Sort
            .SortFields.Clear:                                .SortFields.Add
Key:=Range("Tabla4610[[#All],[DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
            Order:=xlAscending,          DataOption:=xlSortNormal:
.Header = xlYes: .Apply
        End With

```

```

        SUMA = 40

```

```

            Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA,
8).Value = Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 4).Value

```

```

Sheets("EJECUCIÓN").Range("I40").Value =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("D41").Value

```

```

        SUMA = SUMA + 12

```

```

Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 3).Value =
Sheets("EJECUCIÓN").Cells(40, 9).Value

```

```

Sheets("EJECUCIÓN").Range("D52").Value =
Sheets("DATOS").Cells(7, 3).Value

End If

If Sheets("DATOS").Cells(4, 3).Value = 8 Then

For SUMA = 16 To 22

    Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 3).Value =
    Sheets("DATOS").Cells(7, 3).Value

Next SUMA

    Sheets("EJECUCIÓN").Range("D16:D22").Value =
    Sheets("DATOS").Range("C10:C16").Value

Set H1 =
ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla46")
With H1.Sort
    .SortFields.Clear: .SortFields.Add
Key:=Range("Tabla46[ [#All], [DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal: .Header
= xlYes: .Apply
End With

For SUMA = 16 To 21

    Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 8).Value =
    Sheets("EJECUCIÓN").Cells(16, 4).Value

Next SUMA

    Sheets("EJECUCIÓN").Range("I16:I21").Value =
    Sheets("EJECUCIÓN").Range("D17:D22").Value

Set H1 =
ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla4")
With H1.Sort

```

```

        .SortFields.Clear:                                .SortFields.Add
Key:=Range("Tabla4[[#All],[DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
        Order:=xlAscending,                            DataOption:=xlSortNormal:
.Header = xlYes: .Apply
        End With

        For SUMA = 28 To 32

                Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 3).Value =
Sheets("EJECUCIÓN").Cells(16, 9).Value

        Next SUMA

        Sheets("EJECUCIÓN").Range("D28:D32").Value =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("I17:I21").Value

        Set H1 = ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla468")
        With H1.Sort
                .SortFields.Clear:                                .SortFields.Add
Key:=Range("Tabla468[[#All],[DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
                Order:=xlAscending,                            DataOption:=xlSortNormal:
.Header = xlYes: .Apply
        End With

        For SUMA = 28 To 31

                Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 8).Value
= Sheets("EJECUCIÓN").Cells(28, 4).Value

        Next SUMA

        Sheets("EJECUCIÓN").Range("I28:I31").Value =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("D29:D32").Value

        Set H1 = ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla49")
        With H1.Sort
                .SortFields.Clear:                                .SortFields.Add
Key:=Range("Tabla49[[#All],[DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _

```

```

        Order:=xlAscending,          DataOption:=xlSortNormal:
.Header = xlYes: .Apply
    End With

        For SUMA = 40 To 42

            Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA,
3).Value = Sheets("EJECUCIÓN").Cells(28, 9).Value

        Next SUMA

Sheets("EJECUCIÓN").Range("D40:D42").Value =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("I29:I31").Value

    Set H1 =
ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla4610
")
    With H1.Sort
        .SortFields.Clear: .SortFields.Add
Key:=Range("Tabla4610[ [#All], [DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _
        Order:=xlAscending,          DataOption:=xlSortNormal:
.Header = xlYes: .Apply
    End With

        For SUMA = 40 To 41

            Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA,8).Value =
            Sheets("EJECUCIÓN").Cells(40, 4).Value

        Next SUMA

Sheets("EJECUCIÓN").Range("I40:I41").Value =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("D41:D42").Value

    Set H1 =
ActiveWorkbook.Worksheets("EJECUCIÓN").ListObjects("Tabla411"
)
    With H1.Sort
        .SortFields.Clear: .SortFields.Add
Key:=Range("Tabla411[ [#All], [DISTANCIAS]]"),
SortOn:=xlSortOnValues, _

```

```

                Order:=xlAscending,           DataOption:=xlSortNormal:
.Header = xlYes: .Apply
                End With

```

```
SUMA = 52
```

```

Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA,3).Value           =
Sheets("EJECUCIÓN").Cells(40, 9).Value

```

```

Sheets("EJECUCIÓN").Range("D52").Value           =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("I41").Value

```

```

Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA,8).Value           =
Sheets("EJECUCIÓN").Cells(SUMA, 4).Value

```

```

Sheets("EJECUCIÓN").Range("I52").Value           =
Sheets("DATOS").Cells(7, 3).Value

```

```
End If
```

```

'////////////////////////////////////
'OBTENER TIEMPOS EN ORDEN DE RUTA C/R A CENTRO PRINCIPAL
'////////////////////////////////////

```

```
For AUX = 64 To 70
```

```

    Sheets("EJECUCIÓN").Range("C"           &           AUX)           =
    Sheets("DATOS").Range("C7")

```

```
Next AUX
```

```
AUX2 = 16
```

```
For AUX = 64 To 70 Step 2
```

```

    Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("D" & AUX) =
    Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("H" & AUX2)

    AUX2 = AUX2 + 12

Next AUX

AUX2 = 28

For AUX = 65 To 69 Step 2

    Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("D" & AUX) =
    Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("C" & AUX2)

    AUX2 = AUX2 + 12

Next AUX

TextCantCentros = Empty

End Sub

```

Programación Menú Resultados

```

Private Sub EJECUTAR_Click()

'////////////////////////////////////
'SOLICITAR SÓLO VALORES NUMÉRICOS
'////////////////////////////////////

If IsNumeric(TextTiempo) = False Then
    MsgBox "Ingrese valor numérico por favor, TIEMPO"
    TextTiempo = Empty
Exit Sub
End If

If IsNumeric(TextValorCombustible) = False Then
    MsgBox "Ingrese valor numérico por favor, COMBUSTIBLE"
    TextValorCombustible = Empty
Exit Sub
End If

```

```

If IsNumeric(TextOfertaOrigen) = False Then
    MsgBox "Ingrese valor numérico por favor"
    TextOfertaOrigen = Empty
Exit Sub
End If

UserForm3.Hide

'////////////////////////////////////
'DECLARAR VARIABLES
'////////////////////////////////////

Dim SUMA, CONT, AUX1, AUX2, AUX3 As Integer
Dim CELDA, CELDA1 As Variant, MATRIZ, MATRIZ1 As Range,
BUSCARV, BUSCARVV, BUSCARVVV As Variant

'//////////
'DATOS FIJOS
'//////////

Sheets("RESULTADOS").Range("D8") = "CAPITÁN PRAT"
Sheets("RESULTADOS").Range("H8") = "J.J. LA TORRE"

Sheets("RESULTADOS").Range("D22") = Sheets("BASE DE
DATOS").Range("M11")
Sheets("RESULTADOS").Range("H22") = Sheets("BASE DE
DATOS").Range("N11")
Sheets("RESULTADOS").Range("D7") =
Sheets("DATOS").Range("B10")
Sheets("RESULTADOS").Range("H7") =
Sheets("RESULTADOS").Range("D7")

'////////////////////////////////////
'CONDICIONALES TIEMPO
'////////////////////////////////////

If ComboBoxClima.Text = "NO ÓPTIMO" Then

Sheets("EJECUCIÓN").Range("B9").Value = (TextTiempo + 5) / 2

GoTo ÓPTIMO

```

```
End If
```

```
If ComboBoxClima.Text = "ÓPTIMO" Then
```

```
Sheets("EJECUCIÓN").Range("B9").Value = TextTiempo + 5
```

```
ÓPTIMO:
```

```
'////////////////////  
'DETALLE CLIMA  
'////////////////////
```

```
Sheets("RESULTADOS").Range("D11").Value = ComboBoxClima  
Sheets("RESULTADOS").Range("H11").Value = ComboBoxClima
```

```
'////////////////////////////////////  
'RESTRICCIONES FACTIBILIDAD COMBINADA  
'////////////////////////////////////
```

```
If TextOfertaOrigen.Value >= 9 Then
```

```
'////////////////////////////////////  
'RESTRICCIÓN CAPACIDAD COMBINADA  
'////////////////////////////////////
```

```
    If TextOfertaOrigen.Value > 18 Then  
        MsgBox "CAPACIDAD MÁXIMA EXCEDIDA"  
        GoTo FIN2  
    End If
```

```
'////////////////////////////////////  
'OBTENER RUTA POR TSP  
'////////////////////////////////////
```

```
AUX2 = 16
```

```
For AUX = 3 To 9 Step 2
```

```
Sheets("EJECUCIÓN").Range("H" & AUX) =  
Sheets("EJECUCIÓN").Range("B" & AUX2)
```

```
AUX2 = AUX2 + 12
```

```
Next AUX
```

```
AUX2 = 16
```

```
For AUX = 4 To 10 Step 2
```

```
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("H" & AUX) =  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("G" & AUX2)
```

```
AUX2 = AUX2 + 12
```

```
Next AUX
```

```
'/////////////////  
'PRIMERA RUTA  
'/////////////////
```

```
    If Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("U3") >=  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("V3")  
    And Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I3") +  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E64") <=  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B9") And  
    Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W3") <= 8 Then Then
```

```
        Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C13") =  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C16")  
        Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C14") =  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D16")
```

```
        Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G13") =  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C16")
```

```
        Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9") =  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B4") -  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W3")
```

```
        Sheets ("RESULTADOS") .Range ("H9") =  
TextOfertaOrigen.Value -  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B4")
```

```
        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") =  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I3") + 1
```

```

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("F9") = 0

        GoTo SEGPRAT

    Else

        '/////////////////////////
        'DISTRIBUIR PASAJEROS
        '/////////////////////////7////

        If Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("U3") <
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("V3")
        And Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I3") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E64") <=
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B9") Then

            For AUX1 = -4 To -1

                If Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W3") .Value =
AUX1 Then

                    If TextOfertaOrigen.Value + AUX1 >
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C4") .Value Then GoTo TORRE1

                    If TextOfertaOrigen.Value + AUX1 >
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C4") .Value And
TextOfertaOrigen.Value = 18 Then

                        MsgBox "CAPACIDAD EXCEDIDA"

                    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G13:H21") = Empty

                    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C13:D21") = Empty

                GoTo FIN2
            End If

```

```

                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C13")           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C16")
                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C14")           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D16")

                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G13")           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C16")

                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9")            =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B4")                            -
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W3")

                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("H9")            =
TextOfertaOrigen.Value - (Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B4") +
AUX1)

Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9")                            =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I3") + 1

Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("F9") = 0

                GoTo SEGPRAT

                End If

                Next AUX1

                End If

TORRE1:

                If      Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("J3")      +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("F64")                            <=
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B9") Then

                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G13")           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C16")
                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G14")           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D16")

                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C13")           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C16")

```

```

        If TextOfertaOrigen.Value + AUX1 > _
        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C4") .Value Then

Sheets ("RESULTADOS") .Range ("H9")           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C4")           -
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W3")

Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9") = TextOfertaOrigen.Value -
(Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C4") + AUX1)

Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") = 0

                                GoTo SEGPRAT

        End If

                                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("H9")           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C4")           -
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W3")

                                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9")           =
TextOfertaOrigen.Value                       -
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C4")

Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") = 0

        End If

    End If

'////////////////////
'SEGUNDA RUTA
'////////////////////

SEGPRAT:

    If                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9")           +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I4")           +

```

```

Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E65") <=
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B9") And _
    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9") >=
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("U4") And
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9") -
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W4") <= 8 Then

    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C15") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I16")

    If IsEmpty (Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C14")) Then

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("O3") =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C13")

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("P3") =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C15")

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("Q3") + 1

    Else

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I4") + 1

    End If

    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9") =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9") -
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W4")

    Else

        Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G15") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I16")

    End If

```

```

'////////////////////
'TERCERA RUTA
'////////////////////

If Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I5") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E66") <=
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B9") And _
    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9") >=
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("U5") And
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9") -
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W5") <= 8 Then

    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C16") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D28")

    If Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C15") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I16") Then

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I5") + 1

    Else

        For AUX = 14 To 13 Step -1

            If Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C" & AUX)
<> "" Then

                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("O4") =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C" & AUX)

                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("P4") =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C16")

                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("Q4") + 1

                GoTo P3

```

```

                                End If

                                Next AUX

                                End If

P3:

                                Sheets ("RESULTADOS" ).Range ("D9")                =
Sheets ("RESULTADOS" ).Range ("D9")                -
Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("W5")

                                Else

                                Sheets ("RESULTADOS" ).Range ("G16")            =
Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("D28")

                                End If

                                '//////////
                                'CUARTA RUTA
                                '//////////

                                If                Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("E9")                +
Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("I6")                +
Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("E67")                <=
Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("B9") And _
    Sheets ("RESULTADOS" ).Range ("D9")                >=
Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("U6")                And
Sheets ("RESULTADOS" ).Range ("D9")                -
Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("W6") <= 8 Then

                                Sheets ("RESULTADOS" ).Range ("C17")            =
Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("I28")

                                If                Sheets ("RESULTADOS" ).Range ("C16")            =
Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("D28") Then

                                Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("E9")                =
Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("E9")                +
Sheets ("EJECUCIÓN" ).Range ("I6") + 1

```

```

Else
    For AUX = 15 To 13 Step -1
        If Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX)
<> "" Then
            Sheets("EJECUCIÓN").Range("O5") =
Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX)

            Sheets("EJECUCIÓN").Range("P5") =
Sheets("RESULTADOS").Range("C17")

            Sheets("EJECUCIÓN").Range("E9") =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("E9") +
Sheets("EJECUCIÓN").Range("Q5") + 1

            GoTo P4

        End If

    Next AUX

End If

P4:

    Sheets("RESULTADOS").Range("D9") =
Sheets("RESULTADOS").Range("D9") -
Sheets("EJECUCIÓN").Range("W6")

    Else

        Sheets("RESULTADOS").Range("G17") =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("I28")

    End If

'//////////
'QUINTA RUTA
'//////////

If Sheets("DATOS").Range("C4") = 5 Then
GoTo FIN

```

```

End If

If Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I7") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E68") <=
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B9") And _
    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9") >=
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("U7") And
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9") -
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W7") <= 8 Then

    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C18") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D40")

    If Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C17") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I28") Then

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I7") + 1

    Else

        For AUX = 16 To 13 Step -1

            If Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C" & AUX)
<> "" Then

                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("O6") =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C" & AUX)

                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("P6") =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C18")

                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("Q6") + 1

                GoTo P5

            End If

        Next AUX

```

End If

P5:

```
                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9")           =  
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9")                         -  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W7")
```

Else

```
                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G18")         =  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D40")
```

End If

```
'//////////  
'SEXTA RUTA  
'//////////
```

```
If Sheets ("DATOS") .Range ("C4") = 6 Then  
GoTo FIN  
End If
```

```
If                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9")       +  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I8")                         +  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E69")                        <=  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B9") And _                  -  
    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9")                    >=  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("U8")                         And  
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9")                        -  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W8") <= 8 Then
```

```
                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C19")       =  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I40")
```

```
                If                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C18") =  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D40") Then
```

```
                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9")         =  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9")                         +  
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I8") + 1
```

```

Else
    For AUX = 17 To 13 Step -1
        If Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX)
<> "" Then
            Sheets("EJECUCIÓN").Range("O7") =
Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX)

            Sheets("EJECUCIÓN").Range("P7") =
Sheets("RESULTADOS").Range("C19")

            Sheets("EJECUCIÓN").Range("E9") =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("E9") +
Sheets("EJECUCIÓN").Range("Q7") + 1

            GoTo P6

        End If

    Next AUX

End If

P6:

    Sheets("RESULTADOS").Range("D9") =
Sheets("RESULTADOS").Range("D9") -
Sheets("EJECUCIÓN").Range("W8")

    Else

        Sheets("RESULTADOS").Range("G19") =
Sheets("EJECUCIÓN").Range("I40")

    End If

'//////////
'SÉPTIMA RUTA
'//////////

If Sheets("DATOS").Range("C4") = 7 Then
GoTo FIN

```

```

End If

If Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E70") <=
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B9") And _
  Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9") >=
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("U9") And
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9") -
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W9") <= 8 Then

    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C20") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D52")

    If Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C19") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I40") Then

        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I9") + 1

    Else

        For AUX = 18 To 13 Step -1

            If Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C" & AUX)
<> "" Then

                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("O8") =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C" & AUX)

                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("P8") =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C20")

                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("Q8") + 1

                GoTo P7

            End If

        Next AUX

    End If

```

P7:

```

                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9")           =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D9")                         -
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("W9")

    Else

                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G20")         =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D52")

    End If

'//////////
'OCTAVA RUTA
'//////////

    If                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9")     +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I10")                         <=
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("B9") Then

                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C21")         =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I52")

                If                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C20") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("D52") Then

                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9")           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9")                         +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I10") + 1

                Else

                For AUX = 19 To 13 Step -1

                If Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C" & AUX)
<> "" Then

                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("O9")           =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C" & AUX)

                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("P9")           =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C21")
```

```
                Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9")           =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9")                         +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("Q9") + 1
```

```
                GoTo P8
```

```
            End If
```

```
        Next AUX
```

```
    End If
```

```
P8:
```

```
    Else
```

```
                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G21")         =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I52")
```

```
    End If
```

```
FIN:
```

```
'////////////////////////////////////
'SUMAR TIEMPO DE REGRESO A CENTRO PRINCIAL CAPITÁN PRAT
'////////////////////////////////////
```

```
    If Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C21") = "" Then
```

```
                Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C21")         =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C16")
```

```
                For AUX = 20 To 13 Step -1
```

```
                    If Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C" & AUX) <>
"" Then
```

```
                        Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("O10")   =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C" & AUX)
```

```
                GoTo P9:
```

End If

Next AUX

P9:

Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("P10") =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C13")

Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9") +
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("Q10") + 1

End If

'////////////////////////////////////
'TIEMPO TOTAL CAPITÁN PRAT
'////////////////////////////////////

Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D10") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("E9")

'////////////////////////////////////
'OBTENER TIEMPOS J.J. LA TORRE
'////////////////////////////////////

If Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G21") = "" Then

Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G21") =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("C16")

End If

Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("O3:P11") = Empty

AUX2 = 13

AUX3 = 3

```

For AUX = AUX2 To 21

    If Sheets ("RESULTADOS").Range ("G" & AUX) <>
"" Then
        Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("O" & AUX3) =
Sheets ("RESULTADOS").Range ("G" & AUX)

        GoTo T1:

    End If

Next AUX

```

T1:

```

For AUX = AUX2 + 1 To 21

    If Sheets ("RESULTADOS").Range ("G" & AUX) <> "" Then

        Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("P" & AUX3) =
Sheets ("RESULTADOS").Range ("G" & AUX)
        Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("O" & AUX3 + 1) =
Sheets ("RESULTADOS").Range ("G" & AUX)

        Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("F9") =
Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("F9")
        Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("R" & AUX3) + 1

        AUX3 = AUX3 + 1

    End If

Next AUX

```

```

'////////////////////////////////////
'OBTENER CAPACIDAD J.J. LA TORRE
'////////////////////////////////////

```

```

For AUX = 14 To 20

```

```

If Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX) <> "" And _
Sheets("RESULTADOS").Range("H9") > 0 Then

CELDA = Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX)
Set MATRIZ = Sheets("EJECUCIÓN").Range("T3:W9")

BUSCARV = Application.VLookup(CELDA, MATRIZ, 4, False)

Sheets("RESULTADOS").Range("H9") =
Sheets("RESULTADOS").Range("H9") - BUSCARV

    If Sheets("RESULTADOS").Range("H9") > 12 Then
        MsgBox "CAPACIDAD J.J. LA TORRE EXCEDIDA"
    End If

End If

Next AUX

'////////////////////////////////////
'CIERRA BUCLE TEXTOFERTA >= 9
'////////////////////////////////////

End If

If TextOfertaOrigen.Value < 9 Then

MsgBox "INGRESE A LO MENOS 9 PASAJEROS"
TextOfertaOrigen = Empty
TextOfertaOrigen.SetFocus

End If

'////////////////////////////////////
'CIERRA BUCLE "ÓPTIMO"
'////////////////////////////////////

    End If

'////////////////////////////////////
'TIEMPO TOTAL J.J. LA TORRE
'////////////////////////////////////

```

```

If Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("F9") = "1" Then
Sheets ("RESULTADOS").Range ("H10") = 0
Sheets ("RESULTADOS").Range ("G13:H22") = Empty

Else

    Sheets ("RESULTADOS").Range ("H10") =
Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("F9")
    If Sheets ("RESULTADOS").Range ("H10") >
Sheets ("EJECUCIÓN").Range ("B9") Then
        MsgBox "TIEMPO LÍMITE EXCEDIDO J.J. LA TORRE"
    End If

End If

'////////////////////////////////////
'CONSIDERACIONES TIEMPO "NO ÓPTIMO"
'////////////////////////////////////

If ComboBoxClima.Text = "NO ÓPTIMO" Then

Sheets ("RESULTADOS").Range ("D10") =
Sheets ("RESULTADOS").Range ("D10") * 2
Sheets ("RESULTADOS").Range ("H10") =
Sheets ("RESULTADOS").Range ("H10") * 2

End If

'////////////////////////////////////
'CÁLCULO COSTO VARIABLE
'////////////////////////////////////

Sheets ("RESULTADOS").Range ("D23") = (Sheets ("BASE DE
DATOS").Range ("L22") * 2) * (1 / 60) *
Sheets ("RESULTADOS").Range ("D10") * TextValorCombustible
Sheets ("RESULTADOS").Range ("H23") = (Sheets ("BASE DE
DATOS").Range ("M22") * 2) * (1 / 60) *
Sheets ("RESULTADOS").Range ("H10") * TextValorCombustible

'////////////////////////////////////
'CÁLCULO VALOR TOTAL
'////////////////////////////////////

```

```

Sheets ("RESULTADOS") .Range ("E3:F3")           =
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D22")            +
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D23")            +
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("H22")            +
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("H23")

'//////////
'MOSTRAR DETALLE
'//////////

If ComboBoxClima.Text = "ÓPTIMO" Then

AUX2 = 3

For AUX = 13 To 19

If Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C" & AUX) <> "" And
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("C" & AUX + 1) <> "" Then

    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("D" & AUX) .Value =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("U" & AUX2) & " // " _
    & Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("V" & AUX2) & " // " &
CInt (Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("I" & AUX2))

End If

    AUX2 = AUX2 + 1

Next AUX

AUX2 = 3

For AUX = 13 To 19

If Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G" & AUX) <> "" And
Sheets ("RESULTADOS") .Range ("G" & AUX + 1) <> "" Then

    Sheets ("RESULTADOS") .Range ("H" & AUX) .Value =
Sheets ("EJECUCIÓN") .Range ("U" & AUX2) & " // " _

```

```
        & Sheets("EJECUCIÓN").Range("V" & AUX2) & " // " &  
CInt(Sheets("EJECUCIÓN").Range("J" & AUX2))
```

```
End If
```

```
AUX2 = AUX2 + 1
```

```
Next AUX
```

```
For AUX = 20 To 14 Step -1
```

```
    If Sheets("RESULTADOS").Range("D" & AUX) = "" And  
    Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX) <> "" Then
```

```
        Sheets("RESULTADOS").Range("D" & AUX) = "CAP. DISP " &  
(Sheets("EJECUCIÓN").Range("B4")) -  
        Sheets("RESULTADOS").Range("D9")) & " // "  
        & CInt(Sheets("EJECUCIÓN").Range("E" & AUX + 50))
```

```
        GoTo FIN3
```

```
    End If
```

```
Next AUX
```

```
FIN3:
```

```
For AUX = 20 To 14 Step -1
```

```
    If Sheets("RESULTADOS").Range("H" & AUX) = "" And  
    Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX) <> "" Then
```

```
        Sheets("RESULTADOS").Range("H" & AUX) = "CAP. DISP " &  
(Sheets("EJECUCIÓN").Range("C4")) -  
        Sheets("RESULTADOS").Range("H9")) & " // "  
        & CInt(Sheets("EJECUCIÓN").Range("F" & AUX + 50))
```

```
        GoTo FIN4
```

```
    End If
```

```

Next AUX

FIN4:

Else

    AUX2 = 3

    For AUX = 13 To 19

        If Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX) <> "" And
        Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX + 1) <> "" Then

            Sheets("RESULTADOS").Range("D" & AUX).Value =
            Sheets("EJECUCIÓN").Range("U" & AUX2) & " // "
            & Sheets("EJECUCIÓN").Range("V" & AUX2) & " // "
            & CInt(Sheets("EJECUCIÓN").Range("I" & AUX2) * 2)

            End If

            AUX2 = AUX2 + 1

        Next AUX

    AUX2 = 3

    For AUX = 13 To 19

        If Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX) <> "" And
        Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX + 1) <> "" Then

            Sheets("RESULTADOS").Range("H" & AUX).Value =
            Sheets("EJECUCIÓN").Range("U" & AUX2) & " // "
            & Sheets("EJECUCIÓN").Range("V" & AUX2) & " // " &
            CInt(Sheets("EJECUCIÓN").Range("J" & AUX2) * 2)

            End If

            AUX2 = AUX2 + 1

        Next AUX

```

```

For AUX = 20 To 14 Step -1

    If Sheets("RESULTADOS").Range("D" & AUX) = "" And
Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX) <> "" Then

        Sheets("RESULTADOS").Range("D" & AUX) = "CAP. DISP
"
        & (Sheets("EJECUCIÓN").Range("B4") -
Sheets("RESULTADOS").Range("D9")) & " // "
        & CInt(Sheets("EJECUCIÓN").Range("E" & AUX + 50) *
2)

        GoTo FIN5

    End If

Next AUX

```

FIN5:

```

For AUX = 20 To 14 Step -1

    If Sheets("RESULTADOS").Range("H" & AUX) = "" And
Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX) <> "" Then

        Sheets("RESULTADOS").Range("H" & AUX) = "CAP. DISP " &
(Sheets("EJECUCIÓN").Range("C4") -
Sheets("RESULTADOS").Range("H9")) & " // "
        & CInt(Sheets("EJECUCIÓN").Range("F" & AUX + 50) * 2)

        GoTo FIN6

    End If

Next AUX

```

FIN6:

```

End If

```

```

Sheets("RESULTADOS").Range("D21") = "VOLVER AL ORIGEN"
Sheets("RESULTADOS").Range("H21") = "VOLVER AL ORIGEN"

If ComboBoxClima.Text = "ÓPTIMO" Then

    For AUX = 13 To 19

        If Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX) <> "" And
           Sheets("RESULTADOS").Range("D" & AUX) = "" Then

            For AUX2 = (AUX + 1) To 20
                If Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX2) <> "" Then
                    GoTo DETALLE
                End If
            Next AUX2

        DETALLE:

        CELDA = Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX2)
        Set MATRIZ = Sheets("EJECUCIÓN").Range("T3:V10")

        Sheets("EJECUCIÓN").Range("O11") =
        Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX)
        Sheets("EJECUCIÓN").Range("P11") =
        Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX2)

        CELDA1 = Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX2)
        Set MATRIZ1 = Sheets("EJECUCIÓN").Range("P3:Q11")

        BUSCARV = Application.VLookup(CELDA, MATRIZ, 2, False)
        BUSCARVV = Application.VLookup(CELDA, MATRIZ, 3, False)
        BUSCARVVV = Application.VLookup(CELDA1, MATRIZ1, 2, False)

        Sheets("RESULTADOS").Range("D" & AUX) = BUSCARV & " // " &
        BUSCARVV & " // " & CInt(BUSCARVVV)

    End If

Next AUX

For AUX = 13 To 19

```

```

If Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX) <> "" And
Sheets("RESULTADOS").Range("H" & AUX) = "" Then

For AUX2 = (AUX + 1) To 20
If Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX2) <> "" Then
GoTo DETALLE1
End If
Next AUX2

DETALLE1:

CELDA = Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX2)
Set MATRIZ = Sheets("EJECUCIÓN").Range("T3:V10")

CELDA1 = Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX2)
Set MATRIZ1 = Sheets("EJECUCIÓN").Range("P3:R10")

BUSCARV = Application.VLookup(CELDA, MATRIZ, 2, False)
BUSCARVV = Application.VLookup(CELDA, MATRIZ, 3, False)
BUSCARVVV = Application.VLookup(CELDA1, MATRIZ1, 3, False)

Sheets("RESULTADOS").Range("H" & AUX) = BUSCARV & " // " &
BUSCARVV & " // " & CInt(BUSCARVVV)

End If

Next AUX

Else

For AUX = 13 To 19

If Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX) <> "" And
Sheets("RESULTADOS").Range("D" & AUX) = "" Then

For AUX2 = (AUX + 1) To 20
If Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX2) <> "" Then
GoTo DETALLE11
End If
Next AUX2

DETALLE11:

CELDA = Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX2)

```

```

        Set MATRIZ = Sheets("EJECUCIÓN").Range("T3:V10")

        Sheets("EJECUCIÓN").Range("O11") =
Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX)
        Sheets("EJECUCIÓN").Range("P11") =
Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX2)

        CELDA1 = Sheets("RESULTADOS").Range("C" & AUX2)
        Set MATRIZ1 = Sheets("EJECUCIÓN").Range("P3:Q11")

        BUSCARV = Application.VLookup(CELDA, MATRIZ, 2,
False)
        BUSCARVV = Application.VLookup(CELDA, MATRIZ, 3,
False)
        BUSCARVVV = Application.VLookup(CELDA1, MATRIZ1, 2,
False)

        Sheets("RESULTADOS").Range("D" & AUX) = BUSCARV & "
// " & BUSCARVV & " // " & CInt(BUSCARVVV) * 2

        End If

        Next AUX

        For AUX = 13 To 19

            If Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX) <> "" And
Sheets("RESULTADOS").Range("H" & AUX) = "" Then

                For AUX2 = (AUX + 1) To 20
                If Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX2) <> "" Then
                GoTo DETALLE22
                End If
                Next AUX2

```

DETALLE22:

```

        CELDA = Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX2)
        Set MATRIZ = Sheets("EJECUCIÓN").Range("T3:V10")

        CELDA1 = Sheets("RESULTADOS").Range("G" & AUX2)
        Set MATRIZ1 = Sheets("EJECUCIÓN").Range("P3:R10")

```

```

        BUSCARV = Application.VLookup(CELDA, MATRIZ, 2,
False)
        BUSCARVV = Application.VLookup(CELDA, MATRIZ, 3,
False)
        BUSCARVVV = Application.VLookup(CELDA1, MATRIZ1, 3,
False)

        Sheets("RESULTADOS").Range("H" & AUX) = BUSCARV & "
// " & BUSCARVV & " // " & CInt(BUSCARVVV) * 2

        End If

        Next AUX

    End If

```

FIN2:

```

        If Sheets("RESULTADOS").Range("D9") < 0 Then
        Sheets("RESULTADOS").Range("D9") = 0
        MsgBox "CAPACIDAD MÁXIMA EXCEDIDA, CAPITÁN PRAT"
        End If

        If Sheets("RESULTADOS").Range("H9") < 0 Then
        Sheets("RESULTADOS").Range("H9") = 0
        MsgBox "CAPACIDAD MÁXIMA EXCEDIDA, J.J. LA TORRE"
        End If

TextTiempo = Empty
ComboBoxClima = Empty
TextOfertaOrigen = Empty
TextValorCombustible = Empty

```

End Sub

```

Private Sub UserForm_Initialize()

```

```

Me.ComboBoxClima.List = Sheets("BASE DE
DATOS").Range("CLIMA").Value

```

End Sub

ANEXO D: MATRICES DISTANCIA Y TIEMPOS.

La matriz de distancias fue proporcionada por Ventisuqeros S.A., mientras que las matrices de tiempos fueron estimadas en base a datos recogidos en terreno.

DISTANCIAS (Nm)	VQ	PHN	Pelada	PHS	Cholgo	Llancahue	Pichanco	Quintupeu Smolts	Astilleros	Calamaco	Telele	Cascada	Antepulli	Tambor	Makomac.	Linguar	Ica	Reñihue	Pto. Arg.	C. Martín	Pta. Igle.	Marimelli	Pto Montt
VQ	0	1	3	4	8	9	11	20	14	17	20	20	22	29	11	10	32	46	53	47	55	53	67
PHN	1	0	2	3	8	9	10	20	13	17	21	23	26	34	9	8	31	41	48	47	54	53	68
Pelada	3	2	0	2	6	7	8	19	12	15	18	17	19	26	8	7	30	40	47	44	52	51	70
PHS	4	3	2	0	5	5	7	17	10	14	16	16	18	25	7	6	30	40	47	43	51	49	71
Cholgo	8	8	6	5	0	1	2	12	5	9	12	12	14	21	9	8	32	41	48	47	55	53	74
Llancahue	9	9	7	5	1	0	2	11	5	8	12	11	13	20	10	9	32	42	48	46	54	53	75
Pichanco	11	10	8	7	2	2	0	14	7	11	9	13	16	22	11	10	34	43	50	48	56	55	77
Quintupeu Smolts	20	20	19	17	12	11	14	0	7	11	13	13	15	22	23	22	33	43	50	56	64	62	87
Astilleros	14	13	12	10	5	5	7	7	0	4	7	6	8	15	16	15	27	37	43	49	57	56	80
Calamaco	17	17	15	14	9	8	11	11	4	0	4	3	5	12	16	14	28	38	45	50	58	57	84
Telele	20	21	18	16	12	12	9	13	7	4	0	3	2	10	19	16	29	40	47	51	59	58	87
Cascada	20	23	17	16	12	11	13	13	6	3	3	0	3	9	18	16	30	40	46	50	58	57	86
Antepulli	22	26	19	18	14	13	16	15	8	5	2	3	0	8	20	18	32	41	48	53	61	60	88
Tambor	29	34	26	25	21	20	22	22	15	12	10	9	8	0	27	26	39	49	55	60	68	67	95
Makomacum	11	9	8	7	9	10	11	23	16	16	19	18	20	27	0	2	23	33	39	36	44	42	77
Linguar	10	8	7	6	8	9	10	22	15	14	16	16	18	26	2	0	22	32	38	37	45	44	76
Ica	32	31	30	30	32	32	34	33	27	28	29	30	32	39	23	22	0	10	17	48	56	55	98
Reñihue	46	41	40	40	41	42	43	43	37	38	40	40	41	49	33	32	10	0	7	64	71	70	112
Pto. Argentino	53	48	47	47	48	48	50	50	43	45	47	46	48	55	39	38	17	7	0	69	77	76	119
Caleta Martín	47	47	44	43	47	46	48	56	49	50	51	50	53	60	36	37	48	64	69	0	10	8	113
Punta iglesia	55	54	52	51	55	54	56	64	57	58	59	58	61	68	44	45	56	71	77	2	0	2	122
Marimelli	53	53	51	49	53	53	55	62	56	57	58	57	60	67	42	44	55	70	76	8	2	0	120
Pto Montt	67	68	70	71	74	75	77	87	80	84	87	86	88	95	77	76	98	112	119	113	122	120	0

Tabla N°9 anexos: Matriz distancias en millas náuticas. Fuente: Ventisqueros S.A.

TIEMPOS (min) (C.PRAT)	VQ	PHN	Pelada	PHS	Cholgo	Llancahue	Pichanco	Quintupeu Smolts	Astilleros	Calamaco	Telele	Cascada	Antepulli	Tambor	Malomac.	Linguar	Ica	Reñihue	Pto. Arg.	C. Martin	Pta. Igle	Marimelli	Pto Montt
VQ	0	3	7	10	18	21	24	46	31	40	47	45	50	66	25	23	73	105	121	108	127	123	153
PHN	3	0	5	8	18	20	22	46	31	39	48	54	60	78	22	19	72	95	110	107	125	121	156
Pelada	7	5	0	4	13	15	18	44	28	35	40	40	44	60	18	15	69	92	108	102	120	117	160
PHS	10	8	4	0	11	13	15	39	23	32	37	37	41	58	15	13	70	92	107	99	117	113	163
Cholgo	18	18	13	11	0	3	4	28	14	21	28	27	32	47	20	18	73	94	110	107	125	122	171
Llancahue	21	20	15	13	3	0	5	26	11	19	26	25	30	46	24	21	73	96	111	106	124	121	173
Pichanco	24	22	18	15	4	5	0	32	17	25	20	31	36	52	25	22	78	99	114	111	130	126	177
Quintupeu Smolts	46	46	44	39	28	26	32	0	9	20	31	30	35	51	53	50	77	99	114	129	147	144	199
Astilleros	31	31	28	23	14	11	17	9	0	10	15	24	19	35	38	35	61	84	99	113	132	128	184
Calamaco	40	39	35	32	21	19	25	20	10	0	9	7	12	29	37	33	65	87	103	115	133	130	193
Telele	47	48	40	37	28	26	20	31	15	9	0	6	5	23	44	37	67	91	107	118	136	133	200
Cascada	45	54	40	37	27	25	31	30	24	7	6	0	8	21	41	37	68	91	106	116	134	131	198
Antepulli	50	60	44	41	32	30	36	35	19	12	5	8	0	23	46	41	73	95	110	121	140	137	203
Tambor	66	78	60	58	47	46	52	51	35	29	23	21	23	0	62	59	89	112	127	138	157	154	219
Malomacum	25	22	18	15	20	24	25	53	38	37	44	41	46	62	0	5	52	75	90	82	101	98	178
Linguar	23	19	15	13	18	21	22	50	35	33	37	37	41	59	5	0	50	73	88	86	104	101	176
Ica	73	72	69	70	73	73	78	77	61	65	67	68	73	89	52	50	0	24	40	111	129	126	226
Reñihue	105	95	92	92	94	96	99	99	84	87	91	91	95	112	75	73	24	0	17	146	164	161	258
Pto. Argentino	121	110	108	107	110	111	114	114	99	103	107	106	110	127	90	88	40	17	0	159	178	174	274
Caleta Martin	108	107	102	99	107	106	111	129	113	115	118	116	121	138	82	86	111	146	159	0	22	19	260
Punta iglesia	127	125	120	117	125	124	130	147	132	133	136	134	140	157	101	104	129	164	178	5	0	5	279
Marimelli	123	121	117	113	122	121	126	144	128	130	133	131	137	154	98	101	126	161	174	19	5	0	276
Pto Montt	153	156	160	163	171	173	177	199	184	193	200	198	203	219	178	176	226	258	274	260	279	276	0

Tabla N°10 anexos: Matriz tiempos caso clima óptimo en minutos, Capitán Prat. Fuente: Elaboración Propia.

TIEMPOS (min) (J.J. La Torre)	VQ	PHN	Pelada	PHS	Cholgo	Llancahue	Pichanco	Quintupeu Smolts	Astilleros	Calamaco	Telele	Cascada	Antepulli	Tambor	Malomac.	Linguar	Ica	Reñihue	Pto. Arg.	C. Martin	Pta. Igle	Marimelli	Pto Montt
VQ	0	3	9	13	22	25	30	57	38	49	57	56	61	81	30	28	89	129	149	132	156	151	188
PHN	3	0	6	9	22	25	27	57	38	48	59	66	74	96	27	23	89	117	135	132	154	149	192
Pelada	9	6	0	5	17	19	22	54	35	42	50	49	55	74	22	19	85	113	133	125	148	144	197
PHS	13	9	5	0	13	16	19	48	29	40	45	46	51	71	18	16	86	113	132	121	144	140	201
Cholgo	22	22	17	13	0	3	5	34	15	26	34	33	39	58	25	22	90	116	136	132	154	150	210
Llancahue	25	25	19	16	3	0	6	32	13	24	33	31	37	56	29	26	90	118	137	130	153	149	213
Pichanco	30	27	22	19	5	6	0	40	21	31	25	38	44	64	30	27	96	121	141	137	160	156	218
Quintupeu Smolts	57	57	54	48	34	32	40	0	19	31	38	37	43	62	65	61	94	122	141	158	181	177	245
Astilleros	38	38	35	29	15	13	21	19	0	10	19	18	24	44	46	42	76	103	122	140	162	158	227
Calamaco	49	48	42	40	26	24	31	31	10	0	10	8	15	35	45	40	80	108	126	141	164	160	237
Telele	57	59	50	45	34	33	25	38	19	10	0	15	8	28	54	46	82	112	132	145	168	163	246
Cascada	56	66	49	46	33	31	38	37	18	8	15	0	8	26	50	45	84	112	130	143	165	161	244
Antepulli	61	74	55	51	39	37	44	43	24	15	8	8	0	18	57	51	90	117	136	149	172	168	249
Tambor	81	96	74	71	58	56	64	62	44	35	28	26	18	0	76	72	110	138	156	170	193	189	269
Malomacum	30	27	22	18	25	29	30	65	46	45	54	50	57	76	0	6	64	92	111	101	124	120	218
Linguar	28	23	19	16	22	26	27	61	42	40	46	45	51	72	6	0	62	90	108	105	127	124	216
Ica	89	89	85	86	90	90	96	94	76	80	82	84	90	110	64	62	0	29	49	136	159	155	278
Reñihue	129	117	113	113	116	118	121	122	103	108	112	112	117	138	92	90	29	0	21	180	202	198	317
Pto. Argentino	149	135	133	132	136	137	141	141	122	126	132	130	136	156	111	108	49	21	0	195	218	214	337
Caleta Martin	132	132	125	121	132	130	137	158	140	141	145	143	149	170	101	105	136	180	195	0	27	23	321
Punta iglesia	156	154	148	144	154	153	160	181	162	164	168	165	172	193	124	127	159	202	218	6	0	6	344
Marimelli	151	149	144	140	150	149	156	177	158	160	163	161	168	189	120	124	155	198	214	23	6	0	340
Pto Montt	188	192	197	201	210	213	218	245	227	237	246	244	249	269	218	216	278	317	337	321	344	340	0

Tabla N°11 anexos: Matriz tiempos caso clima óptimo en minutos, J.J. La Torre. Fuente: Elaboración Propia.

TIEMPOS (min) (C.PRAT)	VQ	PHN	Pelada	PHS	Cholgo	Llancahue	Pichanco	Quintupeu Smols	Astilleros	Calamaco	Telele	Cascada	Antepulli	Tambor	Malomac.	Linguar	Ica	Reñihue	Pto. Arg.	C. Martin	Pta. Igle	Marimelli	Pto Montt
VQ	0	5	14	21	35	41	49	93	62	79	93	90	100	132	49	46	145	210	242	215	253	246	306
PHN	5	0	10	15	35	40	44	93	62	78	95	108	120	156	44	38	144	190	219	214	250	243	311
Pelada	14	10	0	8	27	31	36	87	57	69	81	80	89	121	36	30	139	184	216	204	241	235	320
PHS	21	15	7	0	21	25	30	78	47	64	74	75	83	115	30	25	140	184	214	197	235	227	327
Cholgo	35	35	27	21	0	5	9	56	28	42	56	53	63	95	41	35	147	189	220	214	251	244	341
Llancahue	41	40	31	25	5	0	10	52	22	38	53	50	60	91	48	42	147	191	222	212	249	242	347
Pichanco	49	44	36	30	9	10	0	64	34	51	41	62	72	103	49	44	155	197	229	223	259	253	355
Quintupeu Smols	93	93	87	78	56	52	64	0	18	40	61	60	69	101	106	100	153	199	228	257	294	287	399
Astilleros	62	62	57	47	28	22	34	18	0	20	30	48	39	71	75	69	123	168	198	227	264	257	368
Calamaco	79	78	69	64	42	38	51	40	20	0	18	13	25	58	74	66	130	175	205	230	266	260	385
Telele	93	95	81	74	56	53	41	61	30	18	0	12	11	46	88	75	133	183	214	236	273	265	399
Cascada	90	108	80	75	53	50	62	60	48	13	12	0	16	43	81	74	136	182	212	232	269	261	396
Antepulli	100	120	89	83	63	60	72	69	39	25	11	16	0	46	92	83	146	190	221	243	280	274	406
Tambor	132	156	121	115	95	91	103	101	71	58	46	43	46	0	124	117	179	224	253	277	314	308	438
Malomacum	49	44	36	30	41	48	49	106	75	74	88	81	92	124	0	9	104	150	180	165	202	195	355
Linguar	46	38	30	25	35	42	44	100	69	66	75	74	83	117	9	0	101	146	176	171	207	201	351
Ica	145	144	139	140	147	147	155	153	123	130	133	136	146	179	104	101	0	48	79	222	259	252	451
Reñihue	210	190	184	184	189	191	197	199	168	175	183	182	190	224	150	146	48	0	34	292	328	321	516
Pto. Argentino	242	219	216	214	220	222	229	228	198	205	214	212	221	253	180	176	79	34	0	317	355	348	548
Caleta Martin	215	214	204	197	214	212	223	257	227	230	236	232	243	277	165	171	222	292	317	0	44	37	521
Punta iglesia	253	250	241	235	251	249	259	294	264	266	273	269	280	314	202	207	259	328	355	10	0	10	559
Marimelli	246	243	235	227	244	242	253	287	257	260	265	261	274	308	195	201	252	321	348	37	10	0	552
Pto Montt	306	311	320	327	341	347	355	399	368	385	399	396	406	438	355	351	451	516	548	521	559	552	0

Tabla N°12 anexos: Matriz tiempos caso clima no óptimo en minutos, Capitán Prat. Fuente: Elaboración Propia.

TIEMPOS (min) (J.M La Torre)	VQ	PHN	Pelada	PHS	Cholgo	Llancahue	Pichanco	Quintupeu Smolts	Astilleros	Calamaco	Telele	Cascada	Antepulli	Tambor	Malomac.	Linguar	Ica	Reñihue	Pto. Arg.	C. Martín	Pta. Igle	Marimelli	Pto Montt
VQ	0	7	17	25	44	51	60	114	77	98	115	111	123	162	61	56	179	258	298	265	311	303	376
PHN	7	0	12	19	43	50	54	114	76	96	117	133	148	192	54	46	177	233	270	264	308	299	383
Pelada	17	12	0	9	33	38	44	107	70	85	99	98	109	149	44	38	171	226	265	251	296	289	394
PHS	25	19	9	0	26	31	37	95	58	79	91	92	102	142	37	31	172	226	263	243	289	279	402
Cholgo	44	43	33	26	0	7	11	68	30	52	68	66	78	117	50	44	181	232	271	263	309	301	420
Llancahue	51	50	38	31	7	0	12	65	27	47	65	62	74	112	59	52	181	235	273	260	306	298	427
Pichanco	60	54	44	37	11	12	0	79	41	63	50	76	89	127	61	54	191	243	282	274	319	311	436
Quintupeu Smolts	114	114	107	95	68	65	79	0	38	63	75	74	85	125	131	123	189	244	281	317	362	354	491
Astilleros	77	76	70	58	31	27	41	38	0	20	38	36	47	87	93	85	151	207	243	279	324	316	453
Calamaco	98	96	85	79	52	47	63	63	20	0	20	16	31	69	91	81	160	215	252	282	328	320	474
Telele	115	117	99	91	68	65	50	75	38	20	0	30	16	57	109	92	164	225	263	290	336	327	491
Cascada	111	133	98	92	66	62	76	74	36	16	30	0	15	52	100	91	168	224	260	285	331	322	488
Antepulli	123	148	109	102	78	74	89	85	47	31	16	15	0	36	113	102	179	234	272	299	344	337	499
Tambor	162	192	149	142	117	112	127	125	87	69	57	52	36	0	153	144	220	276	312	341	386	379	538
Malomacum	61	54	44	37	50	59	61	131	93	91	109	100	113	153	0	11	128	185	222	203	248	240	437
Linguar	56	46	38	31	44	52	54	123	85	81	92	91	102	144	11	0	124	179	216	211	255	248	432
Ica	179	177	171	172	181	181	191	189	151	160	164	168	179	220	128	124	0	59	97	273	318	310	555
Reñihue	258	233	226	226	232	235	243	244	207	215	225	224	234	276	185	179	59	0	42	359	404	395	635
Pto. Argentino	298	270	265	263	271	273	282	281	243	252	263	260	272	312	222	216	97	42	0	391	437	428	675
Caleta Martín	265	264	251	243	263	260	274	317	279	282	290	285	299	341	203	211	273	359	391	0	55	46	641
Punta iglesia	311	308	296	289	309	306	319	362	324	328	336	331	344	386	248	255	318	404	437	12	0	12	688
Marimelli	303	299	289	279	301	298	311	354	316	320	327	322	337	379	240	248	310	395	428	46	12	0	679
Pto Montt	376	383	394	402	420	427	436	491	453	474	491	488	499	538	437	432	555	635	675	641	688	679	0

Tabla N°13 anexos: Matriz tiempos caso clima no óptimo en minutos, J.J. La Torre. Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO E: DETALLE CASO EJEMPLO.

Matrices encontrar TSP.

ARCO	CENTRO ORIGEN	DESTINOS	DISTANCIA
ChalqaArtillorar	Chalqa	Artillorar	5,43
ChalqaCalamaca	Chalqa	Calamaca	9,20
ChalqaCarcada	Chalqa	Carcada	11,60
ChalqaQuintupou Smaltz	Chalqa	Quintupou Smaltz	12,09
ChalqaTelolo	Chalqa	Telolo	12,10
ChalqaAntopulli	Chalqa	Antopulli	13,80
ChalqaTambar	Chalqa	Tambar	20,60
			#N/A
			#N/A
			#N/A

ARCO	CENTRO ORIGEN	DESTINOS	DISTANCIA
ArtillorarCalamaca	Artillorar	Calamaca	4,41
ArtillorarCarcada	Artillorar	Carcada	6,35
ArtillorarTelolo	Artillorar	Telolo	6,63
ArtillorarQuintupou Smaltz	Artillorar	Quintupou Smaltz	6,66
ArtillorarAntopulli	Artillorar	Antopulli	8,39
ArtillorarTambar	Artillorar	Tambar	15,40
			#N/A
			#N/A
			#N/A

ARCO	CENTRO ORIGEN	DESTINOS	DISTANCIA
CalamacaCarcada	Calamaca	Carcada	2,91
CalamacaTelolo	Calamaca	Telolo	4,00
CalamacaAntopulli	Calamaca	Antopulli	5,39
CalamacaQuintupou Smaltz	Calamaca	Quintupou Smaltz	11,07
CalamacaTambar	Calamaca	Tambar	12,20
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A

ARCO	CENTRO ORIGEN	DESTINOS	DISTANCIA
CarcadaTelolo	Carcada	Telolo	2,61
CarcadaAntopulli	Carcada	Antopulli	2,69
CarcadaTambar	Carcada	Tambar	9,25
CarcadaQuintupou Smaltz	Carcada	Quintupou Smaltz	13,01
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A

ARCO	CENTRO ORIGEN	DESTINOS	DISTANCIA
TeloloAntopulli	Telolo	Antopulli	2,38
TeloloTambar	Telolo	Tambar	10,00
TeloloQuintupou Smaltz	Telolo	Quintupou Smaltz	13,29
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A

ARCO	CENTRO ORIGEN	DESTINOS	DISTANCIA
AntopulliTambar	Antopulli	Tambar	7,83
AntopulliQuintupou Smaltz	Antopulli	Quintupou Smaltz	15,05
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A

ARCO	CENTRO ORIGEN	DESTINOS	DISTANCIA
TambarQuintupou Smaltz	Tambar	Quintupou Smaltz	22,06
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A

ARCO	CENTRO ORIGEN	DESTINOS	DISTANCIA
Quintupou SmaltzChalqa	Quintupou Smaltz	Chalqa	12,09
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A
			#N/A

Ilustración N°1 anexos: Detalle matrices TSP. Fuente: Elaboración propia.

Detalle carga acumulada por centro.

VÉRTICE	ENTREGAR	RECOGER	DIFERENCIA
Astilleros	4	2	2
Calamaco	3	2	1
Cascada	5	1	4
Telele	0	4	-4
Antepulli	4	0	4
Tambor	4	0	4
Quintupeu Smolts	2	0	2
TOTAL	22	9	13

Ilustración N°2 anexos: Detalle carga acumulada. Fuente: Elaboración propia.

Tiempos con respecto al centro de origen, según orden de la ruta.

Estos tiempos (en minutos) son considerados al momento de sumar al tiempo de traslado el viaje de regreso al centro de origen.

ARCO	CENTRO ORIGEN	DESTINOS	PRAT	TORRE
CholgoAstilleros	Cholgo	Astilleros	14	15
CholgoCalamaco	Cholgo	Calamaco	21	26
CholgoCascada	Cholgo	Cascada	26	32
CholgoTelele	Cholgo	Telele	27	34
CholgoAntepulli	Cholgo	Antepulli	31	39
CholgoTambor	Cholgo	Tambor	47	58
CholgoQuintupeu Smolts	Cholgo	Quintupeu Smolts	27	34
			#N/A	#N/A
			#N/A	#N/A

Ilustración N°3 anexos: Tiempos con respecto al centro de origen. Fuente: Elaboración propia

Datos finales de la programación.

CAPACIDAD		COSTOS FIJOS	\$ 43.333
CAPITAN PRAT	J.J. LA TORRE	COSTOS VARIABLES	\$ 179.499
8	10	FUNCIÓN OBJETIVO	\$ 222.832
VENTANA HORARIA (Min)		TIEMPOS ACUMULADOS	
185		PRAT (MIN)	TORRE (MIN)
		78	157

Ilustración N°4 anexos: Detalle datos finales. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO F: ANÁLISIS COMPARATIVO.

FECHA	17 AGOSTO 2015				
RUTA VENTISQUEROS					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	9	Cholgo	0	7
Cascada	6	0	Astilleros	7	0
Antepulli	1	0			
Tambor	2	0			
Tiempo Estimado (Min)	119		Tiempo Estimado (Min)	30	
Costo variable Estimado	\$ 114.445				
Costo Fijo	\$ 43.333				
Costo Total	\$ 157.778				
RUTA SISTEMA PROPUESTO					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	8	Cholgo	0	8
Cascada	6	0	Astilleros	7	0
Tambor	2	0	Antepulli	1	0

Tiempo Estimado (Min)	119		Tiempo Estimado	67	
Costo Total Estimado	\$ 185.233				
FECHA	18 AGOSTO 2015				
RUTA VENTISQUEROS					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	8
Cascada	4	0	Astilleros	6	0
Tambor	6	1	Quintupeu Smolts	2	0
Telele	0	3	Calamaco	0	5
Calamaco	0	1	Telele	5	0
Astilleros	0	1			
Tiempo Estimado (Min)	140		Tiempo Estimado (Min)	95	
Costo variable Estimado	\$ 178.943				
Costo Fijo	\$ 43.333				
Costo Total	\$ 222.276				
RUTA SISTEMA PROPUESTO					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	8
Tambor	6	1	Astilleros	6	1
Telele	5	3	Quintupeu Smolts	2	0
Calamaco	0	6			
Cascada	4	0			
Tiempo Estimado (Min)	140		Tiempo Estimado	53	
Costo Total Estimado	\$ 191.113				
FECHA	19 AGOSTO 2015				
RUTA VENTISQUEROS					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	8
Tambor	2	0	Quintupeu Smolts	4	0
Antepulli	2	0	Astilleros	4	0
Cascada	4	1			

Telele	1	3			
Astilleros	1	3			
Tiempo Estimado (Min)	137		Tiempo Estimado (Min)	53	
Costo variable Estimado	\$ 145.455				
Costo Fijo	\$ 43.333				
Costo Total	\$ 188.788				
RUTA SISTEMA PROPUESTO					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	8
Quintupeu Smolts	4	0	Astilleros	5	3
			Cascada	4	1
			Telele	1	3
			Antepulli	2	0
PENDIENTES	6		Tambor	2	0
Tiempo Estimado (Min)	70		Tiempo Estimado (Min)	125	
Costo Total Estimado	\$ 190.310				
FECHA	20 AGOSTO 2015				
RUTA VENTISQUEROS					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	2
Cascada	4	1	Quintupeu Smolts	2	1
Astilleros	6	0			
Calamaco	0	1			
Antepulli	0	1			
Telele	0	1			
Tiempo Estimado (Min)	101		Tiempo Estimado (Min)	58	
Costo variable Estimado	\$ 121.277				
Costo Fijo	\$ 43.333				
Costo Total	\$ 164.610				
RUTA SISTEMA PROPUESTO					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	4	Cholgo	0	8
Cascada	4	1	Astilleros	6	0

			Calamaco	0	1
			Telele	0	1
			Antepulli	0	1
			Quintupeu Smolts	2	1
Tiempo Estimado (Min)	66		Tiempo Estimado	105	
Costo Total Estimado	\$ 172.371				
FECHA	21 AGOSTO 2015				
RUTA VENTISQUEROS					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	9	Cholgo	0	8
Astilleros	9	0	Cascada	5	0
Tambor	0	4	Astilleros	1	0
Antepulli	0	1	Tambor	2	0
Telele	0	1			
Cascada	0	1			
Tiempo Estimado (Min)	137		Tiempo Estimado (Min)	110	
Costo variable Estimado	\$ 187.749				
Costo Fijo	\$ 43.333				
Costo Total	\$ 231.082				
RUTA SISTEMA PROPUESTO					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	7
Astilleros	10	0	Cascada	5	1
			Telele	0	1
			Antepulli	0	1
			Tambor	2	4
Tiempo Estimado (Min)	32		Tiempo Estimado	112	
Costo Total Estimado	\$ 151.227				
FECHA	22 AGOSTO 2015				
RUTA VENTISQUEROS					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	8

Astilleros	10	0	Tambor	4	2
			Cascada	4	2
			Calamaco	0	2
			Quintupeu Smolts	0	1
Tiempo Estimado (Min)	32		Tiempo Estimado (Min)	130	
Costo variable Estimado	\$ 121.249				
Costo Fijo	\$ 43.333				
Costo Total	\$ 164.582				
RUTA SISTEMA PROPUESTO					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	8
Astilleros	10	0	Cascada	4	2
Calamaco	0	2	Tambor	4	2
			Quintupeu Smolts	0	1
Tiempo Estimado (Min)	54		Tiempo Estimado	128	
Costo Total Estimado	\$ 180.141				
FECHA	29 JULIO 2015				
RUTA VENTISQUEROS					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	8
Calamaco	4	0	Astilleros	3	0
Antepulli	1	0	Cascada	5	0
Tambor	3	0			
Cascada	1	0			
Astilleros	1	0			
Telele	0	1			
Tiempo Estimado (Min)	139		Tiempo Estimado (Min)	68	
Costo variable Estimado	\$ 158.135				
Costo Fijo	\$ 43.333				
Costo Total	\$ 201.468				

RUTA SISTEMA PROPUESTO					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	8
Cascada	6	0	Astilleros	4	0
Tambor	3	0	Calamaco	4	0
			Telele	0	1
			Antepulli	1	0
PENDIENTES	1				
Tiempo Estimado (Min)	119		Tiempo Estimado	74	
Costo Total Estimado	\$ 190.427				
FECHA	30 JULIO 2015				
RUTA VENTISQUEROS					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	5
Telele	1	1	Cascada	2	0
Calamaco	1	1	Tambor	3	0
Cascada	4	3			
Astilleros	4	1			
Tambor	0	1			
Tiempo Estimado (Min)	141		Tiempo Estimado (Min)	61	
Costo variable Estimado	\$ 154.490				
Costo Fijo	\$ 43.333				
Costo Total	\$ 197.823				
RUTA SISTEMA PROPUESTO					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	7	Cholgo	0	8
Cascada	6	3	Astilleros	4	1
			Calamaco	1	1
			Telele	1	1
			Tambor	3	1
PENDIENTES	1				
Tiempo Estimado (Min)	66		Tiempo Estimado	108	
Costo Total	\$ 174.597				

Estimado					
FECHA	04 AGOSTO 2015				
RUTA VENTISQUEROS					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	8
Cascada	4	0	Tambor	2	5
Astilleros	3	0	Antepulli	2	1
Calamaco	3	1	Telele	4	2
Tiempo Estimado (Min)	70		Tiempo Estimado (Min)	108	
Costo variable Estimado	\$ 134.363				
Costo Fijo	\$ 43.333				
Costo Total	\$ 177.696				
RUTA SISTEMA PROPUESTO					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	8
Cascada	4	0	Astilleros	3	0
Telele	4	2	Calamaco	3	1
			Antepulli	2	1
			Tambor	2	5
PENDIENTE	2				
Tiempo Estimado (Min)	84		Tiempo Estimado	111	
Costo Total Estimado	\$ 190.767				
FECHA	07 AGOSTO 2015				
RUTA VENTISQUEROS					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	8
Antepulli	8	0	Cascada	4	0
Calamaco	1	2	Tambor	4	1
Telele	1	0	Telele	0	1
			Astilleros	0	1
			Quintupeu Smolts	0	1
			Antepulli	0	2

Tiempo Estimado (Min)	87		Tiempo Estimado (Min)	158	
Costo variable Estimado	\$ 184.632				
Costo Fijo	\$ 43.333				
Costo Total	\$ 227.965				
RUTA SISTEMA PROPUESTO					
J.J. LA TORRE	DEMANDA	OFERTA	CAPITÁN PRAT	DEMANDA	OFERTA
Cholgo	0	10	Cholgo	0	8
Astilleros	0	1	Cascada	4	0
Calamaco	1	2	Telele	1	1
Antepulli	8	2	Tambor	4	1
			Quintupeu Smolts	0	1
Tiempo Estimado (Min)	83		Tiempo Estimado	137	
Costo Total Estimado	\$ 209.295				

Tabla N°14 anexos: Análisis comparativo. Fuente: Elaboración propia.

Comparación resultados.

COMPARACIÓN DIARIA SEMANA 17 AL 22 AGOSTO		
Fecha	Porcentaje a favor (%)	Ventisqueros/ Sistema propuesto
17-08-2015	14,82	Ventisqueros
18-08-2015	14,01	Sistema Propuesto
19-08-2015	0,8	Ventisqueros
20-08-2015	4,5	Ventisqueros
21-08-2015	34,56	Sistema Propuesto
22-08-2015	8,64	Ventisqueros
PROMEDIOS		AHORRO
Ventisqueros	92,81	7,19
Sistema propuesto	75,72	24,28

Tabla N°15 anexos: Comparación diaria semana 17 al 22 agosto. Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS SEMANA 17 AL 22 AGOSTO	
Ventisqueros	\$ 1.129.118
Sistema propuesto	\$ 1.070.395
Diferencia	\$ 58.723
Porcentaje (%)	5,2

Tabla N°16 anexos: Resultados generales semana 17 al 22 agosto. Fuente: Elaboración propia.

COMPARACIÓN DIARIA DÍAS ANEXOS		
Fecha	Porcentaje a favor (%)	Ventisqueros/ Sistema propuesto
29-07-2015	5,5	Sistema propuesto
30-07-2015	11,8	Sistema propuesto
04-08-2015	6,9	Ventisqueros
07-08-2015	8,2	Sistema propuesto
PROMEDIOS		AHORRO
Ventisqueros	93,1	6,9
Sistema propuesto	91,5	8,5

Tabla N°17 anexos: Comparación diaria días anexos. Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DÍAS ANEXOS	
Ventisqueros	\$ 804.951
Sistema propuesto	\$ 765.086
Diferencia	\$ 39.865
Porcentaje (%)	4,95

Tabla N°18 anexos: Resultados generales días anexos. Fuente: Elaboración propia.