

ÍNDICE

	página
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes y motivación	2
1.2. Descripción del problema	2
1.3. Solución propuesta	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Alcances	4
1.6. Metodologías y herramientas utilizadas	4
1.7. Resultados esperados	5
1.8. Organización del documento	5
2. Marco Teórico	6
2.1. Historia del CO ₂ como refrigerante	7
2.2. Refrigerantes	7
2.3. Clasificación de los refrigerantes	8
2.3.1. Clasificación según su composición	8
2.3.2. Clasificación según su toxicidad	9
2.3.3. Clasificación según su impacto a la capa de ozono	10
2.4. Comparativa entre refrigerantes	11
2.4.1. Según su composición	11
2.4.2. Según su toxicidad	11
2.4.3. Según su impacto a la capa de Ozono	11
2.4.4. Comparación de presiones y temperaturas de trabajo	12
2.5. El R-744 como refrigerante en la actualidad	14
2.5.1. Características y propiedades del R-744	14
2.5.2. Ciclos de operación del R-744	15
2.5.3. Consideraciones para su implementación	17
2.5.3.1. Seguridad	18
2.6. Refrigeración	18
2.6.1. Funcionamiento de un sistema básico de refrigeración por compresión	18
2.7. Componentes de un sistema refrigeración	20

2.7.1.	Evaporador	20
2.7.2.	Compresor	20
2.7.3.	Condensador	21
2.7.4.	Dispositivos de expansión	21
2.7.5.	Elementos secundarios	21
2.7.6.	Balance energético del sistema de refrigeración	24
2.7.7.	Balance energético en el evaporador	24
2.7.8.	Balance energético en el compresor	25
2.7.9.	Balance energético en el condensador	27
2.7.10.	Coefficientes de eficiencia energética	28
2.8.	Lubricantes en sistemas de refrigeración	29
2.8.1.	Clasificación de lubricantes	29
2.8.2.	Lubricantes compatibles y recomendados para R-744	30
2.9.	Situación de Chile ante el uso de refrigerantes	31
3.	Marco Metodológico	32
3.1.	Marco Metodológico	33
3.2.	Temperaturas de evaporación y condensación	33
3.2.1.	Temperatura de evaporación	33
3.2.2.	Temperatura de condensación	34
3.3.	Comparación de refrigerantes	35
3.3.1.	Refrigerante R-134a en comparación con R-744	36
3.3.1.1.	Comportamiento de los refrigerantes para la sección de congelados	36
3.3.1.2.	Comportamiento de los refrigerantes para la sección de refrigerados	37
3.3.1.3.	Comportamiento de los refrigerantes para la sección salas de preparación	38
3.3.1.4.	Balances energéticos según sección de alimentos	39
3.3.1.5.	Análisis global entre R-134a y R-744	43
3.3.2.	Refrigerante R-22 en comparación con R-744	44
3.3.2.1.	Comportamiento de los refrigerantes para la sección congelados	44
3.3.2.2.	Comportamiento de los refrigerantes para la sección refrigerados	45

3.3.2.3.	Comportamiento de los refrigerantes para la sección salas de preparación	46
3.3.2.4.	Balances energéticos según sección de alimentos	47
3.3.2.5.	Resumen	50
3.3.3.	Refrigerante R-404a en comparación con R-744	50
3.3.3.1.	Comportamiento de los refrigerantes para la sección congelados	50
3.3.3.2.	Comportamiento de los refrigerantes para la sección refrigerados	52
3.3.3.3.	Comportamiento de los refrigerantes para la sección salas de preparación	53
3.3.3.4.	Balances energéticos según sección de alimentos	54
3.3.3.5.	Resumen	56
3.3.4.	Refrigerante R-507a en comparación con R-744	57
3.3.4.1.	Comportamiento de los refrigerantes para la sección salas de preparación	59
3.3.4.2.	Balances energéticos según sección de alimentos	60
3.3.4.3.	Resumen	62
3.4.	Resumen de análisis termodinámico de refrigerantes	63
3.4.1.	Resumen balance energético en el evaporador	63
3.4.2.	Resumen balance energético en el compresor	66
3.4.3.	Resumen balance energético en el condensador	69
3.4.4.	Coefficiente de operación	71
3.5.	Consideraciones generales	71
4.	Metodología de Aplicación	72
4.1.	Metodología para la sustitución de refrigerantes	73
4.1.1.	Levantamiento de información del local relacionada al frío alimentario	73
4.2.	Selección y costo unitario	75
4.3.	Costo asociado a la sustitución	75
5.	Aplicación de Metodología al local Curicó	76
5.1.	Local Curicó	77
5.1.1.	Levantamiento de información del local relacionada al frío alimentario	77
5.1.2.	Análisis de compatibilidad	80

5.1.3. Selección de equipos y componentes	81
5.1.4. Costo asociado a la sustitución	82
5.1.5. Comparación de costos	83
5.2. Análisis de ahorro energético	84
5.2.1. Establecer línea base consumo energético frío alimentario	84
5.2.2. Determinar el ahorro energético con equipos nuevos	86
6. Conclusiones	87
Bibliografía	90
Glosario	92
Anexos	93
A. Cálculos termodinámicos	
realizados	94
A.1. Resultados obtenidos	95
B. Equipos seleccionados	98
B.1. Imagenes referenciales de equipos seleccionados	99

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
2.1. Clasificación de refrigerantes según su composición	9
2.2. Clasificación de refrigerantes según su toxicidad	10
2.3. Diagrama de fase para el R-744 de presión versus temperatura	14
2.4. Diagrama de fase para el R-744 de presión versus entalpía	15
2.5. Ciclo de refrigeración subcrítico	16
2.6. Ciclo de refrigeración transcrito	17
2.7. Ciclo básico de refrigeración	19
2.8. Ciclo básico de refrigeración en diagrama presión - entalpía	19
2.9. Evaporador utilizado en local Jumbo	20
2.10. Compresor utilizado en local Jumbo	20
2.11. Condensador utilizado en local Jumbo	21
2.12. Recibidor de líquidos	22
2.13. Acumulador de succión	22
2.14. Filtro secador	23
2.15. Visor de humedad y líquidos	23
2.16. Propiedades lubricante recomendado para R-744 empresa BRETTIS	30
3.1. Diagrama presión versus entalpía	35
3.2. Diagrama presión versus entalpía R-134a congelados	36
3.3. Diagrama presión versus entalpía R-744 congelados	37
3.4. Diagrama presión versus entalpía R-134a refrigerados	37
3.5. Diagrama presión versus entalpía R-744 refrigerados	38
3.6. Diagrama presión versus entalpía R-134a alta temperatura	38
3.7. Diagrama presión versus entalpía R-744 alta temperatura	39
3.8. Diagrama presión versus entalpía R-22 congelados	44
3.9. Diagrama presión versus entalpía R-744 congelados	45
3.10. Diagrama presión versus entalpía R-22 refrigerados	45
3.11. Diagrama presión versus entalpía R-744 refrigerados	46
3.12. Diagrama presión versus entalpía R-22 salas de preparación	46
3.13. Diagrama presión versus entalpía R-744 salas de preparación	47
3.14. Diagrama presión versus entalpía R-404a congelados	51
3.15. Diagrama presión versus entalpía R-744 congelados	51
3.16. Diagrama presión versus entalpía R-404a refrigerados	52

3.17. Diagrama presión versus entalpía R-744 refrigerados	52
3.18. Diagrama presión versus entalpía R-404a salas de preparación	53
3.19. Diagrama presión versus entalpía R-744 salas de preparación	53
3.20. Diagrama presión versus entalpía R-507a congelados	57
3.21. Diagrama presión versus entalpía R-744 congelados	57
3.22. Diagrama presión versus entalpía R-507a refrigerados	58
3.23. Diagrama presión versus entalpía R-744 refrigerados	58
3.24. Diagrama presión versus entalpía R-507a sección salas de preparación . . .	59
3.25. Diagrama presión versus entalpía R-744 sección salas de preparación	59
3.26. Gráfico resumen balance energético en el evaporador	63
3.27. Gráfico resumen balance energético en el evaporador	64
3.28. Gráfico resumen balance energético en el evaporador	65
3.29. Gráfico resumen balance energético en el compresor	66
3.30. Gráfico resumen balance energético en el compresor	67
3.31. Gráfico resumen balance energético en el compresor	68
3.32. Gráfico resumen balance energético en el condensador	69
3.33. Gráfico resumen balance energético en el condensador	69
3.34. Gráfico resumen balance energético en el condensador	70
3.35. Gráfico coeficientes de operación	71
4.1. Diagrama de flujo con los pasos requeridos para el análisis de la sustitución	73
5.1. Factura electricidad mes Enero 2015 local Curicó	86
B.1. Imagen referencial de central seleccionada	99
B.2. Imagen referencial de evaporador cúbico seleccionad	99
B.3. Imagen referencial de evaporador sala de procesos seleccionado	99
B.4. Imagen referencial de módulo congelados seleccionado	100
B.5. Imagen referencial de vitrinas asistidas seleccionadas	100
B.6. Imagen referencial de islas autoservicio seleccionadas	100
B.7. Imagen referencial de isla de tortas seleccionada	101
B.8. Imagen referencial de murales seleccionados	101

ÍNDICE DE TABLAS

	página
2.1. Comparación de refrigerantes según su composición	11
2.2. Comparación de refrigerantes según su seguridad	12
2.3. Comparación de refrigerantes según su impacto medio ambiental	12
2.4. Comparación de refrigerantes según su punto crítico en presión y temperatura	13
2.5. Situación de utilización de refrigerantes en Chile	31
3.1. Resultados obtenidos balance energético sección congelados	39
3.2. Resultados obtenidos balance energético sección refrigerados	41
3.3. Resultados obtenidos balance energético sección salas de preparación . . .	42
3.4. Resultados obtenidos balance energético sección congelados	47
3.5. Resultados obtenidos balance energético sección refrigerados	48
3.6. Resultados obtenidos balance energético sección salas de preparación . . .	49
3.7. Resultados obtenidos balance energético sección congelados	54
3.8. Resultados obtenidos balance energético sección refrigerados	55
3.9. Resultados obtenidos balance energético sección salas de preparación . . .	56
3.10. Resultados obtenidos balance energético sección congelados	60
3.11. Resultados obtenidos balance energético sección refrigerados	61
3.12. Resultados obtenidos balance energético sección salas de preparación . . .	62
4.1. Ejemplos de protocolo para levantamiento de información	74
4.2. Ejemplo entrega de datos de equipos y costos unitarios	75
4.3. Ejemplos de protocolo a utilizar para el costo asociado a la sustitución . .	75
5.1. Levantamiento de información del local	77
5.2. Levantamiento de información del local	78
5.3. Levantamiento de información del local	79
5.4. Resumen comparativo de datos obtenidos para R-22 y R-744	80
5.5. Selección de equipos requeridos para la sustitución	81
5.6. Costo total de equipos	82
5.7. Comparación de costos	83
5.8. Línea base consumo eléctrico frío alimentario	85
5.9. Ahorro energético	86