

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	La humanidad y su relación con el cambio climático	1
1.1.1	Historia del desarrollo humano	1
1.1.2	Relación del efecto invernadero con el cambio climático.....	1
1.1.3	Impactos del cambio climático en otros recursos	3
1.1.4	Relación de la Ingeniería Civil Química con el cambio climático.....	3
1.2	Relación de la industria con el cambio climático.....	4
1.2.1	Emisiones de GEI por área a nivel mundial	4
1.2.2	Emisiones de GEI en Chile	6
1.2.3	Industria de gases en Chile.....	8
1.3	Proceso de separación y licuación de gases [16].....	9
1.4	Herramienta de cuantificación de impacto ambiental.....	10
1.4.1	Historia del ACV	11
1.4.2	Fortalezas del ACV [20]	11
1.4.3	Debilidades del ACV.....	12
1.5	Objetivos.....	12
1.5.1	Objetivo general	13
1.5.2	Objetivos específicos	13
2	Análisis de Ciclo de Vida de una planta de separación y licuación de gases: Línea base.....	14
2.1	Metodología del ACV [22].....	14
2.2	Antecedentes sobre ACV de plantas ASU	15
2.3	Modelación del proceso para el análisis	16
2.3.1	Unidad funcional.....	16
2.3.2	Alcance del ACV	17
2.4	Análisis de ciclo de vida del caso basal	18
2.4.1	Supuestos.....	18
2.4.2	Análisis de huella de carbono	20
2.4.3	Análisis de huella hídrica	23
3	Alternativas de cambio	26
3.1	Cambios estratégicos	26
3.1.1	Uso de energía solar en el proceso.	26

3.1.2	Alternativas de enfriamiento de agua	27
3.2	Cambios tácticos	30
3.2.1	Alternativas orientadas al cambio de maquinaria.	30
3.2.2	Estudio de detenciones de la planta.....	32
3.2.3	Versión economizadora de Chiller.....	32
3.2.4	Cambio de refrigerante	35
3.2.5	Uso de nitrógeno como refrigerante.....	36
4	Evaluación de alternativas de cambio	38
4.1	Evaluación ambiental	38
4.2	Inversión económica de las alternativas	40
4.3	Evaluación de escenarios mixtos.....	41
5	Conclusiones y recomendaciones.....	46
6	Bibliografía.....	47
7	Anexos	52
7.1	Diagrama de flujos de una ASU	52
7.2	Huella de carbono del caso basal de estudio	54
7.2.1	Electricidad.....	54
7.2.2	Hidrógeno	54
7.2.3	Refrigerante	55
7.2.4	Transporte.....	55
7.3	Huella hídrica del caso basal de estudio	56
7.3.1	Electricidad.....	56
7.3.2	Hidrógeno	56
7.3.3	Refrigerante	57
7.4	Estudio de utilización de chiller economizador [47]	57
7.5	Transferencia de calor con nitrógeno líquido.....	59
Opción 1	61
Opción 2	62

Índice de Tablas

Tabla 1. Consumo de insumos y servicios en planta de separación y licuación de gases atmosféricos para 1.000 [t] de producto líquido.	17
Tabla 2. Datos de distribución de productos líquidos.	20
Tabla 3. Potencial de Calentamiento Global de GEI. [7].....	21
Tabla 4. Escenarios de suministro de energía solar fotovoltaica.	27
Tabla 5. Comparación de compresores usados y propuestos.	31
Tabla 6. Comparación de consumo de electricidad en función al modo de operación de la planta. .	32
Tabla 7. Potencia del compresor de un chiller con respecto a temperatura de aceite sub-enfriado. [48]	34
Tabla 8. Comparación entre alternativas de refrigerantes [51]......	36
Tabla 9. Alternativas de transferencia de calor con nitrógeno líquido.....	37
Tabla 10. Costo inversión de las alternativas en MUSD	41
Tabla 11. Identificación de escenarios.	42
Tabla 12. Huella de carbono de la producción de 1 [kWh] con diferentes fuentes energéticas.	54
Tabla 13. Huella de carbono de la electricidad utilizada en la producción de 1.000 [t] de producto líquido.....	54
Tabla 14. Huella de carbono de la producción de 1 [kg] de hidrógeno.....	54
Tabla 15. Huella de carbono de la producción de 1 [kg] de refrigerante.....	55
Tabla 16. Huella de carbono del transporte marítimo de 1 [t*km] de refrigerante.....	55
Tabla 17. Huella de carbono de disponer 1 [kg] de refrigerante.	55
Tabla 18. Huella de carbono del transporte refrigerado de 1 [t*km] de producto líquido.....	55
Tabla 19. Huella de carbono del transporte refrigerado por tonelada de producto líquido.	56
Tabla 20. Huella hídrica de la producción de 1 [kWh] con diferentes fuentes energéticas.....	56
Tabla 21. Huella hídrica de la electricidad utilizada en la producción de 1.000 [t] de producto líquido.....	56
Tabla 22. Huella hídrica de la producción de 1 [kg] de hidrógeno.	56
Tabla 23. Huella hídrica de la producción de 1 [kg] de refrigerante.	57
Tabla 24. Datos correspondientes a la transferencia de calor del aire.	61
Tabla 25. Datos correspondientes a la transferencia de calor de nitrógeno.	61

Índice de Figuras

Figura 1. Emisiones históricas a nivel de mundial de CO ₂ . [5]	2
Figura 2. Variación de la temperatura global por año. [6]	2
Figura 3. Escasez de agua en cuencas a nivel mundial (2011). [9]	3
Figura 4. Distribución emisiones de GEI por sector a nivel mundial al 2010. [11]	5
Figura 5. Emisiones de CO ₂ equivalente por sector industrial a nivel mundial. [12]	6
Figura 6. Emisiones netas históricas de GEI en Chile. [7]	7
Figura 7. Emisiones de CO ₂ equivalente por sector en Chile al 2006. [7].....	7
Figura 8. Diagrama de bloques de una unidad de separación y licuación de gases atmosféricos. [16]9	
Figura 9. Etapas del ciclo de vida de un producto.	11
Figura 10. Escenarios de análisis de huella de carbono según EIGA. [24]	15
Figura 11. Entradas y salidas del proceso global.	17
Figura 12. Huella de carbono de 1.000 toneladas de producto líquido.	21
Figura 13. Huella de carbono de matriz de generación eléctrica propuesta.	22
Figura 14. Huella hídrica de 1.000 toneladas de producto líquido.	24
Figura 15. Disponibilidad de agua por región en Chile. [34]	25
Figura 16. Radiación solar anual en la sexta región de Chile. [36].....	26
Figura 17. Torre de enfriamiento evaporativo de tiro inducido. [40].....	28
Figura 18. Torre de enfriamiento con circuito cerrado. [41]	29
Figura 19. Torre de enfriamiento híbrida. [42]	30
Figura 20. ASU con recuperación de energía integrada en compresor. [47]	31
Figura 21. Diagrama de flujos de un chiller estándar. [48]	33
Figura 22. Diagrama de flujos de un chiller economizador. [48]	34
Figura 23. Cambio en la huella de carbono del caso basal con respecto a las alternativas.	39
Figura 24. Cambio en huella hídrica del caso basal con respecto a las alternativas.....	40
Figura 25. Toneladas de CO ₂ equivalente disminuidas por 1 [MUSD] invertido en cada escenario con respecto a 1.000 toneladas de producto líquido.....	43
Figura 26. Consumo de agua dulce disminuido por 1[MUSD] invertido en cada escenario con respecto a 1.000 toneladas de producto líquido.....	44
Figura 27. Diagrama de proceso para un sistema de refrigeración con intercambiador economizador. [48]	57
Figura 28. Potencia de compresión como función de la temperatura sub-enfriada del refrigerante en el intercambiador economizador. [48].....	58
Figura 29. Flujo másico de refrigerante en circulación en función de la temperatura sub-enfriada del refrigerante en el intercambiador economizador. [48].....	59