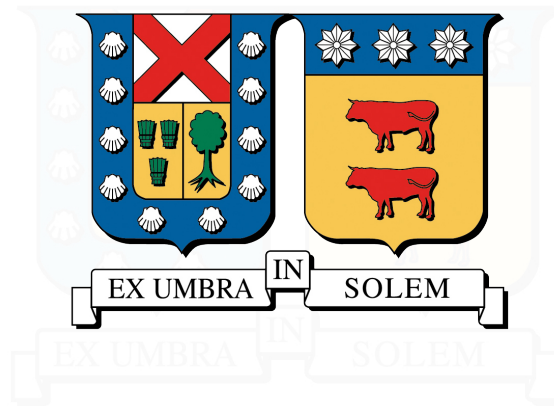


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAÍSO - CHILE



**MODELADO ENERGÉTICO DEL PROCESO DE REFRIGERACIÓN Y
TRANSPORTE DE UNA EMPRESA EXPORTADORA DE JIBIA PARA
EVALUAR LA ESTRATEGIA DE LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE
REFRIGERACIÓN**

JORDAN DEL ROSARIO LÓPEZ CORTÉS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA : SR. RODRIGO DEMARCO B.

NOVIEMBRE 2017



A mi familia, compañeros y amigos, pilares fundamentales en mi desarrollo profesional...

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio busca determinar el impacto del transporte dentro de un proceso de refrigeración de Jibia en una empresa exportadora de la Quinta Región de Chile, específicamente en la ciudad de Valparaíso. Esta empresa recibe el producto desde tres caletas ubicadas en la costa cercana, estas son: El Membrillo, ubicada en Playa Ancha, Caleta Portales, ubicada en Valparaíso, y El Manzano, ubicada en Quintero.

Para esto se utiliza un procedimiento mediante el cual se crean dos modelos energéticos, el primero de refrigeración, donde se utiliza el trabajo de [Foster et al. \(2016\)](#) para obtener la cantidad de energía eléctrica necesaria para congelar el producto según las especificaciones tanto de la empresa, como de la zona en la que se encuentra emplazado el frigorífico. El siguiente modelo es el de transporte, el cual se obtiene según criterios de [Bengston \(2015\)](#) y parámetros propios del sistema de transporte empleado por la empresa estudiada.

Los resultados obtenidos son presentados en el formato de un Modelo General, el cual es la interacción entre el modelo de refrigeración y el de transporte. Se obtiene que de un costo total de \$ 70.669.824, el 25 % corresponde al proceso de transporte, incluyendo todo lo relacionado al medio de transporte y la fabricación de hielo para mantener a una temperatura constante la Jibia, manteniendo así la cadena de frío.

Además, se realiza una sensibilización de las distancias entre las caletas y el frigorífico, donde al reducir en un 50 % las distancias, se reduce en aproximadamente \$5.000.000 el costo total de la planta.

Se sensibiliza el modelo general, cuyo propósito fue obtener las variables que más afectan los procesos de refrigeración y transporte, donde los costos de la electricidad, tiempo de refrigeración y diversos aspectos del transporte son parte importante de lo que se debe considerar al momento de revisar la estrategia de refrigeración.

Palabras Claves: Refrigeración, Estrategia, Transporte, Modelo Energético, Jibia.



ABSTRACT

The present study seeks to determine the impact of transport within a cooling process of cuttlefish in an export company in the Fifth Region of Chile, specifically in the city of Valparaíso. This company receives the product from three coves located on the nearby coast, these are: El Membrillo, located in Playa Ancha, Caleta Portales, located in Valparaíso, and El Manzano, located in Quintero.

The procedure for this are two energy models, one of these refrigeration model, where the work of [Foster et al. \(2016\)](#) is used to obtain the amount of electric energy necessary to freeze the product according to the specifications of both the company, as well as the area in which the refrigerator is located. The next model is transport, which is obtained according to [Bengston \(2015\)](#) criteria and parameters of the transport system used by the company studied.

The results obtained are presented in the format of a General Model, which is the interaction between the refrigeration model and the transport model. It is obtained that from a total cost of \$ 70.669.824, 25 % corresponds to the transport process, including everything related to the means of transport and the manufacture of ice to keep the cuttlefish at a constant temperature and keep the cold chain.

In addition, awareness is made of the distances between the coves and the refrigerator, where by reducing the distance by 50 %, the total cost of the plant is reduced by approximately \$ 5,000,000.

The general model is sensitized, whose purpose was to obtain the variables that most affect the refrigeration and transport process, where the costs of electricity, cooling time and various aspects of transport are an important part of what should be considered when reviewing the cooling strategy.

KeyWords: Cooling, Strategy, Transport, Energy Model, Cuttlefish.



Índice de Contenidos

1. Problema de Investigación	1
1.1. Descripción Problema de Investigación	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Alcance	3
2. Marco Teórico	5
2.1. Consumo de Alimentos a Nivel Mundial	5
2.2. Proyecciones Consumo de Pescados y Mariscos	5
2.3. Exportaciones Chilenas de Productos Congelados	6
2.4. Producto Comercializado: Jibia	7
2.4.1. Oportunidades de la Jibia Chilena	8
2.5. Procesos Realizados	9
2.5.1. Ciclo de Refrigeración	10
2.5.2. Medición Transferencia de Calor Proceso de Refrigeración	11
2.5.3. Medición Transferencia de Calor Sub Proceso de Transporte	12
2.6. Técnicas de Simulación	14
2.7. Variables Generales	14
2.7.1. Análisis de Sensibilidad	14
3. Metodología	17
3.1. Recopilación de Información de Refrigeración, Transporte y Demanda del Producto	17
3.2. Validación y Transformación de la Información	17
3.3. Parametrización del Modelo de Refrigeración	21
3.4. Parametrización del Modelo de Transporte	25
3.5. Ingreso de los Parámetros Monetarios	27
3.6. Análisis de Sensibilidad de las Variables Involucradas	30
4. Resultados	35
4.1. Análisis Consumo Energético de Refrigeración	35
4.2. Demanda proyectada año 2017	36
4.3. Rutas Empleadas por la Empresa	37
4.4. Caracterización del Radio Crítico de Transporte	40
4.5. Sensibilización de Modelo de Refrigeración y Modelo General	42
5. Conclusión y Recomendaciones	49
6. Discusión	51
Bibliografía	53

A. Anexos	55
A.1. Demanda año 2017	55
A.2. Número de Viajes al mes por caleta	55
A.3. Distribuciones de Probabilidad	55
A.4. Resultados Modelo General	58
A.4.1. Caleta El Manzano	58
A.4.2. Caleta El Membrillo	58
A.4.3. Caleta Portales	58
A.5. Análisis Radio Crítico	59
A.6. Flujo de Calor Transporte	59
A.7. Cantidad de Hielo Derretido	59



Índice de Tablas

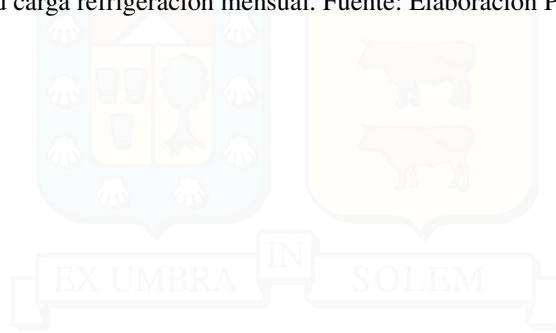
3.1. Datos validados con empresa similar. Fuente: Elaboración Propia.	20
3.2. Parámetros de equipos del proceso de refrigeración. Fuente: Elaboración Propia. Gonzalez (2017)	20
3.3. Grupos que considera el ICT para el transporte en carretera. Instituto Nacional de Estadística de Chile (2014)	20
3.4. Ponderaciones de la canasta del ICT Septiembre 2017. Instituto Nacional de Estadística de Chile (2017)	20
3.5. Especificaciones técnicas máquina de hielo. Fuente: China Ice Machine	21
3.6. Especificaciones técnicas del bin de transporte. Fuente: Amerplast	21
3.7. Tipos de aislamientos que se pueden ingresar al modelo de Foster et al. (2016)	22
3.8. Grados de temperatura agregados por radiación Solar. Fuente: (Foster et al., 2016)	23
3.9. Eficiencia protección con diferentes tipo de puerta. Foster et al. (2016)	23
3.10. Tipo de descongelador disponibles en el modelo. Foster et al. (2016)	23
3.11. Potencia utilizada por elevadores en modelo de Foster et al. (2016)	23
3.12. Temperatura mensual mar Valparaíso. Fuente: Climate-Data	28
3.13. Promedio mensual temperatura de la ciudad de Valparaíso. Fuente: Weather-Data.	28
3.14. Promedio mensual radiación solar. Fuente: Universidad de Chile (2017)	28
4.1. Costos totales año. Fuente: Elaboración Propia.	42
A.1. Demanda mensual proyectada 2017. Fuente: Elaboración Propia.	55
A.2. Número de viajes al mes por caleta. Fuente: Elaboración Propia.	55
A.3. Resultados Caleta El Manzano. Fuente: Elaboración Propia.	58
A.4. Resultados Caleta El Membrillo. Fuente: Elaboración Propia.	58
A.5. Resultados Caleta Portales. Fuente: Elaboración Propia.	58
A.6. Radio Crítico en el transporte de la Jibia. Fuente: Elaboración Propia.	59
A.7. Flujo de calor aportado en cada carga por mes del año. Fuente: Elaboración Propia.	59
A.8. Cantidad total de hielo derretido por mes del año. Fuente: Elaboración Propia.	59



Índice de Figuras

2.1. PIB Per cápita en 2005 (Negro) y los incrementos proyectados para 2050 (Blanco). Porcentaje de incremento sobre las barras. Tilman et al. (2011)	5
2.2. Consumo de Pescados y los incrementos proyectados a 2023. OCDE/FAO (2014)	6
2.3. Exportaciones pesqueras por línea de producto. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (2016) .	6
2.4. Exportaciones de Congelado, Sector Extractivo. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (2016)	7
2.5. Distribución biogeográfica de <i>Dosidicus gigas</i> . Chen et al. (2011)	8
2.6. Esquema ciclo de refrigeración. Cengel y Boles (2012)	10
2.7. Diagrama T-s de un ciclo de refrigeración. Cengel y Boles (2012)	11
2.8. Radiación recibida por metro cuadrado en cada hora del día . Universidad de Chile (2017) . .	13
3.1. Complemento usado en Microsoft Excel 2016. Fuente: Microsoft Excel 2016	18
3.2. Distribución biogeográfica de <i>Dosidicus gigas</i> . Fuente: Elaboración Propia	18
3.3. Distribución biogeográfica de <i>Dosidicus gigas</i> . Fuente: Elaboración Propia	19
3.4. Distribución biogeográfica de <i>Dosidicus gigas</i> . Fuente: Elaboración Propia	19
3.5. Formato Modelo Carga Refrigeración parte 1. Fuente: Foster et al. (2016)	24
3.6. Formato Modelo Carga Refrigeración parte 2. Fuente: Foster et al. (2016)	25
3.7. Formato Modelo Carga Refrigeración parte 3. Fuente: Foster et al. (2016)	25
3.8. Modelo de figura a utilizar. Fuente: Bengston (2015)	26
3.9. Pantalla Inicial Análisis Tornado. Fuente: Crystal Ball	31
3.10. Descripciones distribución de probabilidad. Fuente: Crystal Ball	31
3.11. Distribuciones de Probabilidad Disponibles. Fuente: Crystal Ball	32
3.12. Distribución de Probabilidad Costo Combustible Diesel. Fuente: Elaboración Propia	33
4.1. Consumo Energético por Túnel. Fuente: Elaboración Propia	35
4.2. Consumo Energético por Túnel. Fuente: Elaboración Propia	36
4.3. Consumo Energético por Túnel en cada mes del año. Fuente: Elaboración Propia	36
4.4. Cantidad de Jibia procesada por mes . Fuente: Elaboración Propia	37
4.5. Número de viajes transporte Jibia por mes . Fuente: Elaboración Propia	37
4.6. Ruta transporte Caleta Portales - Frigorífico. Fuente: https://www.google.cl/maps . . .	38
4.7. Ruta transporte Caleta El Membrillo - Frigorífico. Fuente: https://www.google.cl/maps	38
4.8. Ruta transporte Caleta El Manzano - Frigorífico. Fuente: https://www.google.cl/maps .	39
4.9. Proporción Transferencia de Calor. Fuente: Elaboración Propia	40
4.10. Porción de hielo derretido por cada bin cada mes del año. Fuente: Elaboración Propia	40
4.11. Comportamiento hielo en función del tiempo de viaje. Fuente: Elaboración Propia	41
4.12. Comportamiento hielo en función de los kilómetros recorridos . Fuente: Elaboración Propia .	41
4.13. Sensibilización distancia transporte. Fuente: Elaboración Propia	42
4.14. Distribución de costos totales. Fuente: Elaboración Propia	42
4.15. Sensibilización Modelo Refrigeración. Fuente: Elaboración Propia	43
4.16. Sensibilización Modelo Refrigeración. Fuente: Elaboración Propia	43
4.17. Comportamiento Variables Modelo Refrigeración. Fuente: Elaboración Propia	44
4.18. Sensibilización Modelo General. Fuente: Elaboración Propia	45
4.19. Sensibilización Modelo General. Fuente: Elaboración Propia	45

4.20. Comportamiento Variables Modelo General. Fuente: Elaboración Propia	46
4.21. Simulación Montecarlo Costo Total. Fuente: Elaboración Propia	47
6.1. Resultados modelo de refrigeración por mes. Fuente: Foster et al. (2016)	51
A.1. Distribución de probabilidad tiempo de descarga camión. Fuente: Elaboración Propia	56
A.2. Distribución de probabilidad tiempo de carga camión. Fuente: Elaboración Propia	56
A.3. Distribución de probabilidad temperatura mar. Fuente: Elaboración Propia	57
A.4. Distribución de probabilidad velocidad camión. Fuente: Elaboración Propia	57
A.5. Distribución de probabilidad carga refrigeración mensual. Fuente: Elaboración Propia	58



1 | Problema de Investigación

1.1. Descripción Problema de Investigación

Chile importa entre el 70 % y el 80 % de su energía, lo que hace que el sistema energético del país sea vulnerable a lo que suceda con las fuentes extranjeras que han resultado, en general, inestables con respecto al suministro. [Jain \(2010\)](#).

Como ejemplo, se menciona que debido a factores internos, desde 2004 Argentina comenzó a efectuar cortes graduales en el suministro de gas natural hasta imponer un corte total en 2008, lo que detuvo los proyectos de inversión en curso y a la vez obligó a buscar otras alternativas para generar electricidad. [Corbo y Hurtado \(2014\)](#).

En vista que tanto el estado, como la industria privada no han tomado acciones concretas intentando reducir la dependencia de las fuentes de energía convencionales, y solo han sido capaces de proyectar la demanda energética mediante variados modelos [O’Ryan \(2008\)](#), y definir políticas o estrategias hacia el futuro, como la más reciente proyectada hacia el año 2050. [Ministerio de Energía de Chile \(2016\)](#)

Debido a que en Chile, en general, no existen medidas de eficiencia energética en la industria estudiada, porque en la práctica las empresas no poseen datos del consumo de energía mas que el valor del consumo de energía eléctrica, de agua o gas. Es por ello, que realizar este tipo de estudio resulta complejo, pero especialmente interesante, porque dentro de los frigoríficos o centros de refrigeración el 60-70 % de la energía eléctrica se utiliza para la refrigeración [Evans et al. \(2013\)](#), y por la cantidad de interesados a los que puede impactar, partiendo por los propietarios de los frigoríficos o Centros de Refrigeración, pero también los mismos trabajadores del lugar, o el mismo país, ya que, la energía utilizada es obtenida del Sistema Interconectado central(SIC), el cual abastece a la mayor parte de Chile. [Ministerio de Energía de Chile \(2010\)](#).

Dentro de las instalaciones de almacenamiento en frío 60-70 % de la energía eléctrica se utiliza para la refrigeración. Por lo tanto, los usuarios de los almacenes frigoríficos tienen incentivos considerables para reducir el consumo de energía.

Es por esto que nace un especial interés en modelar el consumo de energía de los frigoríficos industriales debido a que conociendo como se comporta el consumo de energía en el proceso de refrigeración, se logra responder la pregunta ¿Cómo, dónde y cuanta energía es empleada o desperdiciada? [Restrepo et al. \(2007\)](#).

En particular, en la industria de productos del mar, se debe prestar especial atención, ya que, los productos deben poseer una estricta cadena de frío, el cual luego de ser extraído, debe ser rápidamente congelado para poder ser apto para el consumo humano.

El caso de estudio será una empresa exportadora de productos congelados, cuyo frigorífico se encuentra ubicado en Curauma, Valparaíso, Chile, el cual se dedica a refrigerar específicamente Jibia, también conocida como *Dosidicus Gigas*.

Finalmente, al visitar el lugar y entrevistar a sus propietarios, se plantea una inquietud, la que se resume en ¿Cómo se puede saber cuál es la actual situación de la empresa en términos energéticos?.

Además de esto, se menciona que existe la posibilidad de realizar una localización de Centros de Refrigeración, más pequeños que buscan reemplazar el actual frigorífico utilizado. Esto lleva a la siguiente interrogante. ¿Existe una mejora al repartir la actual demanda sobre el Frigorífico en Centros de Refrigeración más pequeños?.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinación del impacto del transporte dentro del proceso de refrigeración de Jibia, mediante la creación de un modelo general de energía y costos de transporte, para así evaluar la planificación estratégica de localización de los Centros de Refrigeración.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar el consumo de energía que es utilizado en el proceso de refrigeración, mediante la simulación en software, para determinar la energía mínima necesaria que debe ser suministrada para lograr la congelación del producto.
- Realizar una proyección de la demanda en cada uno de los Centros de Refrigeración y/o Frigorífico, utilizando un software estadístico apropiado, con el fin de obtener una demanda anual que se utilizará para calcular la ocupación de cada recinto evaluado y los costos en transporte asociados.
- Medir las distancias en el transporte de la Jibia desde las distintas caletas hasta el Frigorífico, definiendo rutas en un software de localización, para así determinar los costos totales por transporte y los mecanismos de transferencia de calor que más le afectan.
- Cuantificar distancia de transporte máxima, mediante el análisis de un radio crítico alrededor de la zona de Valparaíso, logrando obtener un perímetro máximo de ubicación de algún centro de refrigeración.
- Obtener las variables que mayor impacto generan dentro del proceso completo de transporte y refrigeración de Jibia, mediante la sensibilización del modelo, verificando supuestos y generando recomendaciones.

1.3. Alcance

El estudio que se propone presenta varios objetivos, en primer lugar, se busca ver cómo afecta el transporte en una empresa exportadora de Jibia, en los costos totales al año.

Además, se busca entender cómo se debe tomar una decisión estratégica para localizar un lugar de refrigeración considerando la distancia desde las caletas de las que se extrae la Jibia.

Es importante señalar que este estudio toma datos desde una empresa que actualmente opera en la región de Valparaíso, pero la cantidad de datos es insuficiente para analizar todo el proceso productivo de este tipo de empresa. Es por esto que este estudio sólo toma como análisis el proceso productivo hasta el ingreso de la Jibia al frigorífico, por tanto el resto del proceso, por ejemplo, el envío de la Jibia congelada al extranjero, o las rutas para realizar estos envíos no será evaluado.

Tampoco será posible una evaluación económica de las alternativas de localización de centros de refrigeración. Esto porque no se tienen datos de costos relacionados con trabajadores, arriendos, vehículos, mantención de equipos, entre otros. Además, no se entregan datos de ingresos de la empresa estudiada, por lo que es aún más difícil realizarlo.

Esto genera que el alcance real de este estudio sea entregar directrices que se sustentarán en la relación encontrada entre costos de transporte que involucran, por ejemplo, costos de combustible, con los costos de refrigeración que integran la cantidad de energía necesaria para la refrigeración del producto.



2 | Marco Teórico

2.1. Consumo de Alimentos a Nivel Mundial

La demanda y consumo mundial de alimentos se encuentra fuertemente ligada al crecimiento de la población y al ingreso per cápita de los países. Se espera que hacia el año 2050 la población supere los 9.300 millones de personas, representando un 33 % de aumento respecto del 2011, lo que traerá cambios en los estilos de vida y hábitos de consumo. [Tilman et al. \(2011\)](#)

Para determinar de mejor manera la demanda de alimentos, se agrupan los distintos países en siete grupos económicos que se determinan por el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita, y se clasifican desde el promedio del PIB más alto (Grupo A) al más bajo (Grupo G). Es posible analizar que el crecimiento de la demanda en los alimentos aumentará en un porcentaje considerable hacia el año 2050 para todos los grupos. En particular, Chile pertenece al Grupo B, considerando un aumento de cerca del 100 % en la demanda de alimentos. [Tilman et al. \(2011\)](#)

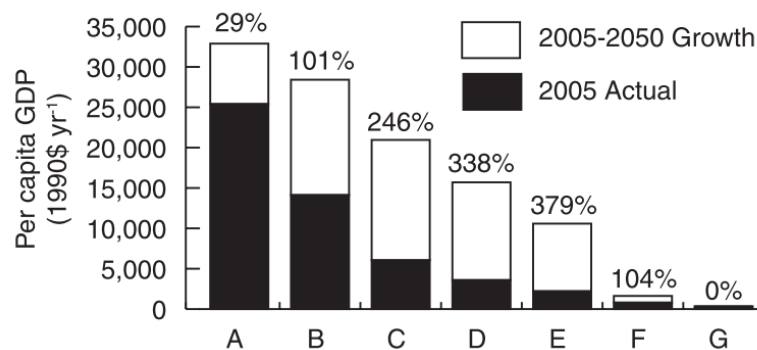


Figura 2.1: PIB Per cápita en 2005 (Negro) y los incrementos proyectados para 2050 (Blanco). Porcentaje de incremento sobre las barras. [Tilman et al. \(2011\)](#)

2.2. Proyecciones Consumo de Pescados y Mariscos

Particularmente para el caso de los alimentos provenientes del mar, ya sea pescados o mariscos “la tendencia de mediano plazo del sector pesquero permanece positiva. Los países en desarrollo impulsarán importantes cambios y la expansión de la pesca y la producción, comercio y consumo de la acuicultura”. [OCDE/FAO \(2014\)](#)

Dentro de los países en desarrollo mencionados, se encuentra Chile, país que extrae pescados y mariscos, produciendo además derivados de estos, que son exportados a EE.UU y a países del continente asiático. [Subsecretaría de Pesca y Acuicultura \(2016\)](#)

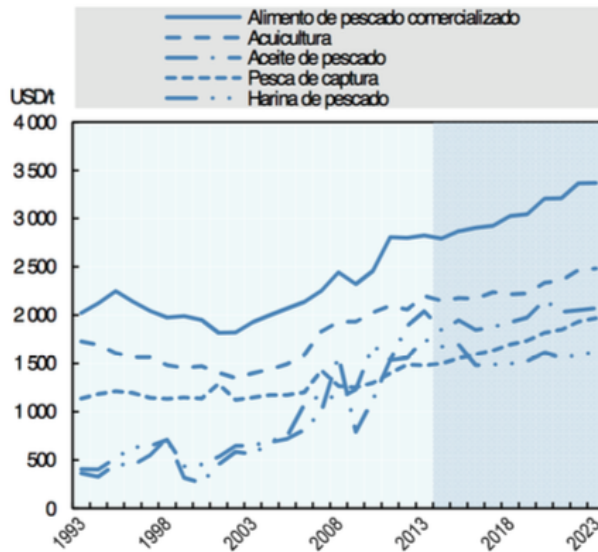


Figura 2.2: Consumo de Pescados y los incrementos proyectados a 2023.OCDE/FAO (2014)

2.3. Exportaciones Chilenas de Productos Congelados

Según datos recopilados por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura durante los años 2015-2016, las exportaciones pesqueras fueron cercanas a 120.000 Toneladas, con un volumen mayor al 50 % de los productos congelados y frescos refrigerados, luego en menor medida, se mencionan los derivados como la harina de pescado o aceite.

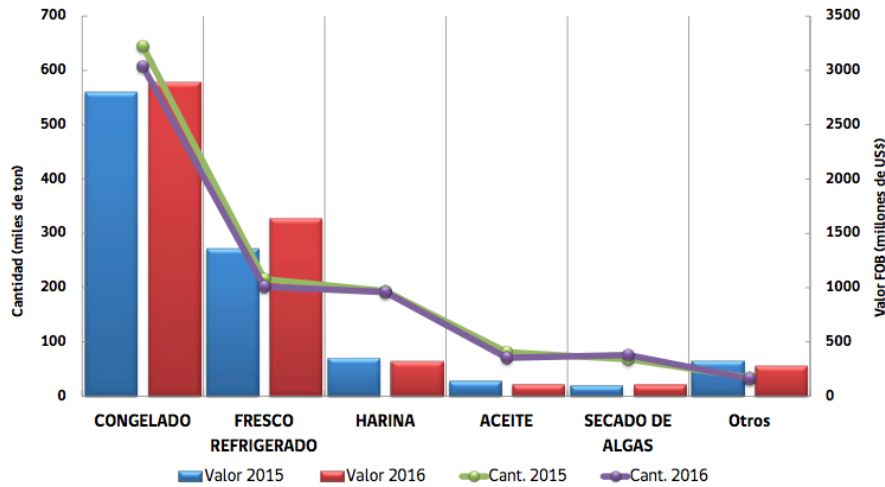


Figura 2.3: Exportaciones pesqueras por línea de producto.Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (2016)

Dentro de los destinos recurrentes de las exportaciones, se puede mencionar que tanto Japón como EE.UU. han mantenido sus niveles de compra. Además se destaca que dentro de los Otros, están países como Corea del Sur o China, siendo el primero de estos el principal destino de la empresa estudiada.

Con estos datos, se observa que los productos congelados poseen un gran valor dentro del grupo de las exportaciones, donde el producto que la empresa exporta es la Jibia en el formato congelado.

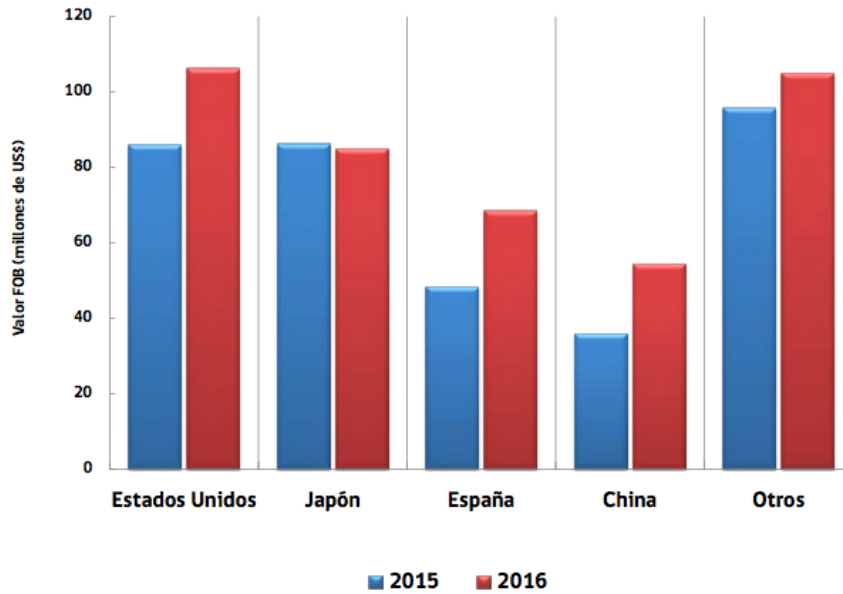


Figura 2.4: Exportaciones de Congelado, Sector Extractivo. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (2016)

2.4. Producto Comercializado: Jibia

La Jibia o *Dosidicus Gigas* es una especie de calamar que pertenece a la Familia Ommastrephidae, caracterizándose por alcanzar tamaños hasta 1,2 m de longitud dorsal del manto (LDM), compleja estructura de tamaños, dimorfismo sexual, alta fecundidad, marcada voracidad y diferenciada razón de sexos. La jibia es el calamar más grande del Océano Pacífico y es el invertebrado marino de mayor tamaño de la fauna chilena, la *Dosidicus. gigas* se distingue ecológicamente de otros ommastéridos por su amplio rango geográfico latitudinal, abarcando desde Alaska hasta 45° S en el Océano Pacífico Suroriental, aunque últimamente se ha registrado la presencia de jibia como fauna acompañante en la pesquería arrastrera de busques fabrica en el extremo austral de Chile (al sur de 55°S). [Arancibia et al. \(2016\)](#)

La Jibia presenta desove durante todo el año, con hasta tres peak anuales, Otoño-Primavera-Verano, y su ciclo de vida total en general alcanza los 307 días en costas chilenas, pero en algunos casos llegarían a 1,5-2 años, sobre todo en el grupo más grande. [Chen et al. \(2011\)](#)

Otra característica notable de esta especie es su alta tasa de crecimiento individual, alcanzando 700-750 mm de longitud del manto por año y cuyos especímenes que superan el año pueden alcanzar hasta 930 mm de dicha longitud. Esto hace que podamos catalogar a la Jibia como un activo depredador tope; voraz y oportunista, con altas tasas de crecimiento individual y reclutamiento poblacional y que en nuestras costas presenta una población altamente variable, determinada principalmente por fenómenos climáticos, sobre todo tratándose Chile de su frontera austral de distribución. [Chen et al. \(2010\)](#)

A continuación, vemos un gráfico que representa gráficamente la localización tanto histórica de la Jibia, como los movimientos que ha tenido durante algunos años debido a los cambios en la temperatura del mar.

Al procesar la Jibia, ésta es separada en 3 partes: tentáculos, aleta y filete, siendo utilizado más del 90 % de cada animal. Dada su composición, la Jibia debe ser tratada en menos de 24 horas luego de su captura, a diferencia del salmón, que pueden pasar más de 48 horas desde su captura hasta el procesamiento. Si la Jibia supera la temperatura de 16 °C, las células de pigmentos que tienen son reventadas, volviéndola de color rojo, el mismo color que tiene cuando está podrida (aun cuando no lo esté). La forma actual más rentable de venta es la exportación del producto congelado, en donde, mediante un túnel de frío se disminuye la temperatura del producto hasta los -20 °C aproximadamente, siendo el intervalo 5°C a -5°C el punto crucial, donde se

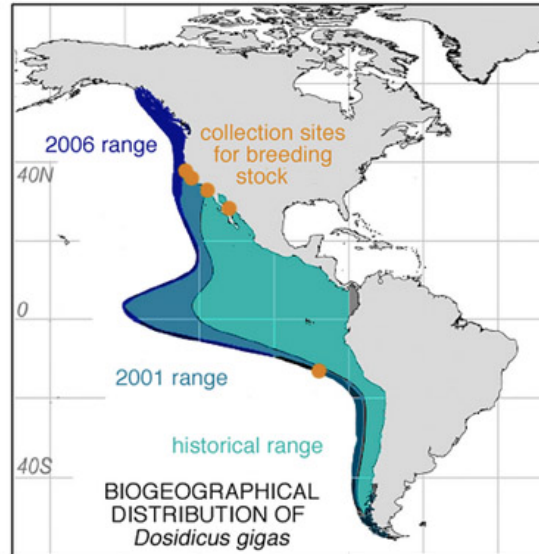


Figura 2.5: Distribución biogeográfica de *Dosidicus gigas*. Chen et al. (2011)

consume la mayor energía (cambio de fase) y que debe ser realizado de manera rápida para evitar el quiebre de la cadena de frío. Gonzalez (2017)

Dado lo anterior, es necesario considerar si la Jibia es un producto que posee un crecimiento a futuro, analizando si su mercado es atractivo para realizar inversiones que generen una rentabilidad atractiva a futuro.

2.4.1. Oportunidades de la Jibia Chilena

Corea es el primer país consumidor de productos del mar en el mundo. Según el registro del Ministerio de Océanos y Pesca de Corea y el Korea Rural Economic Institute, el consumo percapita de productos del mar en Corea entre los años 2009 y 2012 mostraba un incremento anual de 1 kg llegando a 54,9 kg el año 2012. Sin embargo, el año 2013 bajó a 53,8 kg debido a la situación vivida por la falla radioactiva de Fukushima, generando prohibición del ingreso de productos del mar de 8 provincias cercanas de Fukushima a Corea. El año 2014, el consumo aumentó nuevamente a 56,3 kg. Hoy en día la jibia es uno de los 10 principales productos del mar más consumidos en Corea. Asimismo, existe un fuerte interés de los consumidores locales en alimentos sanos y funcionales, entre ellos las algas y pescados procesados con valor agregado, constituyendo este último una importante oportunidad para los productos chilenos. ProChile (2016)

Además, como resultado de la escasez y el alza significativa de los precios, el Ministerio de Alimentos, Agricultura, Silvicultura y Pesca (MIFAFF) ha decidido hace algunos años incrementar el stock de compras estatales, incluyendo importaciones de 7 productos estratégicos, entre los que figuran el calamar, la caballa, el abadejo (pollock), el hairtail, la corvina y el pacific saury). Estas existencias se canalizan posteriormente hacia el mercado del retail (cadenas de supermercados y pescaderías tradicionales) con el objeto de estabilizar el mercado. ProChile (2011)

Desde el gobierno de Chile, creen que los productores nacionales tienen en sus manos un promisorio recurso con un alto potencial, que como tal necesita ser estudiado desde la perspectiva internacional de comercialización y del conocimiento tanto normativo, exigencias de calidad, como de los instrumentos públicos de apoyo para su desarrollo fuera del país, impulsando a nuestras pymes a explorar nuevos destinos, al tiempo de diversificar sus exportaciones. Acuicultura + Pesca (2017)

Como conclusión se puede comentar que, tanto de las proyecciones de demanda, como de exportaciones, hace que sea necesario tener un buen sistema que soporte grandes requerimientos, razón por la cual hacer

los procesos más eficientes resulta una excelente oportunidad para las empresas que se dedican a refrigerar y conservar, como también de empresas exportadoras de productos como frutas, verduras, pescados, mariscos entre otros.

2.5. Procesos Realizados

Los procesos realizados en la empresa se pueden agrupar en dos áreas principales, en primer lugar, la refrigeración de la jibia en los reefers, y los subprocesos que permiten preparar la jibia desde su captura hasta el posterior ingreso a la planta, donde el subproceso más importante es el transporte del producto desde las caletas hasta el frigorífico. Dentro del transporte, no solo está la carga, el desplazamiento y la descarga, sino que, además incluye el envasado de la jibia en bines y la mezcla de ésta con hielo para mantener la temperatura estable.

Dentro de las especificaciones de como se realiza el subproceso de transporte, se puede mencionar:

- 1- Los bines utilizados tienen dimensiones estándar, con una capacidad de 1000 litros.
- 2- El vehículo de transporte es un camión con carga máxima de 12000 kilogramos que realiza los viajes con 12 bines de jibia mezclada con hielo.
- 3- El hielo es fabricado en cada caleta mediante máquinas que producen 3 toneladas al día.

Otros subprocesos que influyen directamente dentro del proceso de refrigeración son el lavado de la jibia en su ingreso a la planta, las cuales en primer lugar ingresan a la línea de producción, donde son inspeccionadas, y se les extraen las partes que no serán vendidas. Luego del lavado e inspección, las jibias son colocadas en cajas plásticas que se apilan dentro del reefer para luego cerrarlo y empezar el proceso de refrigeración encendiendo los compresores.

El proceso energético principal en la planta de producción de Jibia se encuentra en los reefers. Estos son container de 20 pies adaptados que actúan como cámaras de almacenamiento, y que funcionan mediante ciclos de refrigeración por compresión.

Se usan “Reefers” con medidas de 10 m de largo, 4 m de ancho y 2,6 m de alto, capaces de contener 12.000 kg de Jibia en cada ciclo de enfriamiento. Las condiciones que se requieren para que el proceso de refrigeración sea exitoso son que, en primer lugar, la temperatura de entrada de la jibia sea de aproximadamente 16 grados Celcius, la que varía dependiendo de la temperatura del agua con la que son lavadas. La temperatura de salida de la jibia ya congelada es de -18 °C. La empresa posee actualmente 5 reefer de refrigeración, donde cada uno tiene un sistema con un compresor de 100 Hp que utiliza un sustituto del refrigerante R22. [Gonzalez \(2017\)](#)

Con una breve investigación, se encuentra que según la ley Chilena, existen parámetros de temperatura para productos congelados que deben poseer además una cadena de frío. Es así como el Artículo 192 del Decreto 23 que modifica el Decreto Supremo N° 977 del año 1996 señala que cuando los alimentos congelados se ofrezcan a la venta en esta condición deberán mantenerse en vitrinas congeladoras o conservadoras destinadas a ese fin, las que deberán ser capaces de mantener la temperatura del producto a -18°C y estar provistas de termómetros. Se podrá tolerar, por periodos breves, un aumento de la temperatura del producto sin que sobrepase los -12°C. [Ministerio de Salud \(2017\)](#)

Dado lo anterior, es imperativo estudiar el proceso de refrigeración, en particular el ciclo de refrigeración, el cual es el proceso más importante de la empresa, que al ser estudiado desde la teoría, es posible obtener los primeros insumos para realizar las mejoras.

2.5.1. Ciclo de Refrigeración

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor, es el nombre que se le da a el ciclo que se efectúa en cada reefer de refrigeración, a continuación se presenta de manera esquemática y en un diagrama T-s. El ciclo de refrigeración por compresión de vapor es el que más se utiliza en refrigeradores, sistemas de acondicionamiento de aire y bombas de calor. El proceso a grandes rasgos se define a continuación:

En primer lugar, se menciona que en el ciclo ideal, el refrigerante sale del evaporador y entra al compresor como vapor saturado. Sin embargo, en la práctica, no es posible controlar el estado del refrigerante con tanta precisión. En lugar de eso, es fácil diseñar el sistema de modo que el refrigerante se sobrecaliente ligeramente en la entrada del compresor. Este ligero sobrecalentamiento asegura que el refrigerante se evapore por completo cuando entra al compresor. También, la línea que conecta al evaporador con el compresor suele ser muy larga; por lo tanto, la caída de presión ocasionada por la fricción del fluido y la transferencia de calor de los alrededores al refrigerante pueden ser muy significativas.

El resultado del sobrecalentamiento, de la ganancia de calor en la línea de conexión y las caídas de presión en el evaporador y la línea de conexión, consiste en un incremento en el volumen específico y, por consiguiente, en un incremento en los requerimientos de entrada de potencia al compresor puesto que el trabajo de flujo estacionario es proporcional al volumen específico.

El proceso de compresión en el ciclo ideal es internamente reversible y adiabático y, por ende, isentrópico. Sin embargo, el proceso de compresión real incluirá efectos de fricción, los cuales incrementan la entropía y la transferencia de calor, lo que puede aumentar o disminuir la entropía, dependiendo de la dirección. Por consiguiente, la entropía del refrigerante puede incrementarse (proceso 1-2) o disminuir (proceso 1-2) durante un proceso de compresión real, dependiendo del predominio de los efectos. El proceso de compresión 1-2 puede ser incluso más deseable que el proceso de compresión isentrópico debido a que el volumen específico del refrigerante y, por consiguiente, el requerimiento de entrada de trabajo son más pequeños en este caso. De ese modo, el refrigerante debe enfriarse durante el proceso de compresión siempre que sea práctico y económico hacerlo.

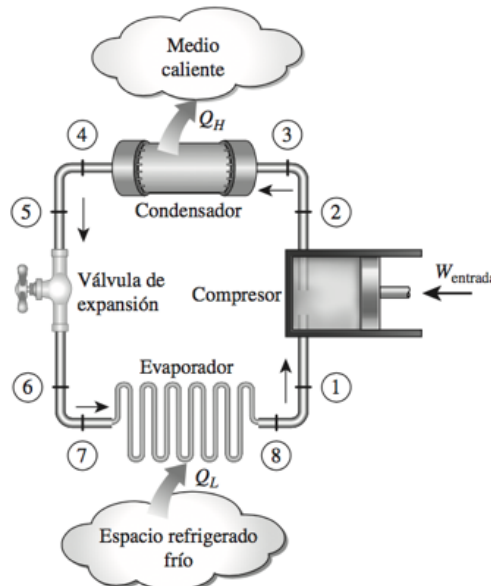


Figura 2.6: Esquema ciclo de refrigeración. Cengel y Boles (2012)

En el caso ideal, se supone que el refrigerante sale del condensador como líquido saturado a la presión de salida del compresor. En realidad, es inevitable tener cierta caída de presión en el condensador, así como en las líneas que lo conectan con el compresor y la válvula de estrangulamiento. Además, no es fácil ejecutar

el proceso de condensación con tal precisión como para que el refrigerante sea un líquido saturado al final, y es indeseable enviar el refrigerante a la válvula de estrangulamiento antes de que se condense por completo. En consecuencia, el refrigerante se subenfía un poco antes de que entre a la válvula de estrangulamiento. A pesar de todo esto, se debe tener en mente dado que el refrigerante entra al evaporador con una entalpía inferior y por ello puede absorber más calor del espacio refrigerado. La válvula de estrangulamiento y el evaporador se localizan muy cerca el uno del otro, de modo que la caída de presión en la línea de conexión es pequeña. (Cengel y Boles, 2012)

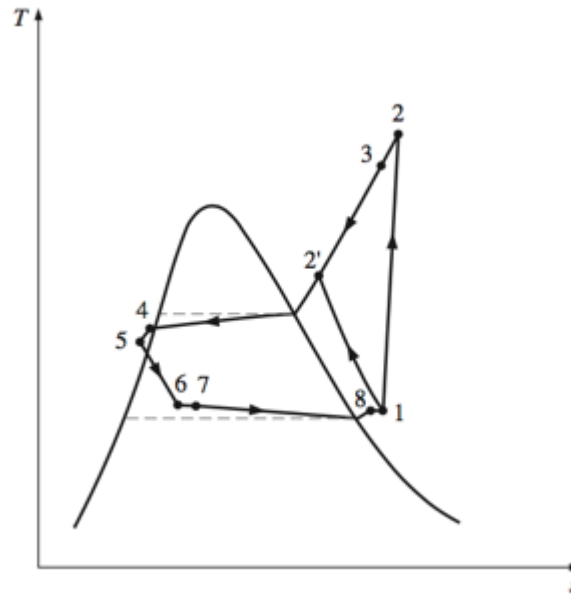


Figura 2.7: Diagrama T-s de un ciclo de refrigeración. Cengel y Boles (2012)

Ya con esta primera información, es posible analizar el proceso más importante de una planta frigorífica, en particular para una planta que congela y exporta jibia, pero para poder encontrar el consumo teórico del proceso, es necesario detallar aún más el proceso de refrigeración, incluyendo los subprocesos.

2.5.2. Medición Transferencia de Calor Proceso de Refrigeración

Para mantener fría una cámara y todo lo que contiene, es necesario extraer el calor inicial y después el que pueda ir entrando en la cámara, por bien aislada que esté.

El requerimiento total de refrigeración puede establecerse como se ve en la ecuación (2.1):

$$Q_t = Q_{\text{Productos}} + Q_{\text{Otras Fuentes}} \quad (2.1)$$

Donde, la cantidad de energía total de una instalación frigorífica es la cantidad de calorías que deben extraerse a fin de mantener la temperatura deseada en la cámara a enfriar. Dicha cifra procede del total de calor que entra en el espacio a refrigerar.

Estas cámaras también llamados túneles de congelación, sirven para congelar el producto una vez tratado por el personal de la empresa.

La cantidad de túneles, se han de calcular según las necesidades de la demanda de Jibia, ya que, cada túnel tiene una capacidad máxima, donde además el proceso de refrigeración toma un determinado tiempo.

Los factores a considerar son los que a continuación se detallan:

1. Pérdida a través de las paredes.

La cantidad de calor por pérdidas a través de las paredes depende de tres factores:

-Superficie total exterior del recinto.

-Aislamiento empleado.

-Diferencia de temperaturas entre la temperatura que hay en el exterior y la temperatura que se quiere obtener en el interior.

Como es natural, cuanto mayor sea la superficie total exterior, mayor será la cantidad de calor que deberá extraerse. Cuanto mejor sea el aislamiento y mayor espesor, menores serán las pérdidas a través del mismo. Otro factor importante es que cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior, mayor cantidad de calor habrá que extraer.

2-Aire exterior.

La aireación de la cámara es necesaria, esta ventilación se produce por la frecuencia de aperturas de las puertas para la entrada y salida de producto de la misma, pero a veces esto no es suficiente, así que se debería dotar a las cámaras de sistemas de ventilación forzada complementarios.

3-Calor liberado por motores.

En el interior de una cámara frigorífica existen aportes de calor debido al funcionamiento de los ventiladores de los evaporadores, así como la existencia de máquinas que realicen trabajos de la misma.

Finalmente, obteniendo los valores de estos subprocesos, se debe tener en consideración softwares de simulación en los cuales primero se ve el consumo teórico del proceso, y luego analizar las posibles mejoras. [Devesa y Sellés \(2014\)](#)

2.5.3. Medición Transferencia de Calor Sub Proceso de Transporte

El crecimiento de la población y la demanda de alimentos frescos han contribuido a una demanda para el transporte refrigerado. El transporte refrigerado es importante porque conecta las diversas etapas entre la producción inicial y el consumidor. Además, es necesario para mantener la calidad y prolongar la vida útil de los productos frescos, congelados y perecederos durante el transporte. La temperatura del producto a la cual debe permanecer es en el punto en el que el deterioro metabólico y microbiano es minimizado. [Liu et al. \(2012\)](#)

Es por esto que la rapidez en este proceso es importante, siendo también necesarios variados recursos, los que se constatan en una visita realizada. Los principales recursos utilizados por la empresa son: Camión sin barandas, bines de 1000 lt y hielo que cubre la base y la tapa del bin.

El total de energía que recibe el camión en su recorrido puede establecerse como se ve en la siguiente ecuación (2.2):

$$Q_t = Q_{Radiacin} + Q_{Conveccion} + Q_{OtrasFuentes} \quad (2.2)$$

Como se logra evidenciar, la mayor cantidad de energía recibida proviene en primer lugar de la radiación del ambiente, y en segundo lugar de la convección que se genera con el aire a medida que el camión avanza en su ruta. [Liu et al. \(2013\)](#)

1- Radiación:

A diferencia de la conducción y la convección que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética es independiente de la materia para su propagación, de hecho, la transferencia de energía por radiación es más efectiva en el vacío. [Cengel \(2007\)](#)

La radiación que alcanza la superficie del planeta, depende de la composición de la columna de aire que atraviesa el rayo desde el tope de la atmosfera hasta el suelo. El componente más variable de la atmosfera es el agua, ya sea en forma de vapor o como nubes.

Estos resultados pueden ser mejorados considerablemente cuando se utilizan imágenes satelitales para incorporar la variabilidad de la nubosidad.

Para obtener el valor de la radiación que llega a la zona del transporte de Jibia, se toma como base la radiación solar en superficie con un modelo de transferencia radiativa, esto es, un conjunto de ecuaciones que considera todas las interacciones que tiene un rayo de luz proveniente del sol con los distintos componentes de la atmosfera. Para este cálculo, se considera tanto la radiación solar en cielo despejado, como la interacción de la radiación con los distintos tipos de nubes, cuyas características son estimadas a partir de imágenes del satélite geostacionario GOES EAST, a través de un modelo empirico basado en una red de observaciones locales de irradiancia superficial. [Monje \(2017\)](#)

A continuación se presenta el resultado del modelo de cálculo de radiación para la zona de Valparaíso, donde la radiación recibida se presenta como W por metro cuadrado de terreno.

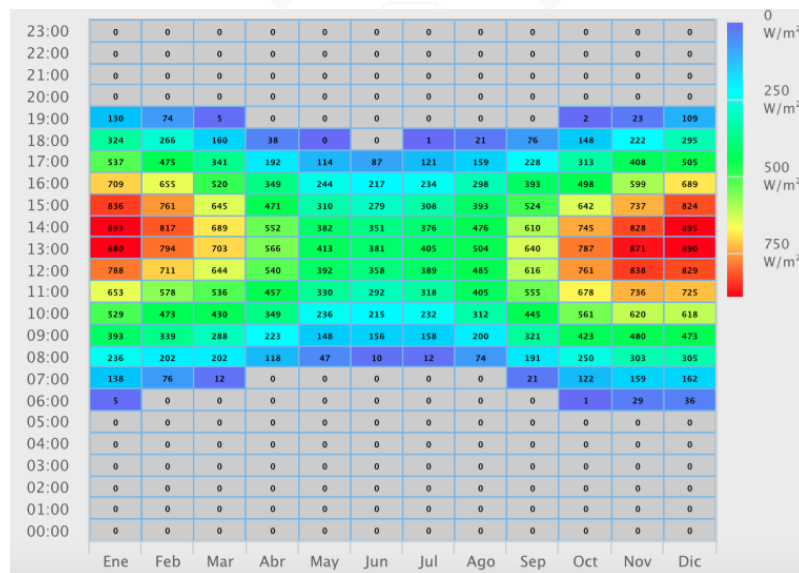


Figura 2.8: Radiación recibida por metro cuadrado en cada hora del día. [Universidad de Chile \(2017\)](#)

2- Convección:

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. [Cengel \(2007\)](#)

La ecuación que representa la transferencia de calor por convección es la siguiente (2.3): :

$$Q_{Conveccion} = h \cdot A_S \cdot (T_S - T_{Ambiente}) \tag{2.3}$$

en donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, en $\frac{W}{m^2 \cdot C}$ As es el area superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección, Ts es la temperatura de la superficie, y T_{Ambiente} es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie. [Cengel \(2007\)](#)

Ya con esto caracterizado, ahora es momento de incorporar estas variables a un modelo de simulación, para lo cual es necesario obtener cuales son las mejores técnicas de simulación que se ajustan a la realidad tanto de la empresa estudiada, como de la información obtenida de las variables detectadas.

2.6. Técnicas de Simulación

Hay una serie de modelos de simulación disponibles de forma gratuita, específicamente diseñados para modelar el comportamiento de los sistemas de refrigeración. Una gran parte, son softwares especializados para sistemas y ciclos de refrigeración, por ejemplo, CoolPack y Pack Calculation. [IPU \(2017\)](#), los cuáles utilizan métodos y correlaciones matemáticas que son, en su mayoría, basados en procedimientos de la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).

[Becker et al. \(2012\)](#) analizaron las capacidades de CoolPack y Pack Calculation para determinar la eficiencia energética de los sistemas de enfriamiento de refrigeración y congelación en función de las temperaturas ambientales. Ellos encontraron que CoolPack no era capaz de simular el rendimiento de un sistema de refrigeración cuya carga varía según las condiciones ambientales y el tiempo. Pack Calculation no puede modelar una carga de refrigeración dependiente de la temperatura de modo que los efectos de los datos meteorológicos sobre la carga de refrigeración en este software deben ser ignorados.

Según el estudio realizado por [Foster et al. \(2016\)](#), se permite a los operadores de frigoríficos y técnicos que prueban los sistemas de refrigeración poder predecir el consumo de energía frigorífica cuando la carga de refrigeración varía de acuerdo a las condiciones climáticas del ambiente o de la demanda, dependiendo de la estacionalidad anual o de otros factores externos propios del mercado mediante la herramienta ICE-E model, el cual funciona a través de Visual Basic Macros en Microsoft Excel.

Con el modelo ya definido, es importante analizar las variables que ingresan al modelo de carga de refrigeración, para así tener claro cuales y como obtener dichas variables o parámetros.

2.7. Variables Generales

Gran parte de los datos importantes de entrada tanto para el modelo de Refrigeración como para el de Transporte, son los que se refieren a datos medioambientales o climatológicos, tal como los que [Foster et al. \(2016\)](#) mencionan en su trabajo.

Se encuentran dentro de estos, la temperatura ambiente, que en este caso es la temperatura de la ciudad de Valparaíso, otro dato de vital importancia es el valor de la radiación que es captada a diferentes horas del día, además de la temperatura del mar desde donde se extrae la Jibia, entre otros.

Es importante mencionar que los datos deben ser obtenidos a lo largo del año, y no solo como un único promedio, debido a los cambios que presentan las variables medioambientales acorde a la estación del año. Esto lleva a que se debe obtener además la demanda de producto que se ingresará a congelar en los mismos periodos de tiempo, para lo cuál será necesario realizar un análisis que entregue la demanda para el año 2017, logrando con esto crear un modelo de carga de refrigeración para cada mes del año.

Las variables extra que servirán para el modelo de transporte, son los costos de combustible, personal o mantenimiento del camión. Para lograr completar este modelo, las distancias desde las distintas caletas al Frigorífico serán necesarias para lograr un análisis de sensibilidad posterior que responda a la pregunta de cuanto es el máximo tiempo de transporte que se permite antes que la Jibia pierda su valor.

Junto con esto, es importante analizar las demás variables que se incluyeron en ambos modelos y que en algunos casos sus valores son en base a supuestos o suposiciones acorde a la industria donde es clave utilizar un análisis de sensibilidad ya sea univariado, multivariado o de Montecarlo que permita ratificar la validez de las suposiciones.

2.7.1. Análisis de Sensibilidad

La importancia del análisis de sensibilidad se manifiesta en el hecho de que los valores de las variables que se han utilizado para llevar a cabo los modelos pueden tener desviaciones con efectos de consideración

en sus resultados, además, el análisis de sensibilidad indicará las variables que más afectan el los resultados entregados por los modelos y cuales son las variables que tienen poca incidencia en el resultado final.

Una conclusión inmediata es que permite decidir acerca de la necesidad de realizar estudios más profundos de esas variables, para así mejorar las estimaciones y reducir el grado de riesgo por error.

Dependiendo del número de variables que sean sensibilizadas simultáneamente, el análisis puede clasificarse como unidimensional o multidimensional.

En el análisis unidimensional, la sensibilización se aplica a una sola variable, mientras que en el multidimensional se examinan los efectos sobre el resultado que se produce por la incorporación de variables simultáneas en dos o más variables relevantes.

Además existe una herramienta que se denomina análisis de tornado, disponible en el software de simulación Crystal Ball. En este análisis sólo se necesita tener las relaciones correctas entre las distintas variables de la hoja de cálculo utilizada en Microsoft Excel, de esta forma Crystal Ball realiza variaciones en estas variables, que oscilan entre un -20 % y un +20 % del valor ingresado. Posteriormente, el programa entrega una figura que muestra las variables que más influyen en primer lugar, dejando al final las que menos aportan al resultado seleccionado para análisis.

Dentro de la sensibilización, es posible aplicar una técnica de simulación de la o las variables que serán sensibilizadas, esta técnica es denominada simulación de Montecarlo, donde un modelo al que se le aplique Montecarlo simula diversos escenarios probables de resultado, dado que asigna de forma aleatoria un valor a cada variable del modelo (Demanda, Costos de electricidad y combustibles, o Variables climatológicas) que posea una distribución de probabilidad ingresada previamente.

Con esto, luego de simular los escenarios, los diferentes resultados caracterizan una cierta distribución de probabilidad.

Para realizar esta simulación se utiliza el software de simulación Crystal Ball de Oracle, quienes además mencionan que uno de los inconvenientes de los modelos convencionales de hojas de cálculo es que solo se puede ingresar un valor en una celda a la vez, pero los valores inciertos que se pueden representar con estimaciones puntuales, estimaciones de rango o escenarios hipotéticos, una hoja de cálculo no permite ingresar un rango o valores múltiples. [Oracle Corporation \(2008\)](#)

Es por esto, que en un modelo convencional, donde una celda, solo puede tener un valor a la vez, calcular un rango requiere que se reemplace el valor incierto varias veces para ver qué efecto tienen los valores mínimo, más probable y máximo, como es el caso del combustible diésel que se usará en el Modelo de Transporte.

Una función de Crystal Ball es solucionar este inconveniente, definiendo esas variables inciertas de una forma completamente nueva: se define la celda con un rango o un conjunto de valores, ya sea ingresando un rango de forma manual, o asignando una distribución de probabilidad.

Por ejemplo, se puede definir la factura de teléfono de la empresa para los próximos meses como cualquier valor entre \$ 2500 y \$ 3750, en lugar de usar una estimación de punto único de \$ 3000. Luego se usa el rango definido en una simulación. [Oracle Corporation \(2008\)](#)



3 | Metodología

Los pasos para abordar la siguiente investigación serán:

3.1. Recopilación de Información de Refrigeración, Transporte y Demanda del Producto

En primer lugar, se procede a la búsqueda de información de desembarques de jibia en cada caleta de la región donde la empresa realiza compra de ésta a los pescadores artesanales. Estas caletas son:

- Caleta El Manzano ubicada en Avenida Altamirano, Valparaíso, Región de Valparaíso, Chile
- Caleta El Membrillo ubicada en Quintero, Región de Valparaíso, Chile
- Caleta Portales ubicada en Avenida España 2351, Valparaíso, Región de Valparaíso, Chile.

Con esto, se solicita la información a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, la que, mediante la ley de transparencia de la República de Chile, acoge lo solicitado y en un plazo de 15 días hábiles se recibe mediante archivo de Microsoft Excel la información de desembarques de Jibia de las caletas de la Región de Valparaíso histórica desde el año 2000 a 2016 por mes del año.

Para obtener los datos que se usaran como parámetros en la siguiente fase, es necesaria una nueva visita al actual frigorífico de la empresa, además de la revisión de manuales de operación de los fabricantes de los diferentes equipos que integran los procesos de refrigeración y transporte.

Los datos obtenidos corresponden a los siguientes tópicos, los que serán especificados posteriormente.

- Parámetros de Temperatura de entrada y salida de la jibia.
- Equipamiento de cada túnel de refrigeración (Evaporador-Condensador-Compresor, entre otros).
- Carga de Jibia Promedio en cada túnel.
- Información de temperatura ambiente alrededor de los túneles de refrigeración.
- Datos de cada Centro de Refrigeración (uno en cada caleta mencionada anteriormente).
- Configuración de equipos utilizados para el transporte de Jibia y producción de hielo.
- Tiempos involucrados en el proceso de refrigeración y transporte.

3.2. Validación y Transformación de la Información

Lo primero es verificar como realiza Microsoft Excel los análisis econométricos para generar pronósticos en base a la demanda obtenida desde la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, para lo cual se

utiliza el módulo de regresión, donde previamente se realiza una inspección gráfica de la serie de tiempo, encontrando que ésta posee estacionalidad en dos de las 3 caletas: Portales y El Manzano, por lo que se realiza un procedimiento que permita pronosticar mediante un modelo de regresión simple el año 2017.

Para esto se utiliza el siguiente complemento:

Figura 3.1: Complemento usado en Microsoft Excel 2016. Fuente: Microsoft Excel 2016

Para identificar la estacionalidad, lo que se realiza es una inspección gráfica, donde se ilustra la extracción mensual de Jibia en cada caleta. Para aclarar, solo se grafican los años en que según la empresa existió una extracción normal del producto, esto significa, sin paralización de actividades, sin fenómenos naturales como marejadas y sin fenómenos anómalos en la temperatura del mar, factor importante para la llegada de la jibia a las costas de Chile.

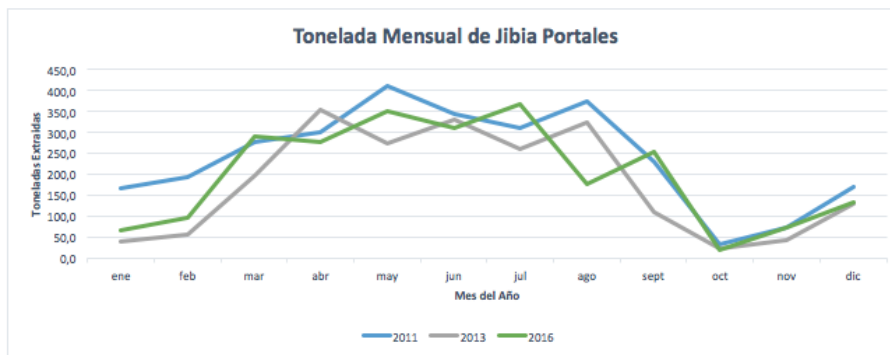


Figura 3.2: Distribución biogeográfica de *Dosidicus gigas*. Fuente: Elaboración Propia

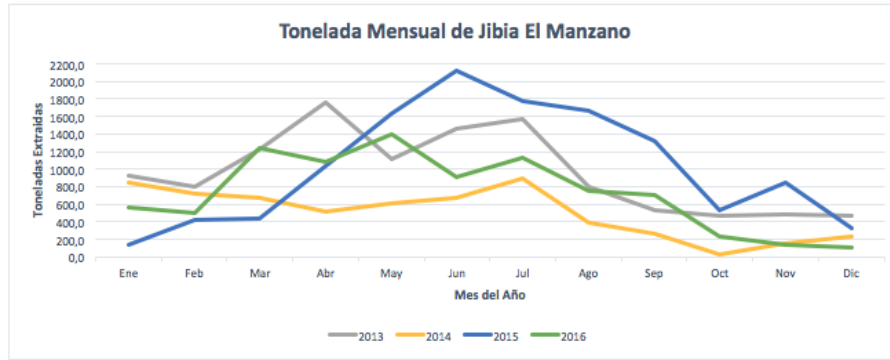


Figura 3.3: Distribución biogeográfica de *Dosidicus gigas*. Fuente: Elaboración Propia

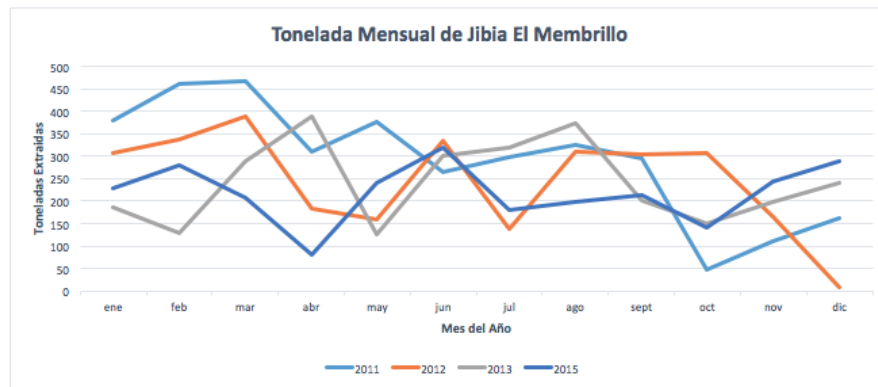


Figura 3.4: Distribución biogeográfica de *Dosidicus gigas*. Fuente: Elaboración Propia

Con estos resultados, se realiza una extracción de la estacionalidad a través de los índices de variación estacional, así se logra eliminar la estacionalidad de la serie para posteriormente realizar el pronóstico con un modelo de regresión lineal simple utilizando el complemento de análisis de datos de Microsoft Excel.

Para aclarar, los índices de variación estacional recogen el incremento o la disminución porcentual que el componente estacional produce en cada estación, en este caso mensual. Es decir, estos coeficientes indican el valor en que aumenta o disminuye la tendencia a causa del componente estacional.

El método usado para determinar estos índices se llama método de razón a promedio móvil y elimina las componentes de tendencia, cíclica e irregular.

Los índices obtenidos por este método se utilizan para ajustar los datos originales con lo que se obtienen los valores desestacionalizados o datos ajustados estacionalmente a partir de las cuales se procede a obtener el pronóstico para los meses del año 2017.

Lo siguiente dice relación con la validación de la información de los procesos de la empresa estudiada. Esta es cotejada en primer lugar con una empresa similar ubicada en Coquimbo, Cuarta Región de Chile, donde se ratifican las temperaturas de entrada y salida del frigorífico además de propiedades físicas y químicas de la jibia.

Los valores validados corresponden a:

Propiedad	Valor
Temperatura Ingreso	15 °C
Temperatura Congelado	-18 °C
Propiedades Físicas	Olor, Textura
Propiedades Químicas	Nitrógeno de trimetilamina

Tabla 3.1: Datos validados con empresa similar. Fuente: Elaboración Propia.

Se entregan antecedentes por parte de la empresa que sirven para caracterizar los componentes utilizados en cada túnel de enfriamiento. Estos parámetros consisten en datos de compresor, del evaporador y del condensador, además del tipo de refrigerante utilizado en el sistema.

Parámetro	Valor
Tipo Compresor	Semi Hermético
Evaporador Utilizado	2 x 5 ventiladores de 1030 W
Condensador Utilizado	3 x 4 ventiladores de 200 W
Refrigerante del Sistema	R22

Tabla 3.2: Parámetros de equipos del proceso de refrigeración. Fuente: Elaboración Propia. [Gonzalez \(2017\)](#)

La información obtenida de transporte consta de los materiales utilizados para el adecuado movimiento de la carga, en este caso se usan 12 bins para realizar el transporte en un camión plano donde los 12 bins van expuestos al sol, pero con una capa superficial de hielo, el que además es puesto en el fondo y en el medio del bin con jibia.

Para obtener un claro valor que involucra el costo del transporte, se utiliza el Índice de Costos del Transporte, donde se obtiene una estructura de costos del transporte por carretera, la cual se obtiene mediante la caracterización de una canasta de bienes y servicios utilizados en el rubro, para esto, se divide en cinco grupos que se presentan en la siguiente figura:

N°	Grupo
1	Combustible
2	Recursos Humanos
3	Otros servicios relativos al equipo de transporte
4	Servicios Financieros
5	Repuestos y accesorios para el funcionamiento y mantención del vehículo

Tabla 3.3: Grupos que considera el ICT para el transporte en carretera. [Instituto Nacional de Estadística de Chile \(2014\)](#)

A continuación se presentan los porcentajes que corresponden a cada grupo para el mes de Septiembre de 2017:

Grupo	Ponderación	Var. % mensual	Var. % acumulada	Var. % 12 meses
Combustibles	36,9	2,7	6,2	12,4
Recursos Humanos	29,8	1,2	4,7	8
Otros Servicios Relativos al Equipo de Transporte	7,7	0	3,5	3,7
Servicios Financieros	10,6	-0,9	-4,6	-6,6
Repuestos y Accesorios para el Funcionamiento y Mantención del Vehículo	15,1	-0,7	-1,8	-2,4

Tabla 3.4: Ponderaciones de la canasta del ICT Septiembre 2017. [Instituto Nacional de Estadística de Chile \(2017\)](#)

Finalmente, es importante agregar que al momento de ingresar la Jibia al bin, se deposita junto con hielo, este se agrega, dividiendo el bin en dos compartimentos, uno inferior con aproximadamente la mitad

de la Jibia, y otro superior que se cubre igualmente con una capa de hielo, la que finalmente es expuesta al ambiente.

El hielo utilizado, es producido en la misma caleta desde la que se compra la Jibia, para esto se utiliza una máquina que produce hielo en escamas, donde, se producen alrededor de tres toneladas al día y su costo será incluido en el modelo general a realizar.

Las especificaciones técnicas de la máquina se obtuvo de la siguiente tabla obtenida desde un proveedor de este tipo de activo. ¹

Capacidad (Ton/Día)	Consumo Eléctrico (kW)	Peso Operativo (kg)	Refrigerante	Modelo Máquina
3	8,94	950	R22/R404A	FIM-30K
4	13,89	1000	R22/R404A	FIM-40K
5	17,72	1250	R22/R404A	FIM-50K
6	20,25	1400	R22/R404A	FIM-60K
8	25,55	1800	R22/R404A	FIM-80K
10	34,31	2200	R22/R404A	FIM-100K
15	49,35	3200	R22/R404A	FIM-150K
20	60,41	3600	R22/R404A	FIM-200K

Tabla 3.5: Especificaciones técnicas máquina de hielo. Fuente: China Ice Machine

Y las especificaciones técnicas utilizadas del bin son las siguientes: ²

Capacidad (l)	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Aplicación
1000	1,22	1,08	1,2	Almacenaje en Frío y General

Tabla 3.6: Especificaciones técnicas del bin de transporte. Fuente: Amerplast

3.3. Parametrización del Modelo de Refrigeración

Al realizar el modelo de consumo de energía del Frigorífico, se realiza en paralelo con el de los Centros de Refrigeración, esto debido a que Foster et al. (2016) en su trabajo realiza el modelo de carga de refrigeración por túnel, por esto, en este apartado se explica el modelo a utilizar con los principales supuestos y parámetros aplicados.

Es importante destacar que la suma de las capacidades de los centros de refrigeración es igual a la demanda total del actual frigorífico instalado por la empresa.

Supuestos Principales

a-Cálculos del modelo:

El modelo es de estado estacionario (sin cambios en el tiempo). Por lo tanto, todas las cargas térmicas se promedian en un día.

b-Geometría:

La forma de la cámara frigorífica es una caja rectangular.

c-Infiltración:

Solo hay 1 puerta y la cámara frigorífica está completamente sellada.

¹<http://www.chinaicemachine.com/flake-ice-machine/small>

²<http://2016.amerplast.cl/bins-y-contenedores/bins-cosecha-1000-litros-detail.html>

La cámara frigorífica tiene suficiente masa térmica para que las aberturas de las puertas no cambien la temperatura en la cámara frigorífica.

La temperatura del ambiente fuera de la cámara frigorífica no se modifica con las aberturas de la puerta.

d-Transmisión:

Solo hay una capa de aislamiento en las paredes, el techo y el piso. Se ignora cualquier revestimiento metálico ya que la resistencia a la transferencia de calor de éste se considera insignificante.

e-Iluminación:

El flujo luminoso (Lumen) de las luces se divide por el área del piso y las paredes para proporcionar una luminancia uniforme (lux). En realidad, habrá más lúmenes cerca de las luces y las sombras de las estanterías, etc. Algunos de los lúmenes iluminarán el techo y algunos serán absorbidos por el producto y los reflectores.

f-Carretillas elevadoras:

Se ignora la masa térmica de los camiones. Por lo tanto, si se mudan de un ambiente cálido a la tienda, no dejan este calor en la tienda. No hay energía de cargar carros de batería entregados a la tienda.

g-Carga del producto:

Cualquier producto que cambie la temperatura cuando se cargue en el reefer no tiene una carga latente (por ejemplo, congelación y descongelación) solo una carga sensible.

Además, se incluye la respiración para todos los productos de vegetales y frutas por encima de 0 ° C.

Principales Parámetros Utilizados

a- Coeficiente de transferencia de calor superficial dentro y fuera de la cámara frigorífica = $9.3 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Si existe viento, el coeficiente de transferencia de calor superficial fuera del almacenamiento en frío aumenta a $34 \frac{W}{m^2 \cdot K}$.

b- Aislamiento de las paredes del reefer a utilizar:

Aislamiento	Conductividad térmica (W / mK)
Espuma de poliestireno	0,036
Espuma de poliuretano	0,024
Lana de vidrio / mineral	0,044
Hormigón	1,1
Tablero de corcho	0,043
Poliisocianurato	0,027
Panel de aislamiento de vacío (VIP)	0,005

Tabla 3.7: Tipos de aislamientos que se pueden ingresar al modelo de Foster et al. (2016)

c. La asignación para el efecto solar (radiación solar) se toma de ASHRAE Refrigeration Handbook. Estos valores, que se muestran en la tabla a continuación, están en ° C y se agregan a la temperatura ambiente para permitir el aumento de la temperatura de la superficie debido al sol.

Tipo de superficie	Muro Este y Oeste	Muro Sur	Tejado Plano
Espuma de poliestireno	5	3	11
Espuma de poliuretano	4	3	9
Panel de aislamiento de vacío (VIP)	3	2	5

Tabla 3.8: Grados de temperatura agregados por radiación Solar. Fuente: (Foster et al., 2016)

d-Eficacia de la protección de las puertas:

Tráfico	Cortina Plástica	Sin Protección	Cortina de Aire
Bajo	0,92	0	0,71
Medio	0,77	0,28	0,7
Alto	0,62	0,56	0,69

Tabla 3.9: Eficiencia protección con diferentes tipo de puerta. Foster et al. (2016)

e-Eficiencia del Descongelador del túnel:

Tipo	Eficiencia
Electrico	0,4
Gas	0,45
Off-Cycle	1

Tabla 3.10: Tipo de descongelador disponibles en el modelo. Foster et al. (2016)

f- Potencia de elevadoras horquillas, en Watt.

Tamaño	Eléctrico	Combustión Interna
Pequeño	1000	14000
Mediano	5000	22000
Largo	6000	44000

Tabla 3.11: Potencia utilizada por elevadores en modelo de Foster et al. (2016)

g- Personal

La carga de calor debida a las personas se toma de ASHRAE Refrigeration Handbook.

$$Q_p = (273 - 6 \cdot T) \cdot 1,25 \quad (3.1)$$

Donde T es la temperatura del punto de referencia de almacenamiento en frío.

La carga de calor se ha ajustado (factor de 1,25) para permitir que el personal entre y salga cada pocos minutos, lo que da una mayor carga de calor que cuando están en el sitio por un largo tiempo. La carga latente del personal ha sido ignorada.

h- Otros parámetros

-Presión atmosférica = 1.01 bar

-Humedad relativa dentro del almacén frío = 90

i- Parámetros de refrigeración

La potencia del compresor se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$E_{compresor} = \frac{Q \cdot (T_c - T_e)}{(273 + T_e) * (1 - \alpha \cdot x)^n \cdot \mu_c} \quad (3.2)$$

Donde:

Q es la carga de calor total en el almacén frigorífico (W)

Tc es la temperatura de condensación (° C)

Te es la temperatura de evaporación (° C)

α es el coeficiente de refrigeración

x es la vaporización fraccionada

n es el coeficiente de la etapa

μ_c es la eficiencia isentrópica del compresor.

Diferencia entre el aire y la temperatura de condensación = 15 ° C

Diferencia entre el aire y la temperatura de evaporación = 7 ° C

Nivel de subenfriamiento = 2 ° C

Con esto, se está en condiciones de agregar esta información al formulario macros de Microsoft Excel, que se descarga manera gratuita gracias al trabajo realizado por Foster et al. (2016). Éste puede ser descargado desde ³

El modelo utilizado posee la siguiente estructura:

Wall Orientation	Surface area (m²)	Shaded from the sun?	Temperature on the outside (°C)	Colour of external wall
North wall	26,0	Not shaded	17,2	Dark
East wall	10,4	Not shaded	17,2	Dark
West wall	10,4	Not shaded	17,2	Dark
South wall	26,0	Not shaded	17,2	Dark

Parameter	Value
Weather	windy (24 km/h)
Type of wall insulation	Polyurethane foam
Thickness of wall insulation	35 mm
Type of floor insulation	Vacuum insulation panel (VIP)
Thickness of floor insulation	100 mm
Type of roof insulation	Polyurethane foam
Thickness of roof insulation	35 mm
Heat loads	
Fork lifts	
Number	0
Size	Small
Power source	internal combustion
Operation time	0 h/day
Lights	
Operation time	0 h/day
Lux	100 lm/m²
Efficacy	10 lm/W

Figura 3.5: Formato Modelo Carga Refrigeración parte 1. Fuente: Foster et al. (2016)

³<http://www.khlim-inet.be/drupalice/models>

Roof/ceiling Ceiling surface area Shaded from the sun? Temperature above roof insulation Colour of the roof	40,0 m ² Not shaded 17,2 °C Dark		Personnel Number Average time each person in room Are personnel in for short or long time?	4 0,1 h/day short
Floor Surface area Temperature under floor insulation Floor heating average power	40,0 m ² 12 °C 0 W		Product Mass loaded Temperature when loaded Total mass in store Type Weight loss	20000 kg/day 14 °C 20000 kg Shrimp 0 kg/day
Door Width of the door Height of the door Temperature outside the door RH outside of the door Number of door openings per day Duration of each door opening Volume of traffic passing through the door whilst it is open Door protection Door seal condition	2 m 2 m 12 °C 80 % 1 300 s Low no protection good		Defrosts Type Evaporator fans Number Shaft power of each fan Motors inside refrigerated space? Motor efficiency	Electric 10 1000 W no 60 %

Figura 3.6: Formato Modelo Carga Refrigeración parte 2. Fuente: Foster et al. (2016)

Refrigeration Store temperature Refrigerant Type of condenser RH into the condenser Air temperature into the condenser Number of compression, expansion stages Isentropic efficiency of compressor	-18 °C R22 air cooled 80 % 17,2 °C 1,1 medium (0.6)	Condenser fans Number Shaft power of each fan Motor efficiency Other heat loads Average power	12 1000 W 60 % 0 W
--	---	--	-----------------------------

Figura 3.7: Formato Modelo Carga Refrigeración parte 3. Fuente: Foster et al. (2016)

3.4. Parametrización del Modelo de Transporte

Para el primer punto se identifican en Google Maps las caletas y el frigorífico mediante su respectiva dirección. Con esto, se generan las rutas por las cuales sería posible el transporte de la Jibia hacia el frigorífico, las que son cotejadas con personal de la empresa.

Para el segundo punto, donde se busca modelar el aumento de temperatura de la Jibia durante el transporte, se realiza un análisis de los métodos de transferencia de calor que afectan al transporte por carretera, donde además Liu et al. (2013) considera a la Convección dentro los mecanismos que más afectan. Adicionalmente a esto, se considera la Radiación, debido a que los bins con jibia están expuestos al sol y no dentro de un camión refrigerado, por ejemplo.

Cálculo de Transferencia de Calor por Convección

Cuando se hacen cálculos de transferencia de calor por convección, es bueno tener en cuenta que estimar valores para los coeficientes no es una ciencia exacta, por esto, el valor de un coeficiente de transferencia de calor por convección depende de la configuración física así como también sobre varias propiedades del fluido involucrado.

Las correlaciones empíricas están disponibles para estimar los coeficientes de transferencia de calor para una variedad de configuraciones tanto de la forma física de los cuerpos, como del tipo de convección, ya sea forzada o no. Bengston (2015)

Estas correlaciones se expresan típicamente en términos de números adimensionales, donde los utilizados en la transferencia de calor por convección forzada son:

- Número de Nusselt (Nu)
- Número de Prandtl (Pr)
- Número de Reynolds (Re)

El coeficiente de transferencia de calor, h , aparece en el número de Nusselt, por lo que las correlaciones son típicamente en forma de una ecuación para Nu en términos de Re y Pr . [Bengston \(2015\)](#)

Las correlaciones utilizadas son las siguientes:

$$Nu = \frac{h \cdot D}{K} \quad (3.3)$$

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu \cdot C_p}{k} \quad (3.4)$$

$$Re = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} \quad (3.5)$$

Los parámetros utilizados en estas ecuaciones son los siguientes:

k es la conductividad térmica del fluido en $\frac{kJ}{hr \cdot m \cdot k}$ (S.I.)

D es un parámetro de longitud característica, tal como el diámetro para el flujo a través de un tubo o el flujo alrededor de un cilindro circular en m (S.I.)

V es una velocidad característica, como la velocidad promedio para el flujo de tubería en $\frac{m}{s}$ (S.I.)

ρ es la densidad del fluido en $\frac{kg}{m^3}$ (S.I.)

μ es la viscosidad del fluido en $\frac{N \cdot s}{m^2}$ (S.I.)

C_p es la capacidad de calor del fluido en $\frac{kJ}{kg \cdot k}$ (S.I.)

Donde (S.I.) es el Sistema Internacional de medición.

Las ecuaciones para coeficientes de transferencia de calor por convección forzada en flujo de fluido paralelo a una placa plana, se puede obtener teniendo en cuenta el flujo de la capa límite adyacente a la placa.

El flujo de la capa límite laminar y el flujo de la capa límite turbulenta se considerarán por separado, como se puede apreciar en la siguiente figura:

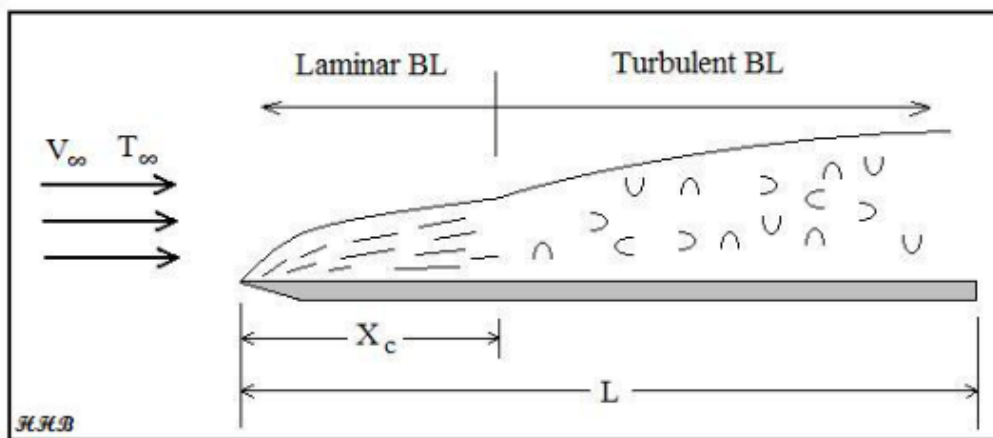


Figura 3.8: Modelo de figura a utilizar. Fuente: [Bengston \(2015\)](#)

Para el modelo utilizado en el transporte de la jibia, se toma como supuesto, que todo el flujo de aire será turbulento, por lo tanto, la correlación del Nusselt será para un flujo de capa límite completamente turbulenta.

Es así, que ? muestran la derivación de la siguiente correlación para el flujo de la capa límite turbulenta sobre una placa plana:

$$Nu_L = \frac{h \cdot L}{k} = (0,037 \cdot Re_L^{4/5} - A) \cdot Pr^{1/3} \quad (3.6)$$

$$A = 0,037 \cdot Re_{x,c}^{4/5} - 0,664 \cdot Re_{x,c}^{1/2} \quad (3.7)$$

Donde:

$$0,6 > Pr < 0,8$$

$$Re_{x,c} < Re_L < 10^8$$

El número de Reynolds para un flujo paralelo a una placa plana es definido como:

L es la longitud de la placa en la dirección del flujo.

V es la velocidad de aproximación al fluido.

La longitud crítica, X_c , es el término utilizado para la distancia desde el borde de ataque de la placa plana hasta el punto en que el flujo en la capa límite cambia de laminar a turbulento.

Nuevamente, se asumió un flujo completamente turbulento, por lo tanto, la longitud crítica X_c es cero.

Cálculo de Transferencia de Calor por Radiación

Para esto se utiliza la información del explorador solar de [Universidad de Chile \(2017\)](#), donde el parámetro a utilizar se encuentra presentado de manera directa en $\frac{W}{m^2}$, por lo tanto solo se calcula un promedio de la radiación por hora durante 8 horas laborales (8:00 a 16:00).

Los valores se obtienen en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, donde las mediciones son por cada hora del día en los 12 meses del año. Se dispone de datos para todo el año 2016, logrando así calcular un promedio de radiación mensual, con las horas en que la planta realiza sus operaciones.

3.5. Ingreso de los Parámetros Monetarios

Los costos involucrados que son parámetros tanto para el proceso de refrigeración como para el proceso de transporte son los siguientes.

- Costo Electricidad: Se utiliza tarifa por kWh tramo BT2 igual a $\$89 \frac{\$}{kWh}$ ⁴
- Costo Combustible Diesel: Valor por litro igual a: $\$511 \frac{\$}{km}$ ⁵

El segundo paso, donde el trabajo es completar el modelo tanto de Refrigeración, como de Transporte, es importante en primer lugar agregar los parámetros de operación propios de la empresa estudiada, como tiempo de refrigeración, temperatura de extracción de la jibia, o temperatura de la región de Valparaíso.

Parámetros Operacionales

Se debe aclarar que algunos parámetros se consideran constantes durante el año, y otros son investigados en función de la unidad temporal de los datos de la demanda de la empresa, recordando que es la extracción de Jibia de cada caleta por mes.

⁴<https://www.chilquinta.cl/uploads/2012/09/20120902231358-suministro20171001.pdf>

⁵<http://www.bencinaenlinea.cl/web2/buscador.php?region=6>

- Parámetros Operacionales Refrigeración:
 - Parámetros constantes en el tiempo.
 - Tiempo de Operación por cada carga de Jibia en túnel de refrigeración = **17 horas continuadas**.
 - Parámetros mensuales.
 - Temperatura mensual superficie del mar de Valparaíso.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura del mar (°C)	17	18	17	16	15	14	14	13	13	14	15	16

Tabla 3.12: Temperatura mensual mar Valparaíso. Fuente: Climate-Data
6

- Temperatura mensual ciudad de Valparaíso

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura Media (°C)	18,2	17,9	16,8	14,9	13,6	12,2	11,7	12,1	12,8	14,2	15,7	17,2

Tabla 3.13: Promedio mensual temperatura de la ciudad de Valparaíso. Fuente: Weather-Data.
7

- Parámetros Operacionales Transporte:
 - Parámetros constantes en el tiempo.
 - Temperatura de entrada de Jibia en el bin de transporte = **13 °C**.
 - Tiempo de Carga camión = **1 Hora**.
 - Tiempo Descarga Camión = **1 Hora**.
 - Características del Camión:
 - ◇ Rendimiento de Combustible: $3 \frac{km}{l}$.
 - ◇ Largo característico usado en cálculo de transferencia de calor por convección = **7,5 m**.
 - ◇ Velocidad promedio = $50 \frac{km}{hr}$
 - Fabricación de Hielo:
 - ◇ Cantidad de Hielo producida = $3 \frac{ton}{dia}$
 - ◇ Tiempo funcionamiento máquina = **24 horas al día**.
 - Parámetros Mensuales.
 - Radiación solar por metro cuadrado de terreno para la ciudad de Valparaíso durante todo el año.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Radiación ($\frac{W}{m^2}$)	670	656	640	547	417	390	404	470	560	630	664	677

Tabla 3.14: Promedio mensual radiación solar. Fuente: [Universidad de Chile \(2017\)](#)

Al tener los parámetros operacionales, se está en condiciones de generar las relaciones que llevarán el modelo de Transporte y el de Refrigeración a un resultado.

Para esto, y para una menor complejidad, los modelos se realizan de forma paralela y separados, es decir, el Modelo de Refrigeración es calculado de la forma descrita anteriormente, entregando un consumo energético en kWh por cada carga refrigerada y se utilizará como dato en la unificación final del modelo general.

En cambio, el Modelo de Transporte por un lado entrega el porcentaje de hielo derretido en el proceso para mantener la jibia a una temperatura óptima en función del tiempo que se utiliza para el viaje completo, y como derivada de esto, entrega el total de combustible consumido por viaje realizado.

Para calcular el porcentaje de hielo derretido, se asume que este solo se derrite, por lo tanto se usa solo su calor latente, el cual es de $334 \frac{kJ}{kg}$, con esto, todo el calor que recibe la jibia por acción de la convección y radiación es absorbido por la capa superior del bin, la cual está formada por hielo.

Para obtener los kilogramos de hielo derretidos se realiza de la siguiente forma:

$$\text{Kilogramos Hielo Derretido} = \frac{\text{Cantidad Calor Absorbido}}{\text{Calor Latente Hielo}} \quad (3.8)$$

Donde:

La cantidad de calor absorbido es calculada como:

$$\text{Cantidad Calor Absorbido} = \frac{\text{Potencia Total Recibida}}{\text{Tiempo Total Viaje}} [kJ] \quad (3.9)$$

-La Potencia Total Recibida es la suma de la potencia que absorbe cada bin por convección y radiación.

-El Tiempo Total Viaje es la suma de los tiempos de Carga, Descarga y viaje, donde este último depende de la distancia de las caletas al Frigorífico.

Por su parte, la cantidad de combustible consumida por el camión, solo depende de la distancia de viaje, y de la cantidad de viajes realizados que se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Viajes Realizados por mes} = \frac{\text{Demanda Mensual Caleta}_i}{\text{Capacidad Camion}} \quad (3.10)$$

Donde:

- i corresponde a cada una de las caletas.

-Capacidad del Camión = 12 Toneladas o 12 bin completos.

Para calcular la cantidad de combustible, en litros, totales mensuales se realiza la siguiente operación:

$$\text{Cantidad de Litros Consumidos Mes} = \frac{\text{Viajes Realizados Mes} \cdot \text{Distancia Recorrida Viaje}}{\text{Rendimiento Camion}} \quad (3.11)$$

Donde:

-Viajes realizados al mes es el valor obtenido de dividir la demanda mensual por la capacidad del camión. A

-Distancia Recorrida Viaje es la distancia de cada caleta al frigorífico.

Finalmente, se está en condiciones de llevar los resultados de ambos modelos a una relación que ayude a clarificar el impacto del transporte en las operaciones de la empresa estudiada. Esta unidad de medida es monetaria, en pesos chilenos (\$).

El resultado de ambos modelos ahora es transformado a pesos chilenos (\$), para esto, se calculan los costos de cada resultado de los modelos de transporte y refrigeración.

Se utiliza:

Costo Refrigeración:

$$\text{Costo Refrigeracion} = \text{Energia Requerida} \cdot \text{Costo Electricidad} \quad (3.12)$$

Costo Transporte:

$$\text{Costo Transporte} = \text{Cantidad litros Consumidos} \cdot \text{Costo Combustible Diesel} \quad (3.13)$$

Es importante mencionar que mediante el cálculo visto con el Índice de Costos del Transporte (ICT), se obtiene el costo total involucrado en transporte, considerando además del combustible costos de mantención y personal contratado.

Costo Fabricación Hielo:

$$\text{Costo Produccion Hielo} = \text{Potencia Maquina Hielo} \cdot \text{Costo Electricidad} \cdot \text{TiempoFuncionamientoMaquina} \quad (3.14)$$

Donde:

Potencia que corresponde a la máquina de hielo que produce 3 Toneladas diarias es de 8,9 kWh y mantiene funcionamiento 24 horas al día.

Con esto, se está en condiciones de obtener los costos de Refrigeración, Transporte y Producción de Hielo por cada mes del año 2017 generando así la unificación en un costo total anual bajo la opción actual de funcionamiento de la empresa estudiada.

3.6. Análisis de Sensibilidad de las Variables Involucradas

El siguiente paso consiste en realizar una sensibilización de variables para determinar cuál o cuáles de estas tienen un mayor impacto en el costo total, o dicho de otra forma se busca determinar qué variables afectan en mayor medida al modelo general de refrigeración y transporte.

Para esto se utiliza otra herramienta de Crystal Ball, denominada análisis de tornado 3.9, donde toma todas las variables y parámetros relacionados en un modelo, realiza variaciones de estos y luego los ordena de mayor a menor dependiendo del impacto en el resultado que se quiere analizar.

El método utilizado por esta herramienta es que a cada variable seleccionada realiza un aumento y una disminución de su valor, donde el usuario elige entre un cierto porcentaje o un cierto valor.

A continuación, se muestra la pantalla inicial de esta herramienta.

Además se realizó una sensibilización utilizando esta herramienta de análisis con el modelo de refrigeración, para así obtener que variables y/o parámetros utilizados en la configuración de éste son las que más afectan, para así lograr tener mayor claridad de este tipo de proceso.

Para el paso del análisis del radio crítico de transporte se utiliza una sensibilización univariada cuyo objetivo es determinar la distancia máxima entre una caleta y el centro de refrigeración.

Esto lo que se realiza es variar la distancia desde la caleta al frigorífico de tal manera que el hielo que cubre el bin sea derretido en 100 %, lo que no se varía es la velocidad promedio del camión.

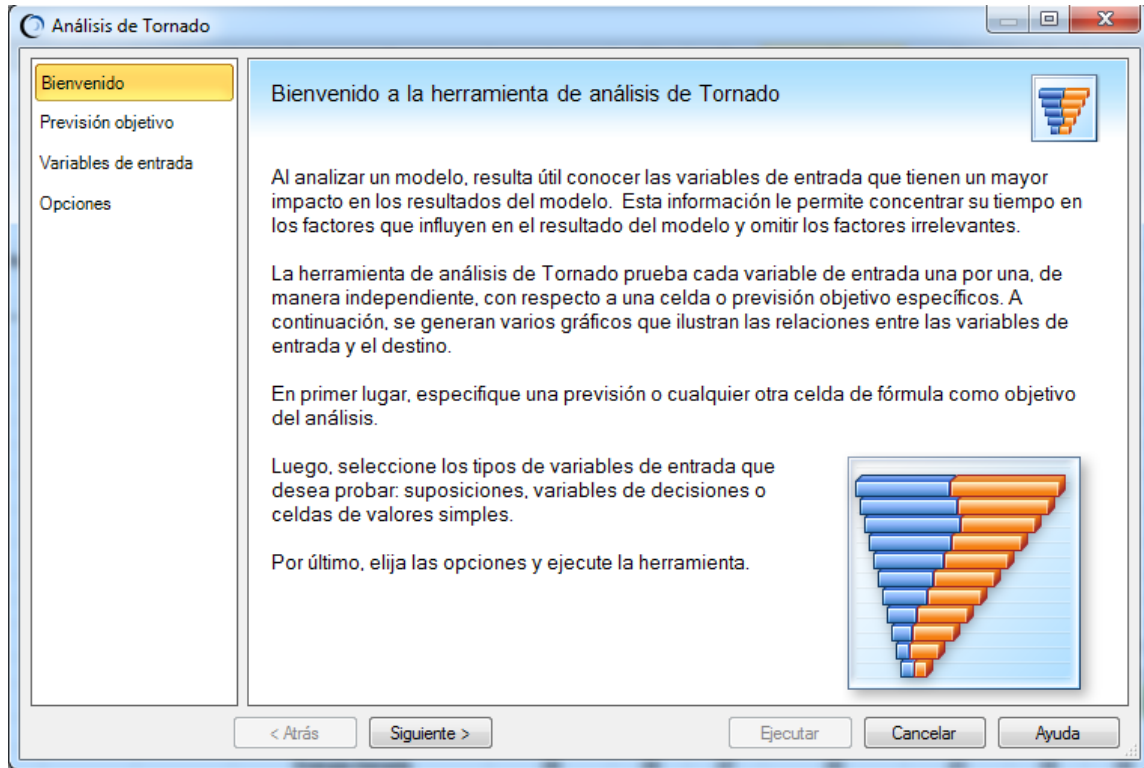


Figura 3.9: Pantalla Inicial Análisis Tornado. Fuente: Crystal Ball

Un alcance a considerar, al realizar la variación de la distancia indudablemente varía también el tiempo, es por esto que este análisis entrega dos variables que se vinculan con la velocidad. En primer lugar, la distancia propiamente tal, y en segundo lugar el tiempo, que aunque está directamente relacionado con la distancia también es posible determinar un tiempo máximo de transporte producto de, por ejemplo, congestión vehicular, lo que hace que se demore más de lo que se esperaría tomando en cuenta solo distancia y velocidad.

Finalmente, con este punto terminado, se buscará aclarar si la empresa debe funcionar con Centros de Refrigeración en las caletas, lo que significa no utilizar ni transporte ni hielo para enviar a procesar al frigorífico, obteniendo como respuesta si es posible o atractivo desde el punto de vista financiero.

En el siguiente paso, se busca validar el modelo general de refrigeración y transporte, esto, para asegurar que al utilizar variables y parámetros que fueron supuestos o que poseen cierta variabilidad como los tiempos de carga y descarga o la misma temperatura ambiente se cuente con un resultado confiable.

Para realizar esto, se utiliza el software Crystal Ball de Oracle, específicamente la simulación de escenarios mediante un método de muestreo aleatorio denominado Montecarlo.

En este tipo de simulación es necesario suministrar las distribuciones de probabilidad de las variables que serán sensibilizada, donde para esto se toman distribuciones que en su mayoría se seleccionan mediante sugerencias entregadas por el software a través de una lista de fenómenos en los que se utiliza cada distribución, un ejemplo de esto se observa en la siguiente imagen 3.10 . Los parámetros de estas son obtenidos bajo criterios vistos en los manuales del programa.

Descripción de Normal:

La distribución normal describe diferentes fenómenos naturales, como el cociente de inteligencia, la altura de las personas, la tasa de inflación o los errores de medida. Se trata de una distribución de probabilidad continua.

Los parámetros para la distribución normal son la media y la desviación estándar.

Figura 3.10: Descripciones distribución de probabilidad. Fuente: Crystal Ball

A continuación, se presentan todas las distribuciones de probabilidad que se pueden elegir en Crystal Ball, ya sean de carácter continuo o discreto. 3.11

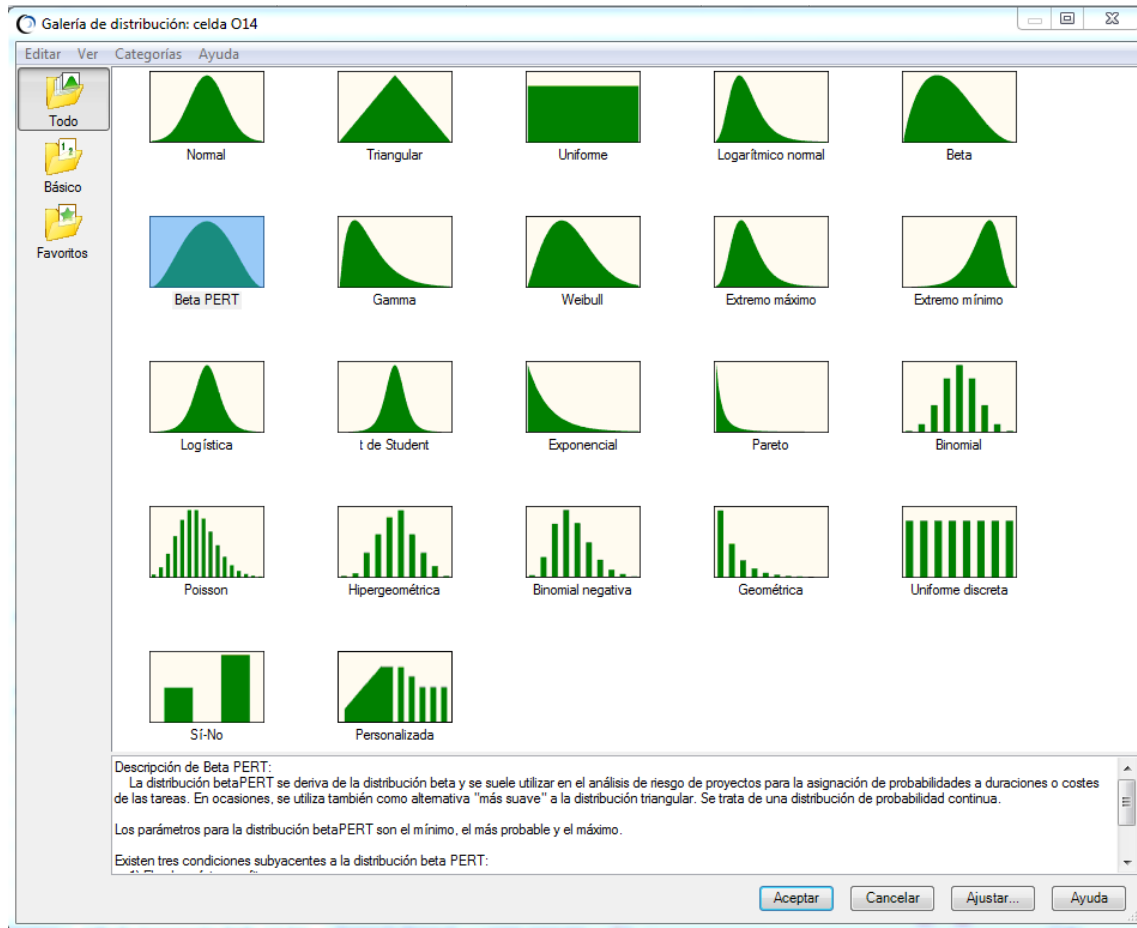


Figura 3.11: Distribuciones de Probabilidad Disponibles. Fuente: Crystal Ball

Además, se presenta a modo de ejemplo la distribución utilizada para modelar el costo del combustible 3.12, ya que, el valor elegido en el modelo es un promedio de la región, pero en realidad como no se sabe en qué estación de servicio cargará combustible el vehículo, se escogen mediante los valores consultados un valor promedio, un valor máximo y un valor mínimo.

De la misma forma se escogen distribuciones de probabilidad de otras variables y parámetros utilizados en el modelo general.

Estos son:

- Costo combustible diesel.
- Tiempo de carga de la Jibia.
- Tiempo de descarga de la Jibia.
- Velocidad del camión en la ruta.
- Temperatura del mar.
- Demanda de Jibia.

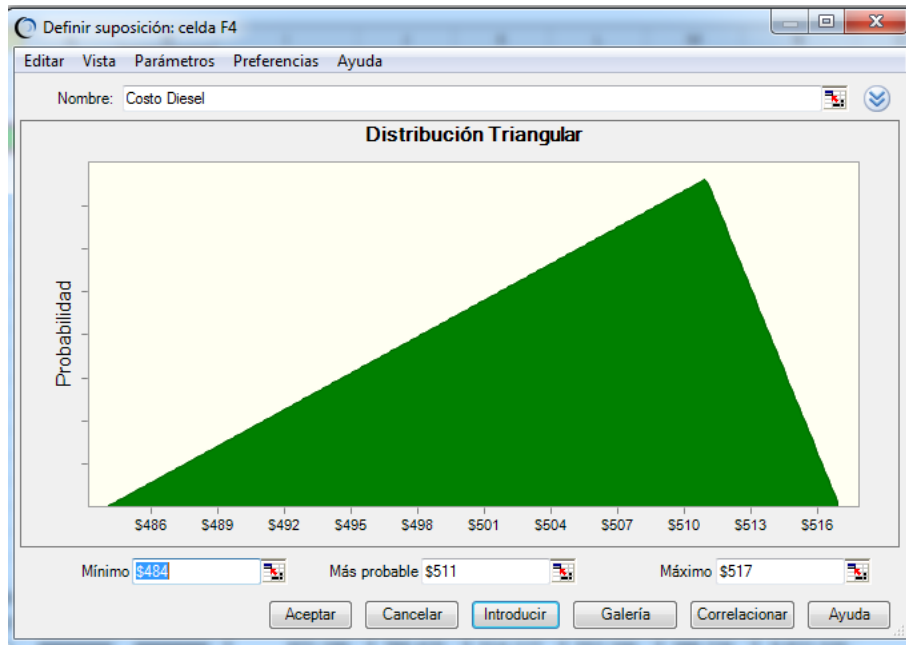


Figura 3.12: Distribución de Probabilidad Costo Combustible Diesel. Fuente: Elaboración Propia

Para revisar la totalidad de distribuciones de probabilidad utilizadas en la simulación, revisar sección Distribuciones de Probabilidad en Anexos.A

Para terminar la simulación solo basta asignar la variable que será sensibilizada, en este caso será el costo total del año, que involucra el costo del transporte, de refrigeración y de fabricación de hielo.

La simulación es realizada bajo 100.000 escenarios posibles, entregando una distribución o comportamiento del costo total para el año.

El programa comienza a realizar el proceso de simulación, el cual en un computador con las siguientes especificaciones técnicas demora alrededor de 2 minutos utilizando la última versión disponible del software Crystal Ball.

- Procesador Core i5 de Intel de doble núcleo a 2,5 GHz (Turbo Boost de hasta 3,1 GHz) con 3 MB de caché de nivel 3⁸
- Memoria RAM de 8 GB de memoria DDR3 a 1.600 MHz
- Video HD Graphics 4000 de Intel

⁸https://support.apple.com/kb/SP649?locale=es_ES&viewlocale=es_ES



4 | Resultados

En el siguiente capítulo se entregan los principales resultados obtenidos luego de realizado todos los pasos descritos en el capítulo anterior.

4.1. Análisis Consumo Energético de Refrigeración

En primer lugar, el consumo de energía que es utilizado en el proceso de refrigeración para lograr la congelación del producto por túnel de congelamiento es la siguiente:

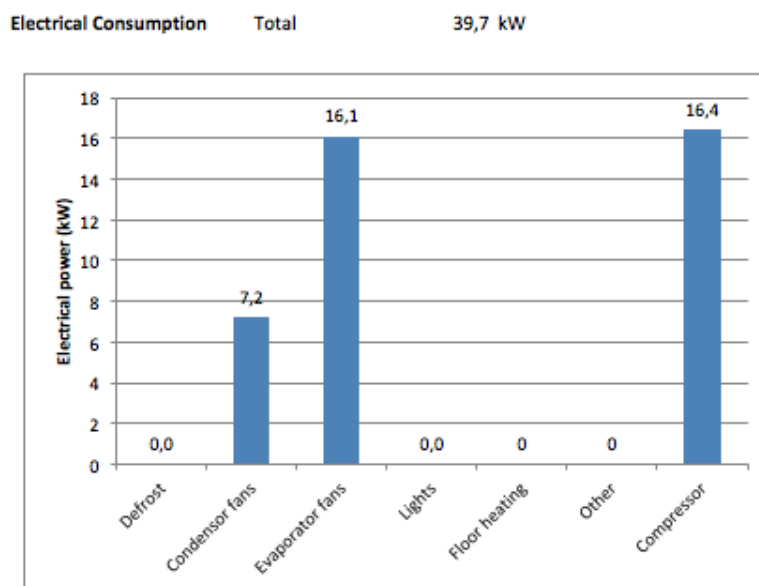


Figura 4.1: Consumo Energético por Túnel. Fuente: Elaboración Propia

Con el gráfico 4.1 se observa el consumo de los componentes del sistema de refrigeración (Evaporador, Condensador, Compresor), donde se puede observar que el gran consumidor de energía eléctrica es el evaporador, debido a la cantidad de evaporadores, que tienen un diámetro de 600 mm, siendo este uno de los mayores diámetros comercializados.⁹

Además muestra la cantidad total de energía necesaria para lograr congelar la Jibia bajo los parámetros de temperatura descritos anteriormente, donde por cada carga de 12.000 kg, que es lo mismo que decir un reefer (túnel) completo, se consumen 39,7 kw, lo que debe ser luego multiplicado por el tiempo necesario para completar el proceso.

⁹<http://www.frimetal.es/>

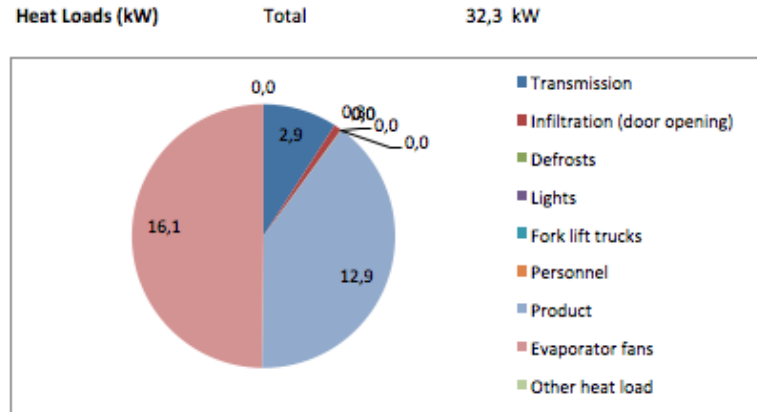


Figura 4.2: Consumo Energético por Túnel. Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 4.2 se observa como se comportan las cargas de refrigeración en el sistema, donde es importante destacar que la carga de los ventiladores del evaporador es por la instalación de estos dentro del reefer. La carga que aporta el producto propiamente tal es el segundo aporte mas importante, lo que, resume que entre los ventiladores y el producto se genera prácticamente la demanda energética total.

Un punto importante a revisar es lo que se presenta en el gráfico 4.3, donde se observa que por efecto del cambio de estación del año, en el periodo de invierno se tiene un menor gasto en energía, lo que es influenciado por las menores temperaturas ambientales diarias, una menor radiación y una menor temperatura del agua del mar, lo que se traduce en un menor tiempo de operación para lograr congelar el producto.

La carga por túnel, cada mes del año se presenta a continuación:



Figura 4.3: Consumo Energético por Túnel en cada mes del año. Fuente: Elaboración Propia

4.2. Demanda proyectada año 2017

Lo siguiente es analizar la proyección de la demanda en cada caleta, en el gráfico 4.4 se observa que en los meses de invierno es donde mayor demanda del frigorífico se tiene, debido a que las tres caletas incrementan la extracción de Jibia durante las estaciones de otoño y mediados del invierno.

Además es importante destacar que la caleta El Manzano, ubicada en Quintero, es la caleta que mas producto provee al frigorífico de la empresa, este hecho se debe tener en cuenta dado que un cambio en el

proceso de refrigeración mas transporte del producto en de este lugar generará impactos importantes en los costos totales de la empresa.

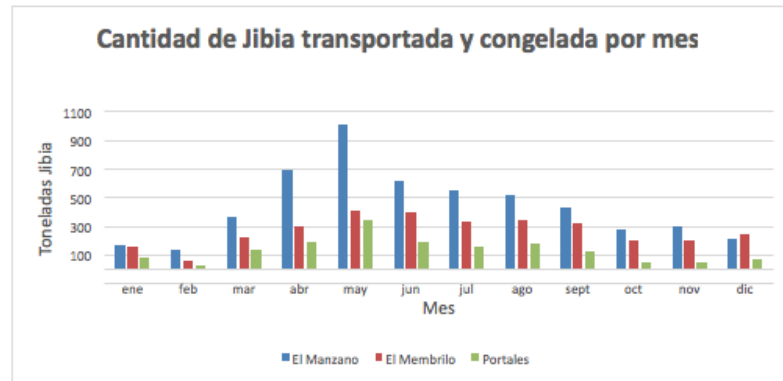


Figura 4.4: Cantidad de Jibia procesada por mes . Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 4.5 se presenta la cantidad de viajes realizados al mes para transportar la Jibia al frigorífico, donde es destacable el hecho que cuando se esta en el periodo de mayor demanda, la cantidad de viajes al día, en promedio, serian de aproximadamente 5-6, lo que, en términos de tiempo exceden las horas de trabajo legal, por lo que, la empresa se ve en la necesidad de contratar personal y recursos extra para que se cumpla con la demanda necesaria.

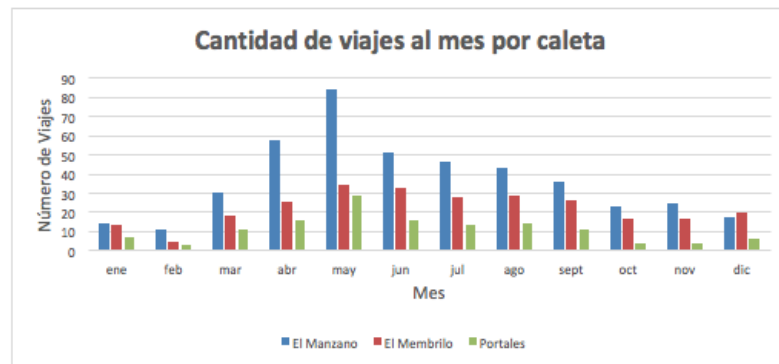


Figura 4.5: Número de viajes transporte Jibia por mes . Fuente: Elaboración Propia

Para mayor detalle consultar tablas de proyección de demanda A.1 y de número de viajes A.2 en anexos.

4.3. Rutas Empleadas por la Empresa

Para el transporte de la Jibia se obtuvieron las siguientes rutas, en las figuras 4.6, 4.7, 4.8, con sus respectivas distancias, recordando que la velocidad promedio del camión durante su recorrido es de $50 \frac{km}{hr}$.

Solo cabe destacar que, a pesar de que, para la caleta El Membrillo existen 3 rutas, donde se elige la que está destacada con color azul al ser ratificada como la ruta que utiliza la empresa.

Con las rutas caracterizadas, se obtuvieron los siguientes resultados del modelo de transporte sobre el método de transferencia de calor que más contribuye al aumento de temperatura de la jibia, los que se presentan en el gráfico 4.9

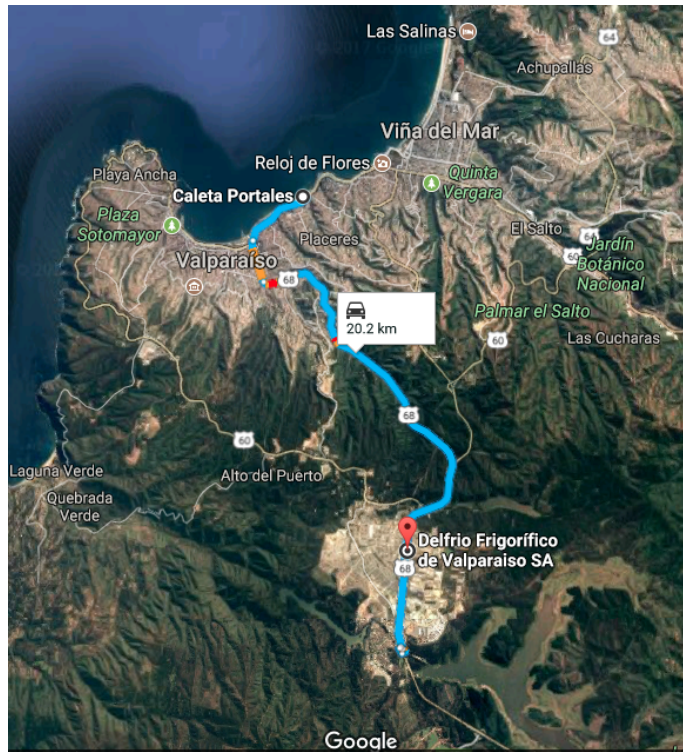


Figura 4.6: Ruta transporte Caleta Portales - Frigorífico. Fuente: <https://www.google.cl/maps>



Figura 4.7: Ruta transporte Caleta El Membrillo - Frigorífico. Fuente: <https://www.google.cl/maps>

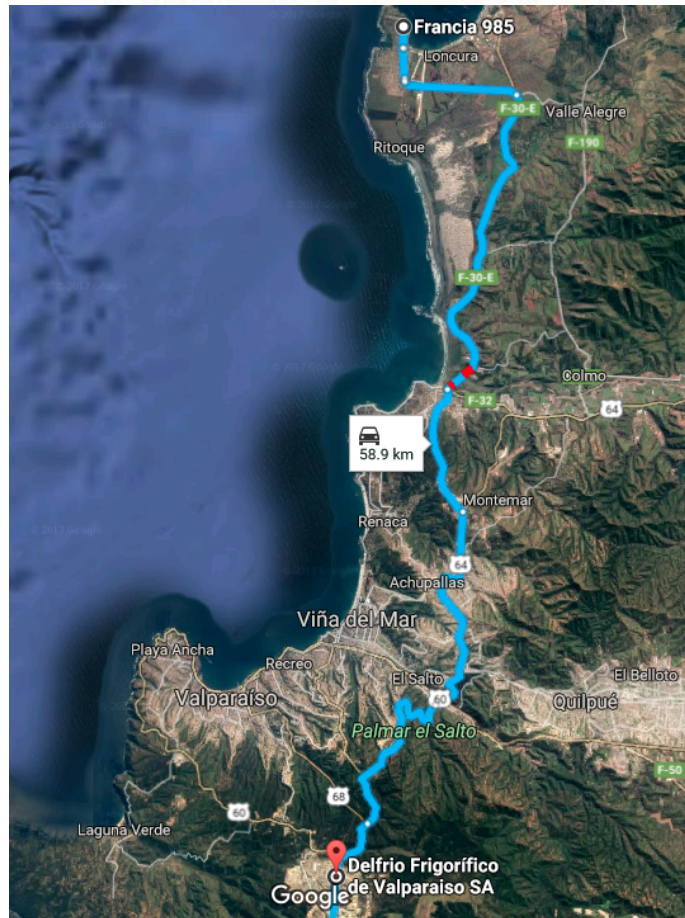


Figura 4.8: Ruta transporte Caleta El Manzano - Frigorífico. Fuente: <https://www.google.cl/maps>

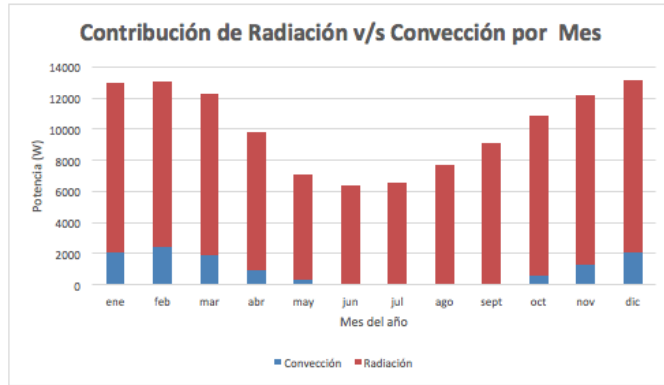


Figura 4.9: Proporción Transferencia de Calor. Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la Radiación es el mecanismo de transferencia de calor que mayormente aporta al aumento de temperatura de la Jibia, en gran medida porque el camión de transporte no es un camión de refrigeración, donde si fuera de esta manera, la radiación no afectaría directamente al bin, donde más bien sería transferencia de calor por conducción.

4.4. Caracterización del Radio Crítico de Transporte

En la siguiente figura 4.10, se muestra cuanto hielo es derretido de la capa superior del bin durante el proceso de transporte. De aquí se interpreta que el clima afecta de gran manera cuanto hielo es derretido para mantener la temperatura de la Jibia constante, dado que, a menor temperatura ambiente y menor radiación, el flujo de calor que ingresa es menor, y esto sucede en la época de otoño-invierno en Chile.

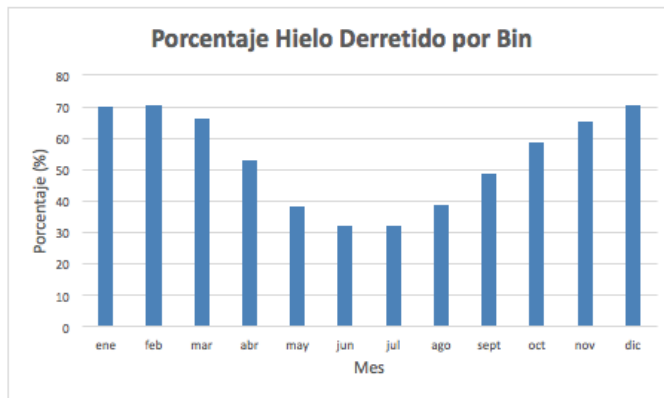


Figura 4.10: Porción de hielo derretido por cada bin cada mes del año. Fuente: Elaboración Propia

Los siguiente gráficos 4.11 y 4.12 representan el radio crítico de transporte de la Jibia, viste desde el punto de vista del hielo derretido en función del tiempo de viaje y en función de los kilómetros recorridos, respectivamente.

Se utiliza como supuesto, que si se derrite todo el hielo, significará pérdidas para la empresa debido a que la Jibia empezará a subir su temperatura. Aquí suceden dos fenómenos, el primero es un aumento de temperatura del producto, lo que repercute directamente en el proceso de refrigeración dado que se tomará mas tiempo en lograr congelar a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. El segundo es la pérdida de la cadena de frío, lo que traerá como consecuencia la descomposición de la Jibia, aunque en realidad será una parte de ella, que se va acrecentando a medida que más tiempo se encuentre expuesta al sol.

Con esto se ilustran dos restricciones importantes al momento de realizar el transporte de la Jibia, en primer lugar, el tiempo de transporte no debe superar las dos horas y media, aproximadamente, las que, en caso de contingencias en la ruta, por ejemplo, tráfico denso o accidentes en la vía es probable que se alcancen tiempos cercanos a este valor, lo que se transforma en un factor a considerar.

El segundo resultado, dice relación con los kilómetros recorridos, los que no deben superar los 100 km aproximadamente, un ejemplo sería la distancia del viaje desde Santiago a Valparaíso, y dada esta cantidad de kilómetros máxima, existe libertad para localizar uno o mas centros de refrigeración considerando además otras variables como el transporte a los barcos mediante los cuales se enviara el producto al extranjero.

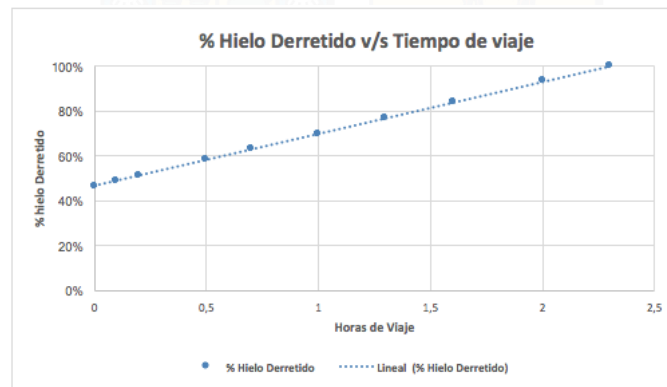


Figura 4.11: Comportamiento hielo en función del tiempo de viaje. Fuente: Elaboración Propia

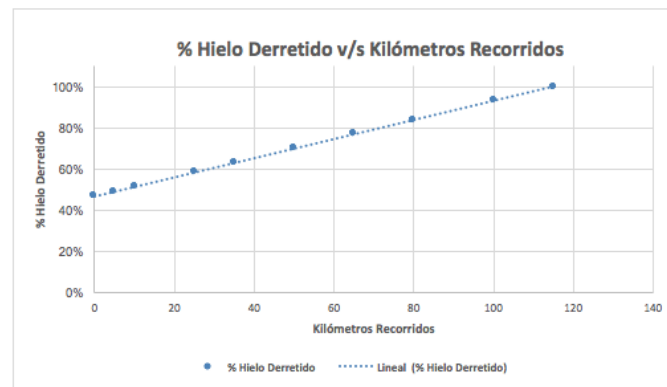


Figura 4.12: Comportamiento hielo en función de los kilómetros recorridos . Fuente: Elaboración Propia

Para lograr dimensionar el efecto que tiene la distancia de transporte, que se traduce en tiempo, según lo visto en el análisis anterior, se realiza una sensibilización de las distancias de cada caleta hacia el frigorífico.

Vemos en la figura 4.13 como cada caleta sufre una variación entre +50 % y -50 % de la distancia original, entregando como resultado una variación de aproximadamente \$ 5.000.000 de ahorro o de costo extra, dependiendo si disminuye o aumenta la distancia entre el centro de refrigeración y la caleta desde la que se compra la Jibia.



Figura 4.13: Sensibilización distancia transporte. Fuente: Elaboración Propia

4.5. Sensibilización de Modelo de Refrigeración y Modelo General

El resultado de los costos totales para el año 2017 distribuidos entre costos de: Refrigeración, Transporte y Fabricación de Hielo, se puede observar en la siguiente tabla, 4.1, donde es importante señalar que en lo relacionado al proceso de transporte, este involucra el Transporte más el costo por la Fabricación de Hielo, dado que el hielo se utiliza íntegramente en el traslado de la Jibia dentro de los bins.

Costo	Monto
Refrigeración	\$48.991.425
Fabricación de Hielo	\$8.007.085
Transporte	\$13.671.314
Total planta	\$70.669.824

Tabla 4.1: Costos totales año. Fuente: Elaboración Propia.

De manera gráfica se puede ver en 4.14 como los costos de refrigeración son una partida muy importante dentro de los costos totales, cercano a las tres cuartas partes, pero tal como fue mencionado, se considera que el proceso de transporte incluye el costo en transporte propiamente tal, pero también la totalidad del hielo producido, que es utilizado en el mismo proceso de transporte. Es por esto, que el transporte se considerará como una cuarta parte del costo total.

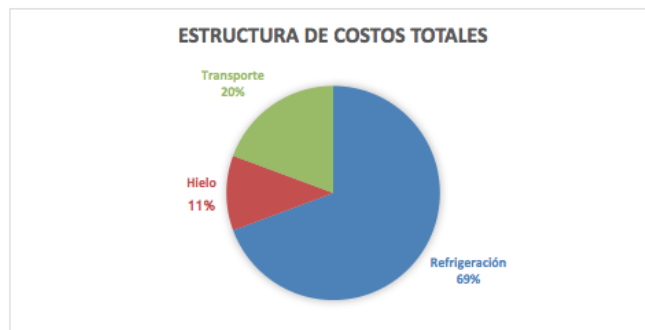


Figura 4.14: Distribución de costos totales. Fuente: Elaboración Propia

El último apartado de este capítulo dice relación con la sensibilización tanto del modelo general, como del de refrigeración.

En primer lugar, se presenta el resultado del análisis de tornado, realizado en Crystal Ball, el cual nos entrega las variables que más influyen en el consumo de electricidad del proceso de refrigeración, donde se utiliza una variación de cada variable y parámetro de + 20 % y de - 20 %, el resultado se presenta en las siguientes figuras: 4.15 y 4.16.

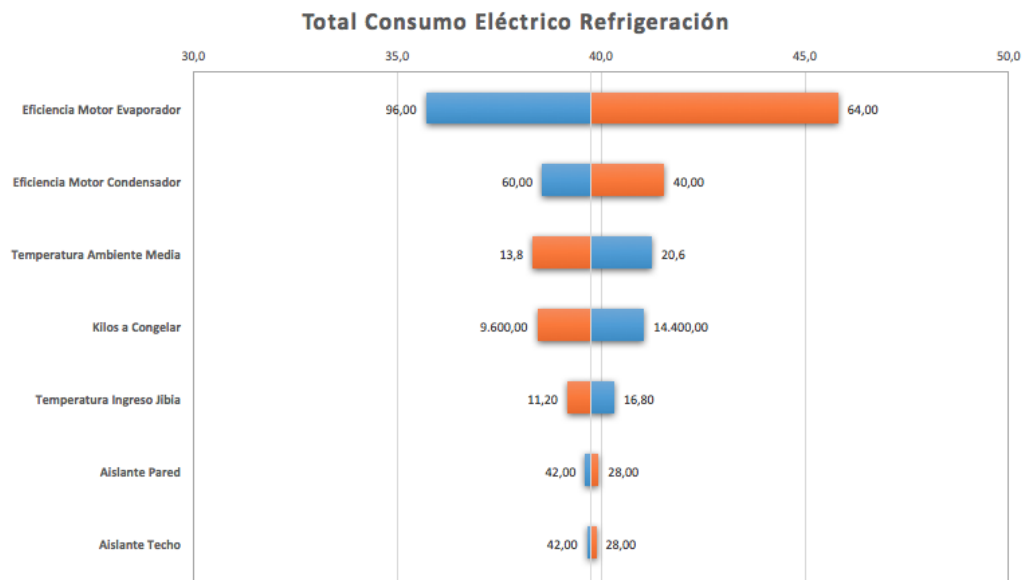


Figura 4.15: Sensibilización Modelo Refrigeración. Fuente: Elaboración Propia



Figura 4.16: Sensibilización Modelo Refrigeración. Fuente: Elaboración Propia

De estos resultados se desprenden las principales variables y parámetros que afectan al proceso de refrigeración de la Jibia, lo cuál es de vital importancia saber, dado que con esto es posible, por ejemplo tomar decisiones respecto a cambiar algún componente del sistema, como puede ser los ventiladores del evaporador o condensador, dado que, son los dos grandes factores que definen cuanta energía es necesaria para realizar el proceso de refrigeración.

Para entender de mejor manera la forma en que cada variable y/o parámetro afecta al modelo, se genera el gráfico siguiente 4.17, en el cuál, se representa cada variable o parámetro como una línea recta cuya pendiente entrega la influencia que posee cada una en el modelo de refrigeración, todo esto lo calcula

mediante la variación que realiza con respecto al valor ingresado, en este caso, y como se representa en la figura es de hasta un 20 % sobre ese valor, y un 20 % bajo ese valor.

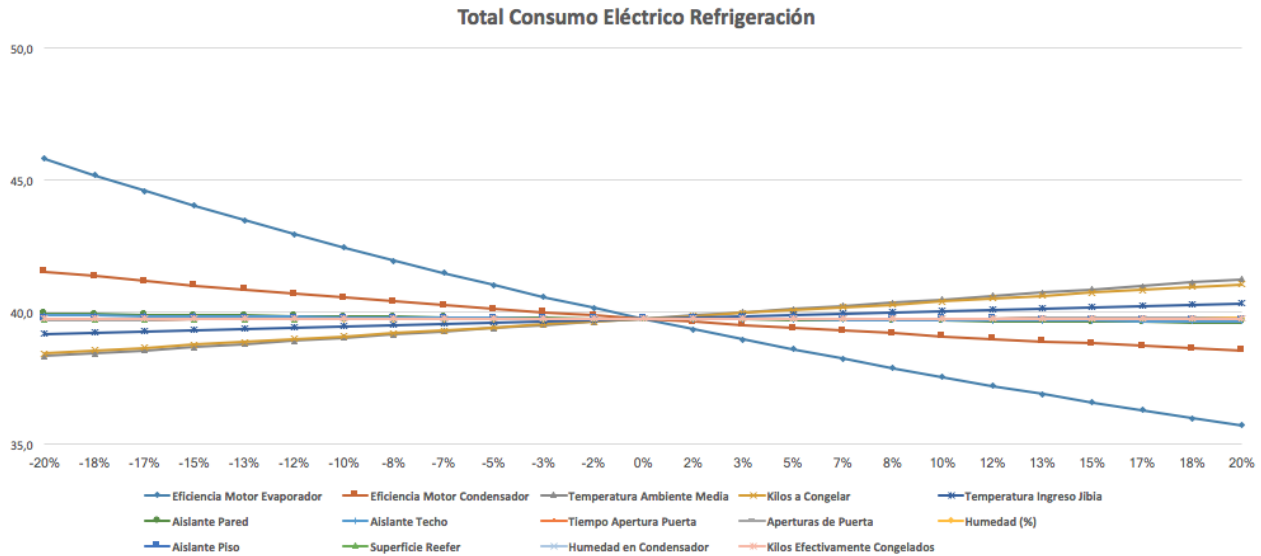


Figura 4.17: Comportamiento Variables Modelo Refrigeración. Fuente: Elaboración Propia

De la lectura de las pendientes se obtiene que en general, a medida que las Eficiencias de ventiladores del Evaporador y del Condensador aumentan, el costo total disminuye, solo que, analizando las pendientes, la Eficiencia de los Ventiladores del Evaporador son las que mas impacto generan, lo que se puede interpretar como una opción de mejora a futuro.

Por otra parte, las variables que tienen pendiente positiva, y que aumentan el costo a medida que se incrementa el valor de estas es, naturalmente los kilos de Jibia a congelar, y en mayor medida la variable de Temperatura Ambiente Media, la cuál afecta a través de la configuración de los diferentes aislantes, ya sea, del techo, o paredes. Además el modelo de refrigeración considera la radiación que ingresa, lo que depende de la temperatura igualmente.

Se realiza el mismo análisis de tornado sobre el modelo general, que incluye la refrigeración y el transporte hasta el frigorífico, donde se busca obtener que variables o parámetros afectan de manera global al resultado, y no solo al modelo de refrigeración. El procedimiento es el mismo al aplicado con el modelo de refrigeración, donde cada variable o parámetro es variado en + 20 % y de - 20 % con respecto al valor ingresado, y el resultado se puede observar en 4.18 y en 4.19.

De aquí se desprende que las principales variables y parámetros que afectan al proceso completo (transporte mas refrigeración) de la Jibia. Como se puede ver, el principal parámetro que afecta el modelo es el Costo del kWh de electricidad, esto significa que los costos de la empresa, y por consecuencia sus beneficios dependen en gran parte del valor de esta variable, por ende la empresa se encuentra expuesta a este factor externo.

Además, una variable importante que afecta en gran medida a los costos totales es el Tiempo en Reefer, esto significa que si la jibia ingresa a menor temperatura, o el sistema es más eficiente en el proceso de refrigeración, los costos bajarán al reducir el tiempo de funcionamiento del sistema.

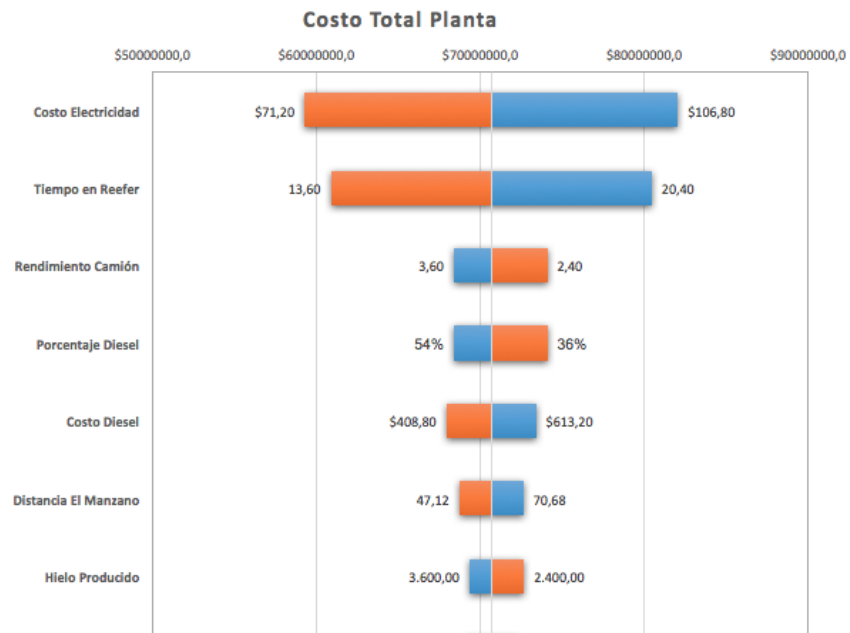


Figura 4.18: Sensibilización Modelo General. Fuente: Elaboración Propia

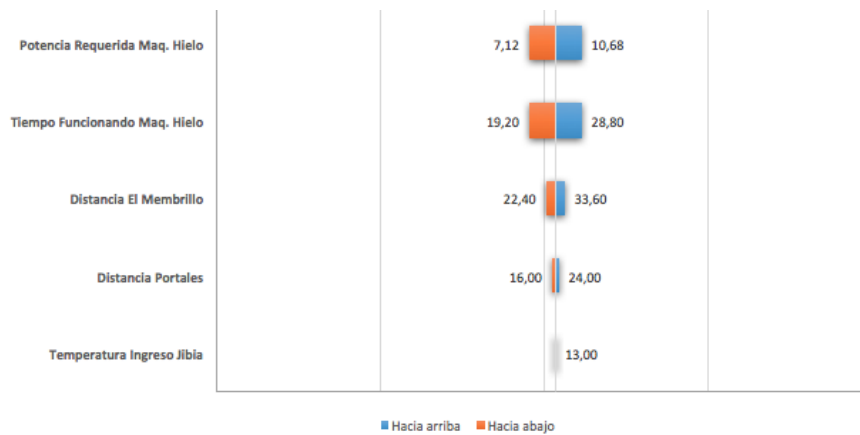


Figura 4.19: Sensibilización Modelo General. Fuente: Elaboración Propia

Para entender de mejor manera la forma en que cada variable y/o parámetro afecta al modelo general, se presenta el siguiente gráfico 4.20, el cuál también es preparado mediante Crystal Ball, como parte del análisis de tornado, y al igual que para el modelo de refrigeración, se representa cada variable o parámetro como una línea recta cuya pendiente entrega la influencia que posee cada una en el modelo, y todo esto lo calcula mediante la variación que realiza con respecto al valor ingresado, en este caso, y como se representa en la figura es de hasta un 20 % sobre ese valor, y un 20 % bajo ese valor.

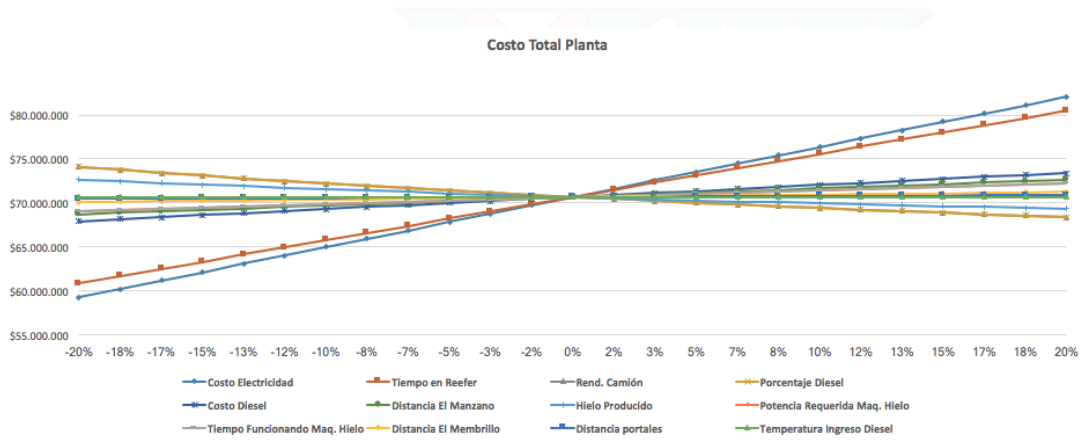


Figura 4.20: Comportamiento Variables Modelo General. Fuente: Elaboración Propia

Con este gráfico queda claro, al observar las pendientes, que la variable que más incrementa el Costo Total de la planta es el Tiempo en Reefer, y el parámetro que aumenta los costos en gran medida es el Costo kWh.

Dentro de las variables que reducen el Costo Total de la planta se encuentra la Cantidad de hielo Producido, esto es porque entre más hielo se agregue a la Jibia, es más probable que mantenga o incluso disminuya su temperatura de entrada al frigorífico.

Es importante señalar además, que del total de las variables y parámetros encontrados en el análisis, un gran número de ellos son parte del modelo de transporte, lo que nos indica que el transporte, recordando que este incluye la fabricación de hielo, es una parte importante dentro del proceso productivo de la empresa exportadora analizada.

Finalmente, se realiza un análisis que valida el modelo general propuesto, para esto se continúa utilizando el software Crystal Ball, solo que esta vez se realiza una simulación de Montecarlo con las variables y parámetros que fueron tanto consultados a la empresa, supuestos del modelo de refrigeración, y tomados de los manuales de operación de los equipos.

Con esta simulación se pretende entregar por una parte variabilidad a variables que por su naturaleza poseen una componente de aleatoriedad, como es el caso de la demanda de Jibia, o el costo del diésel. Además, se busca dar libertad a ciertas variables y parámetros, tal es el caso del Porcentaje Diésel, ya que, el valor fue tomado desde el Índice de Costos del Transporte, siendo este un promedio calculado del total de las industrias, además el rendimiento del camión fue seleccionado asumiendo un tipo de camión promedio para la capacidad exigida, donde para cada empresa puede ser diferente.

Luego de simulado los 100.000 posibles resultados, el programa configura una distribución de probabilidad en función de lo obtenido. Es así como se ve en el gráfico 4.21 que con aproximadamente un 82 % de confianza el resultado será igual o menor al valor que se obtuvo en 4.1 como Total Planta, donde en el programa se observa como toda el área de color azul bajo la curva.

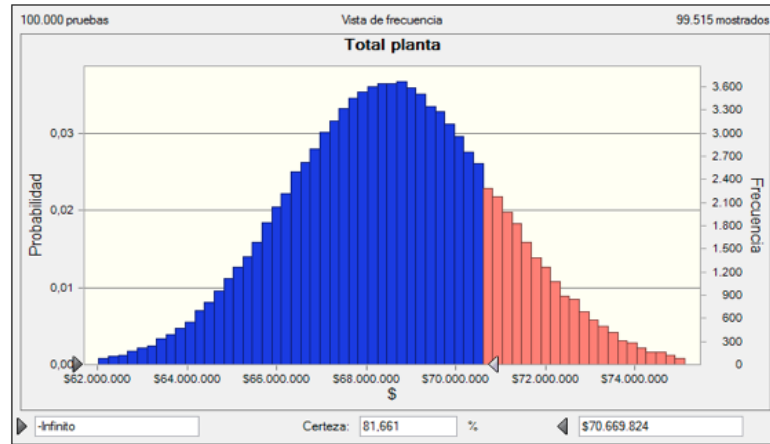


Figura 4.21: Simulación Montecarlo Costo Total. Fuente: Elaboración Propia

Dado este resultado, se puede afirmar que el modelo general es válido para realizar los cálculos de refrigeración y costos de transporte de una empresa que se dedique a congelar productos, visto bajo un enfoque energético, dado que la probabilidad que el valor que se obtenga al realizar estos cálculos es muy alta.



5 | Conclusión y Recomendaciones

El Estudio realizado buscó obtener como principal objetivo cuál era la importancia del transporte dentro del proceso de refrigeración de Jibia en una empresa exportadora. Los resultados muestran que cerca de un 25 % del costo total anual pertenece a este proceso, lo que no es menor, dada la cantidad de dinero que corresponde a ese porcentaje. Además, se indagó sobre las restricciones de tiempo y distancia desde las caletas al frigorífico, explicadas como cantidad de hielo derretido de los bins de transporte, donde se obtiene que con respecto a la distancia, existe un amplio radio de transporte de aproximadamente 100 kilómetros. Lo que es de suma relevancia, es el tiempo máximo que la Jibia puede ser transportada, donde ese tiempo es de aproximadamente 2,3 horas o 140 minutos.

Desde el punto de vista del radio crítico, al sensibilizar esta variable en el modelo general, entrega un máximo de ahorro de \$ 5.000.000 al año, solo reduciendo la distancia y/o tiempo de transporte, donde el ahorro potencial puede ser incluso mayor si se considera que es necesaria una menor cantidad de hielo para mantener la temperatura de la Jibia en el traslado, lo que en esta sensibilización no se calcula. Por lo tanto, considerando el costo total obtenido de aproximadamente \$ 70.000.000, el potencial ahorro debiese ser considerado en la toma de decisiones estratégicas de la empresa, analizando si es factible por una parte hacer una reducción ya sea en el tiempo o en la distancia de transporte, mediante cambios de ruta, o localizando Centros de Refrigeración cercanos a las caletas, idea inicial al empezar este estudio.

Según las condiciones estudiadas, es posible dar respuesta a si es o no una buena decisión localizar múltiples centros de refrigeración cercanos a las caletas desde donde se extrae la Jibia, o mantener una estrategia centralizada con solo un frigorífico de gran capacidad lejano a las caletas. Es posible responder que, desde el punto de vista energético, vemos que al sumar los costos de transporte y fabricación de hielo estos son cercanos al 25 % del costo total anual, un porcentaje considerable, que al agregar otras variables como tiempos de carga y descarga del camión, o el costo del personal que se necesita para que realice esta y otras actividades relacionadas al transporte, son razones importantes para recomendar, al menos, estudiar la posibilidad de cambio de estrategia de localización a Centros de Refrigeración cercanos a las caletas. Una consecuencia crucial en la toma de esta decisión es que se logra reducir el tiempo de operación, variable crítica para lograr mantener el producto en óptimas condiciones, obteniendo además tiempo extra para, por ejemplo, ingresar una mayor cantidad de Jibia por día trabajado.

Otro punto relevante de destacar es que la utilización del modelo de cálculo de refrigeración presentado en el trabajo de [Foster et al. \(2016\)](#) fue aplicado sin complicaciones, cumpliendo así con el objetivo de ese trabajo que era que el modelo creado fuese aplicado gratuitamente por cualquier persona u organización alrededor del mundo.

Unido a esto, es necesario mencionar la flexibilidad del modelo refrigeración en la modificación de los parámetros y variables, donde es posible no sólo calcular el modelo energético de refrigeración y transporte a la jibia, sino que, también es posible adaptarlo a diferentes productos que necesiten ser congelados o refrigerados, por ejemplo, frutas, verduras, carnes o diferentes tipos de pescados y mariscos.

Desde el punto de vista del modelo de transporte, también existe flexibilidad para modificar los parámetros, dado que, los cálculos de radiación y convección están hechos en función de, por ejemplo, el tipo de vehículo utilizado, las dimensiones del envase que transporta al producto, como también las condiciones climatológicas de la zona en que se esté realizando la medición.

Por otra parte, la utilidad que representa la sensibilización tanto del modelo de refrigeración, como del general, es la posibilidad de saber de antemano que variables y parámetros deben tomarse en cuenta al momento de elegir o cambiar una estrategia de operación de una empresa ya sea exportadora o no de algún producto que debe ser congelado y transportado. También es posible utilizar los resultados de este estudio para por ejemplo, diagnosticar, o ajustar el proceso de refrigeración buscando reducir los costos, o realizar estudios de trade off con el proceso de transporte, buscando la mejor estrategia que se ajuste a la empresa según el tipo de producto, localización geográfica y tamaño de la producción, por mencionar solo algunas utilidades.

Es importante destacar que estos resultados no son sólo de utilidad para empresas en funcionamiento, ya que, empresas que se encuentren en proceso de diseño de su red logística pueden y deben tomar en consideración la localización del o los centros de refrigeración que utilizarán para sus productos, dada la relevancia que representa el transporte en la cadena logística.

Como último punto, es importante destacar la importancia de los estudios energéticos y específicamente del realizado para el modelo de refrigeración para empresas que sean o no exportadoras, como la que se analizó en este estudio, pero que si dentro de sus procesos, el de refrigeración es relevante dentro de su operación. Esto se sustenta en que se encuentra que es posible generar ahorros a largo plazo, mejorar la calidad del o los productos a refrigerar o mediante la elección de una estrategia de localización con Centros de Refrigeración cercanos al lugar desde donde son comprados los productos que deben ser refrigerados.

6 | Discusión

El presente estudio fue realizado siguiendo los pasos de [Foster et al. \(2016\)](#), donde los autores toman los datos de ciudades emplazadas en el Hemisferio Norte, por lo tanto existieran diferencias principalmente en lo referido a los datos climatológicos, dado que este estudio fue realizado en la Quinta Región de Chile, Hemisferio Sur, encontrando las diferentes estaciones del año invertidas en cada hemisferio. Por ejemplo, en los meses de Diciembre a Marzo, en el Hemisferio Norte los países se encuentran en invierno, lo que no sucede de la misma manera en los países del Hemisferio Sur que se encuentran en verano. Los datos que se utilizan en el estudio y que cambian obedeciendo a este fenómeno son principalmente: Temperatura del Mar, Humedad Relativa, Temperatura Ambiente y Radiación.

Aclarada esta situación, se presenta el siguiente gráfico 6.1 extraído desde el trabajo anteriormente mencionado. Se puede apreciar que se producen diferencias en las cargas térmicas obtenidas a lo largo de cada mes del año, y si se compara con el gráfico obtenido en este estudio, el cual es 4.3 , se observa el mismo comportamiento, solo que la diferencia esta dada porque el aumento y disminución de las cargas en los diferentes meses del año ocurren de forma invertida, dado por estar en contra estación con el hemisferio norte.

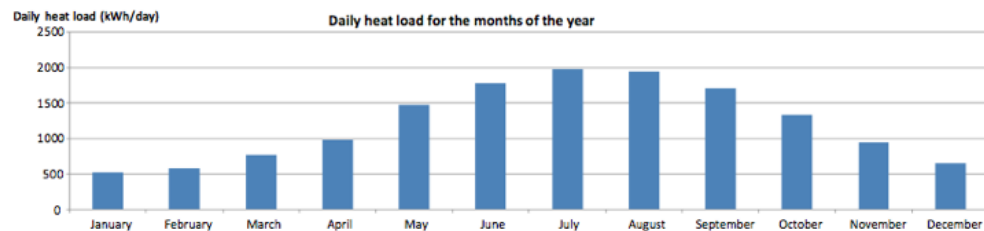


Figura 6.1: Resultados modelo de refrigeración por mes. Fuente: [Foster et al. \(2016\)](#)

Otro punto importante de diferencia es la magnitud de la cantidad de carga térmica , dado que en el trabajo de [Foster et al. \(2016\)](#), se realiza la construcción del modelo por día de operación del frigorífico, en cambio en este estudio se realiza tomando como unidad de medida solo un reefer cargado al 100 % con Jibia. Para realizar luego el análisis en el estudio, se toma como unidad de medición la capacidad máxima del reefer.



Bibliografía

- Acuicultura + Pesca (2017). Abordan claves para potenciar la exportación de jibia chilena. [Online]. <http://www.aqua.cl/2016/07/01/abordan-claves-para-potenciar-la-exportacion-de-jibia-chilena>. 2.4.1
- Arancibia, H; Neira, S; Alarcón, A; Gretchina, A; Yáñez, A; Ibañez, C; Cisternas, L; zuñiga, A; Bruno, C; Alegría, N; Acuña, E; y Cortés, A (2016). *Informe Final Proyecto FIP 2013-18. Historia de Vida y Dinámica Poblacional de Jibia en Aguas Nacionales*. Technical report, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas Universidad de Concepción, Concepción. 2.4
- Becker, Bryan; Brian, P.; Fricke, A.; y Sartin, Bryan (2012). Performance standards for walk-in refrigerator and freezer systems. *Air-Conditioning, Heating And Refrigeration Technology Institute, Inc.* 2.6
- Bengston, Harlan (2015). *Convection Heat Transfer Coefficient Estimation*. (document), 3.4, 3.8
- Cengel, Yunus (2007). *Transferencia de Calor y Masa. Un Enfoque Práctico*. McGraw Hill Interamericana Editores S.A. de C.V., 3 edición. 2.5.3, 2.5.3, 2.5.3
- Cengel, Yunus y Boles, Michael (2012). *Termodinámica*. McGraw Hill Interamericana Editores S.A. de C.V., 7 edición. (document), 2.6, 2.5.1, 2.7
- Chen, Xinjun; Lu, Huajie; Cheng, Yong; y Liu, Bilin (2011). Age, growth and population structure of jumbo flying squid, *Dosidicus gigas*, based on statolith microstructure off the Exclusive Economic Zone of Chilean waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 91(1), 229–235. (document), 2.4, 2.5
- Chen, Xinjun; Lu, Huajie; Cheng, Yong; Liu, Bilin; y Qian, W (2010). Fishery biology of the jumbo flying squid *Dosidicus Gigas* off the Exclusive Economic Zone of Chilean waters. *Scientia Marina*, 74(4), 687–695. 2.4
- Corbo, Vittorio y Hurtado, Agustín (2014). Causas y consecuencias del problema energético en Chile, una visión desde la macroeconomía. *Centro de Estudios Públicos*, (382). 1.1
- Devesa, Miguel y Sellés, Vicente (2014). Balance térmico de una instalación frigorífica. *IES Beatriu Fajardo de Mendoza*. Recuperado de: <https://www.iesbeatriu.org/blogs/626/01%20BALANCE%20TERMICO.pdf>. 2.5.2
- Evans, J.; Reinholdt, L.; Fikiin, K.; Hammond, E.; Gigie, A.; y Zilio, C. (2013). Improving the energy performance of cold stores. *International Institute Of Refrigeration*. 1.1
- Foster, A.; Reinholdt, L.; Brown, T.; Hammond, E.; y Evans, J. (2016). Reducing energy consumption in cold stores using a freely available mathematical model. *Sustainable Cities and Society*, (21). (document), 2.6, 2.7, 3.3, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.3, 3.5, 3.6, 3.7, 5, 6, 6.1, 6
- Gonzalez, Manuel (2017). Comunicación personal. (document), 2.4, 2.5, 3.2
- Instituto Nacional de Estadística de Chile (2014). Índice de Costos del Transporte Base Anual 2013. (document), 3.3

- Instituto Nacional de Estadística de Chile (2017). Índice de Costos del Transporte. (227). (document), 3.4
- IPU (2017). Coolpack and pack calculation. [Online]. Descargar desde: <http://en.ipu.dk/Tema/technologies/refrigeration-and-energy-technology.aspx>. 2.6
- Jain, Megha (2010). Los problemas energéticos en Chile y sus soluciones: El rol de las energías renovables no convencionales. *Independent Study Project (ISP) Collection.*, (944). 1.1
- Liu, Ming; Saman, Wasim; y Bruno, Frank (2012). Development of a novel refrigeration system for refrigerated trucks incorporating phase change material. *Elsevier*, (92), 336–342. 2.5.3
- Liu, Ming; Saman, Wasim; y Bruno, Frank (2013). The discharge performance optimization of a forced convection type pcm refrigeration module used in a refrigeration truck. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 25(11), 624–630. 2.5.3, 3.4
- Ministerio de Energía de Chile (2010). Antecedentes sobre la matriz energética en Chile y sus desafíos para el futuro. [Online]. Recuperado de: http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/02_Noticias/descargas_noticias/antecedentes_matriz_energetica_010611.pdf. 1.1
- Ministerio de Energía de Chile (2016). Energía 2050: Política energética de Chile. [Online]. Recuperado de: <http://www.energia2050.cl/wp-content/uploads/2016/07/Politica-Energetica-Nacional.pdf>. 1.1
- Ministerio de Salud (2017). MODIFICA DECRETO SUPREMO NÚMERO 977, DE 1996, DEL MINISTERIO DE SALUD, REGLAMENTO SANITARIO DE LOS ALIMENTOS. 2.5
- Monje, Alejandra Molina (2017). Modelo de Radiación Solar. 2.5.3
- OCDE/FAO (2014). Ocede-fao perspectivas agrícolas 2014. *OCDE Publishing*. (document), 2.2, 2.2
- Oracle Corporation (2008). Risk analysis overview. [Online]. 2.7.1
- O’Ryan, Raúl (2008). Diseño de un modelo de proyección de demanda energética global nacional de largo plazo. *Programa de Gestión y Economía Ambiental Universidad de Chile*. Recuperado de: http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/estudios/texto2.pdf. 1.1
- ProChile (2011). *Estudio de Mercado de la Jibia Congelada en Corea*. Technical report, Ministerio de Relaciones Exteriores. 2.4.1
- ProChile (2016). *Estudio de Mercado de la Jibia Congelada en Corea*. Technical report, Ministerio de Relaciones Exteriores. 2.4.1
- Restrepo, Álvaro; Fernández, Álvaro; y Grajales, Víctor (2007). Estudio y análisis de estrategias de ahorro de energía usando el software ees (engineering equation solver) para la empresa. *Scientia et Technica*, (34). 1.1
- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (2016). Informe sectorial de pesca y acuicultura. exportaciones sectoriales 2015-2016. (document), 2.2, 2.3, 2.4
- Tilman, David; Balzerb, Christian; Hillc, Jason; y Befort, Belinda (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *PNAS*, (108). (document), 2.1, 2.1
- Universidad de Chile (2017). Explorador solar. [Online]. Acceso: <http://ernc.dgf.uchile.cl:48080/inicio>. (document), 2.8, 3.4, 3.14

A | Anexos

A.1. Demanda año 2017

Caleta/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
El Manzano	174	133	367	694	1008	620	556	523	428	277	297	209
El Membrillo	158	60	222	306	416	397	335	342	320	199	201	242
Portales	83	33	134	194	345	195	163	176	129	50	47	73

Tabla A.1: Demanda mensual proyectada 2017. Fuente: Elaboración Propia.

A.2. Número de Viajes al mes por caleta

Mes	Ene	feb	mar	abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
El Manzano	15	11	31	58	84	52	46	44	36	23	25	17
El Membrillo	13	5	18	26	35	33	28	29	27	17	17	20
Portales	7	3	11	16	29	16	14	15	11	4	4	6

Tabla A.2: Número de viajes al mes por caleta. Fuente: Elaboración Propia.

A.3. Distribuciones de Probabilidad

Las siguientes son las distribuciones de probabilidad utilizadas en las variables que se busca validar en la Simulación de Montecarlo del Modelo General.

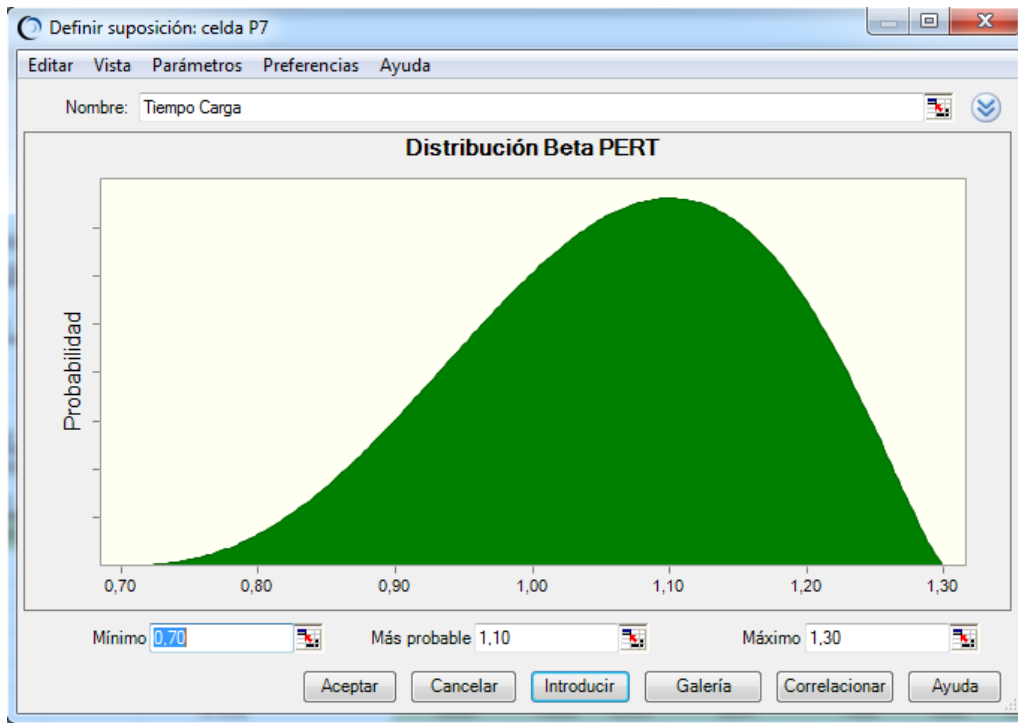


Figura A.1: Distribución de probabilidad tiempo de descarga camión. Fuente: Elaboración Propia

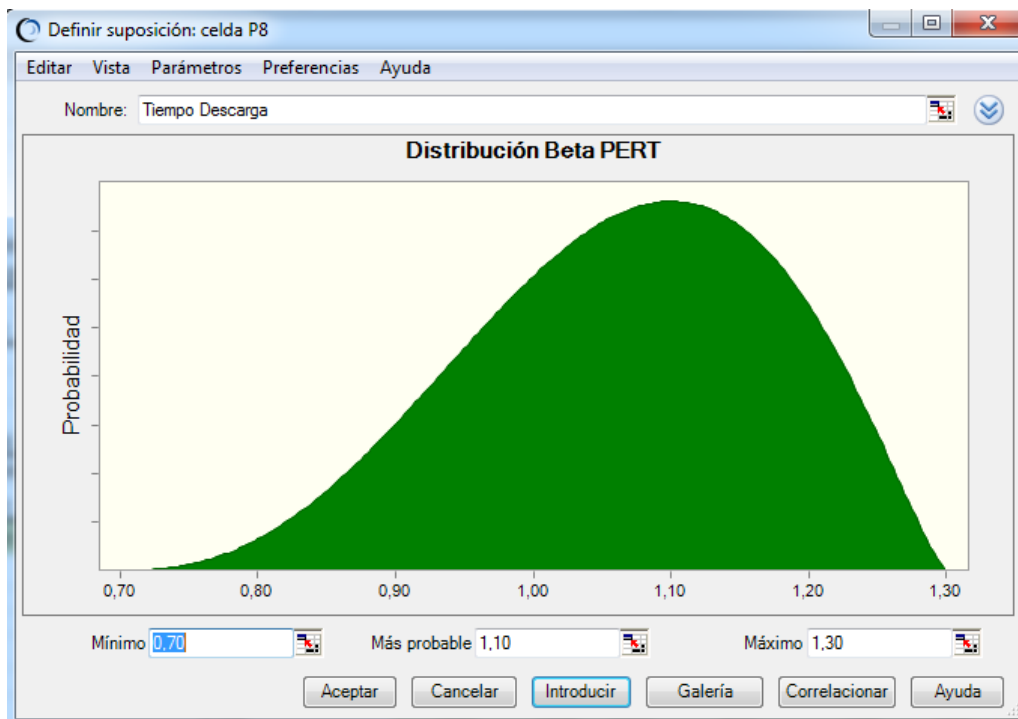


Figura A.2: Distribución de probabilidad tiempo de carga camión. Fuente: Elaboración Propia

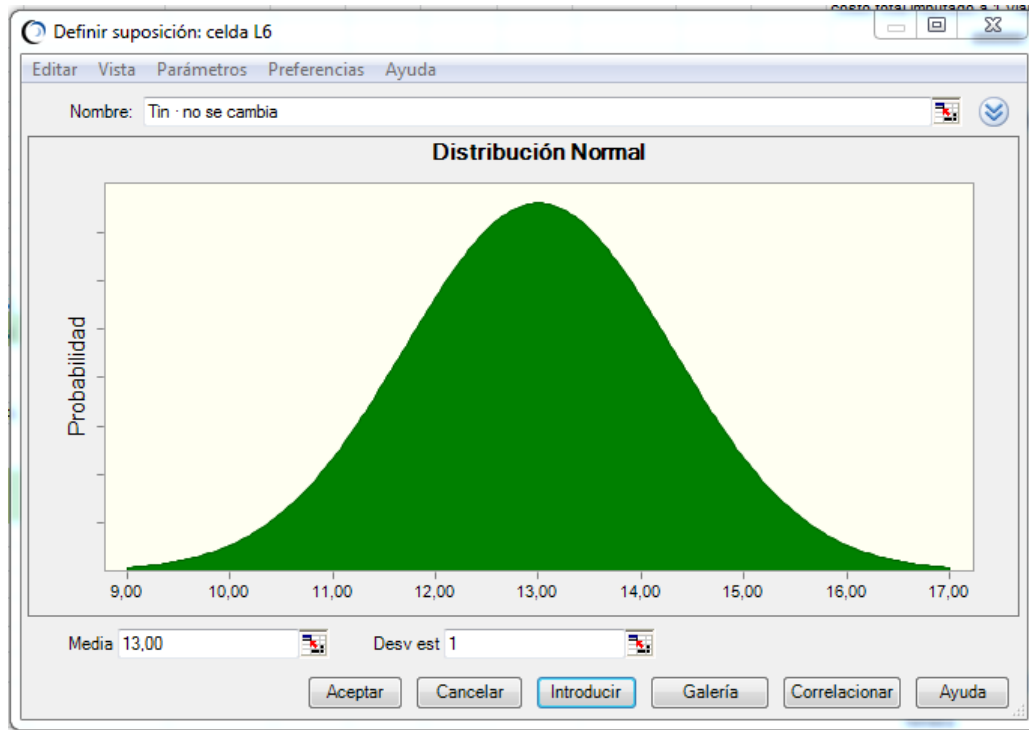


Figura A.3: Distribución de probabilidad temperatura mar. Fuente: Elaboración Propia

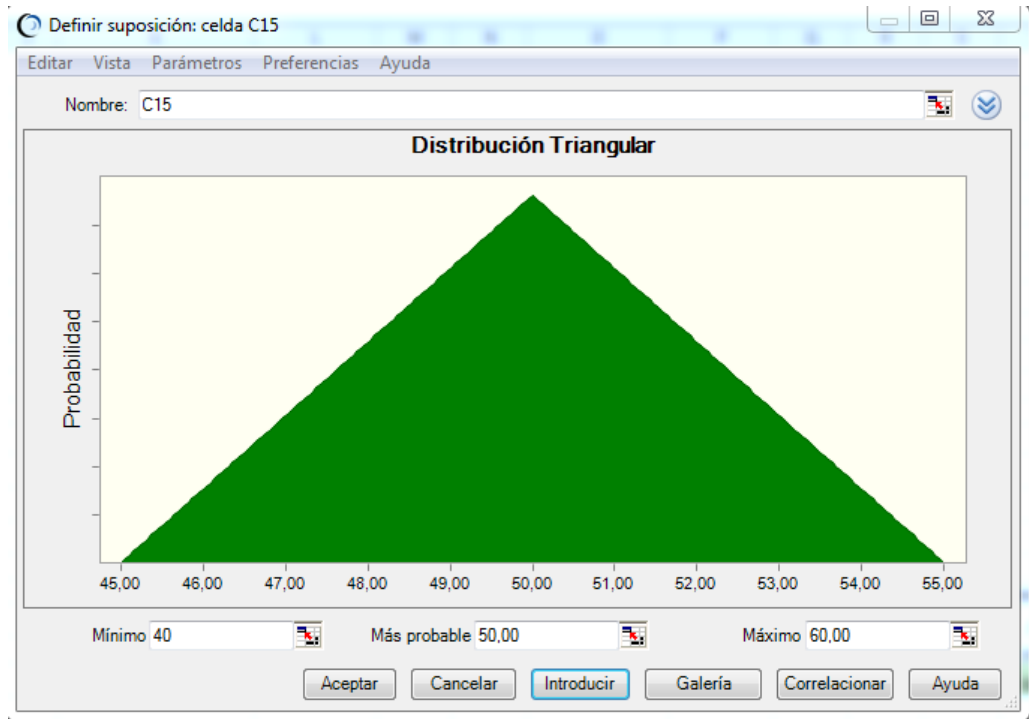


Figura A.4: Distribución de probabilidad velocidad camión. Fuente: Elaboración Propia

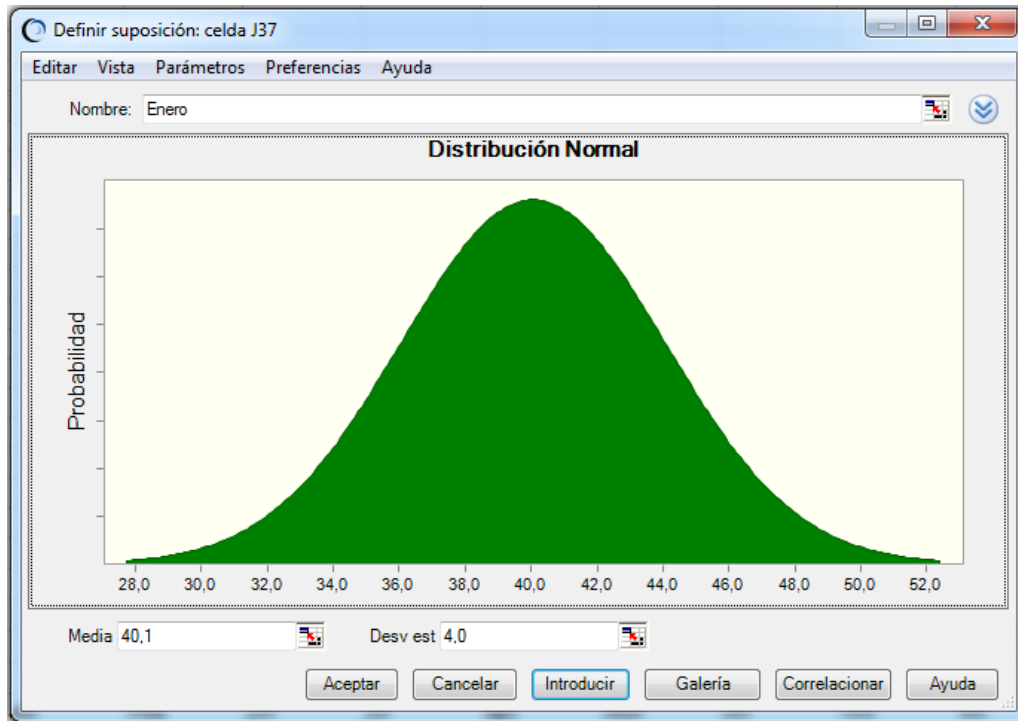


Figura A.5: Distribución de probabilidad carga refrigeración mensual. Fuente: Elaboración Propia

A.4. Resultados Modelo General

A.4.1. Caleta El Manzano

Costo/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Año
Energía Refrigerado	\$881.301	\$666.566	\$1.832.628	\$3.396.353	\$4.863.490	\$2.948.408	\$2.629.193	\$2.485.864	\$2.049.291	\$1.343.807	\$1.466.328	\$1.047.575	\$ 25.610.804
Energía Hielo	\$138.206	\$105.318	\$290.796	\$549.908	\$798.310	\$491.102	\$440.217	\$414.490	\$339.209	\$219.190	\$235.412	\$165.517	\$ 4.187.674
Transporte	\$324.166	\$247.026	\$682.070	\$1.289.825	\$1.872.461	\$1.151.895	\$1.032.544	\$972.199	\$795.625	\$514.117	\$552.166	\$388.226	\$ 9.822.320

Tabla A.3: Resultados Caleta El Manzano. Fuente: Elaboración Propia.

A.4.2. Caleta El Membrillo

Costo/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Año
Energía Refrigerado	\$797.046	\$299.477	\$1.105.762	\$1.499.033	\$2.007.890	\$1.887.789	\$1.586.081	\$1.626.830	\$1.531.873	\$964.649	\$992.783	\$1.212.972	\$ 15.512.187
Energía Hielo	\$124.993	\$47.318	\$175.459	\$242.710	\$329.582	\$314.440	\$265.565	\$271.256	\$253.563	\$157.345	\$159.387	\$191.650	\$ 2.533.267
Transporte	\$139.370	\$52.760	\$195.641	\$270.628	\$367.492	\$350.608	\$296.111	\$302.456	\$282.729	\$175.443	\$177.720	\$213.694	\$ 2.824.651

Tabla A.4: Resultados Caleta El Membrillo. Fuente: Elaboración Propia.

A.4.3. Caleta Portales

Costo/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Año
Energía Refrigerado	\$419.388	\$167.837	\$669.913	\$947.926	\$1.665.817	\$929.477	\$769.389	\$837.873	\$618.000	\$245.205	\$230.118	\$367.492	\$ 7.868.434
Energía Hielo	\$65.768	\$26.518	\$106.300	\$153.480	\$273.433	\$154.818	\$128.822	\$139.706	\$102.294	\$39.996	\$36.944	\$58.064	\$ 1.286.144
Transporte	\$52.381	\$21.120	\$84.662	\$122.238	\$217.774	\$123.304	\$102.600	\$111.268	\$81.472	\$31.854	\$29.424	\$46.245	\$ 1.024.343

Tabla A.5: Resultados Caleta Portales. Fuente: Elaboración Propia.

A.5. Análisis Radio Crítico

Tiempo Viaje (hr)	Kilómetros Recorridos	% Hielo Derretido
0	0	47 %
0,1	5	49 %
0,2	10	51 %
0,5	25	58 %
0,7	35	63 %
1	50	70 %
1,3	65	77 %
1,6	80	84 %
2	100	93 %
2,3	115	100 %

Tabla A.6: Radio Crítico en el transporte de la Jibia. Fuente: Elaboración Propia.

A.6. Flujo de Calor Transporte

Flujo Calor (W) /Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Convección	2065	2409	1868	934	295	-393	-639	-442	-98	590	1327	2065
Radiación	10930	10690	10435	8910	6803	6363	6590	7664	9121	10263	10826	11040
Flujo Total	12995	13098	12303	9844	7098	5969	5951	7221	9023	10853	12153	13105

Tabla A.7: Flujo de calor aportado en cada carga por mes del año. Fuente: Elaboración Propia.

A.7. Cantidad de Hielo Derretido

Hielo (kg) /Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Kg Derretidos	420	424	398	318	230	193	192	234	292	351	393	424
Kg Derretidos por bin	35	35	33	27	19	16	16	19	24	29	33	35
Porcentaje derretido del total	70	70,6	66,3	53,1	38,3	32,2	32,1	38,9	48,6	58,5	65,5	70,6

Tabla A.8: Cantidad total de hielo derretido por mes del año. Fuente: Elaboración Propia.