



Análisis energético de un sistema de acondicionamiento por absorción para diferentes zonas climáticas de Colombia.

Daniel Moreno Gaviria
Jennifer Andrea Garzón Prada

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Químico

Asesor

Diego Fernando Mendoza Muñoz, Doctor (PhD) en Ingeniería Química

Co-asesor

Juan Carlos Quintero Díaz, Doctor (PhD) en Ingeniería Química y Ambiental

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química
Medellín, Colombia
2022.

Cita	Moreno Gaviria y Garzón Prada [1]
Referencia	[1] D. Moreno Gaviria y J. A. Garzón Prada, “Análisis energético de un sistema de acondicionamiento por absorción para diferentes zonas climáticas de Colombia”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Química, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.
Estilo IEEE (2020)	



Grupo de Investigación GIPI, Bioprocesos.

Centro de Investigación Ambientales y de Ingeniería (CIA).



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Lina María González Rodríguez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

DEDICATORIA

Para mis padres, Alexandra y Guillermo, que desde un principio de la carrera me estuvieron apoyando en todos los aspectos posibles, para ellos es este logro.

Para Andrea, mi compañera y mejor amiga incondicional durante todo este trayecto, la cual siempre supo sacar lo mejor de mí.

Daniel Moreno Gaviria.

Dedicado de manera muy especial a mi madre y a toda mi familia que me dieron el impulso para culminar mi carrera, sin duda cada uno de sus aportes fue indispensable.

Dedicado con mucho cariño a mi mejor amigo que sin él no habría sido posible.

Andrea Garzón Prada.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Diego Fernando Mendoza y al profesor Juan Carlos Quintero por su apoyo y asesoramiento en todo momento y darnos la confianza para realizar este gran trabajo que nos brindó una de las mejores experiencias desarrolladas durante nuestra carrera.

Daniel Moreno & Andrea Prada.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
1. INTRODUCCIÓN	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
3. JUSTIFICACIÓN.....	22
4. OBJETIVOS.....	23
5. HIPÓTESIS	24
6. MARCO TEÓRICO	25
6.1 Sistemas de aire acondicionado.....	25
6.1.1 Tipos de sistemas de aire acondicionado.	26
6.1.1.1 Compresión mecánica.	26
6.1.1.2 Absorción.	28
6.2 Sistema de aire acondicionado por absorción basado en una solución de CaCl ₂	29
6.2.1 Estructura y equipos.....	29
6.2.1.1 Columnas de absorción y desorción.....	30
6.2.1.2 Sistemas de calentamiento y enfriamiento.	31
6.2.1.3 Sistemas de cambio de presión.....	31
6.2.2 Disecantes.	32
6.2.2.1 Descripción y propiedades del CaCl ₂	32
6.3 Condiciones climáticas y confort térmico.....	33
6.3.1 Psicometría.....	33
6.3.1.1 Propiedades Psicrométricas.....	33
6.3.1.2 Construcción de la carta Psicrométrica.	34
6.3.2 Condiciones climáticas de distintas zonas del territorio colombiano.	35
6.3.2.1 Región Caribe.....	36
6.3.2.2 Región Andina.....	36

6.3.2.3 Región Amazónica.	36
6.3.2.4 Región Orinoquia.	36
6.3.2.5 Región Pacífica.	36
6.3.2.6 Región Insular.	36
6.3.3 Confort térmico.	37
6.3.3.1 Teoría del confort.	37
6.3.3.2 Tasas de renovación del aire.	39
6.3.3.3 Cargas térmicas por componente humanos y no humanos.	40
6.4 Radiación y colectores solares.	41
6.4.1 Fenómenos de irradiación solar.	42
6.4.1.1 Datos de radiación solar.	42
6.4.2 Colectores solares.	43
6.4.2.1 Colector de placa plana.	43
6.4.2.2 Colector de tubos de vacío.	44
6.4.2.3 Colector de concentración.	44
6.5 Modelado de los equipos.	45
6.5.1 Sistemas de absorción.	46
6.5.1.1 Condiciones de flujo mínimo de líquido.	46
6.5.2 Sistema de desorción.	47
6.5.2.1 Condiciones de flujo mínimo del gas.	47
6.5.3 Balances de masa y energía.	47
6.5.4 Empaques.	48
6.5.5 Diámetro de la torre y caída de presión.	49
6.5.6 HETP.	51
6.5.7 Sistema de ventilación.	52

6.5.7.1 Cambio de presión y temperatura.....	52
6.5.7.2 Potencia adiabática teórica.	52
6.5.8 Sistema de bombeo.	52
6.5.8.1 Potencia adiabática teórica.	53
6.5.8.2 Cambio de presión y temperatura.....	53
6.5.9 Sistema de calentamiento y enfriamiento.	53
6.5.9.1 Carga térmica.	53
6.6 Simulación.....	54
6.6.1 Modelo RadFrac de no equilibrio.	54
6.6.2 Modelado en Rated Based.	54
6.6.3 Modelos de cambio de presión.	55
6.6.4 Modelos de cambio de temperatura.	55
6.6.5 Model analysis tools.	56
6.7 Condiciones de diseño.....	56
6.7.1 Torres de absorción y desorción.	56
6.7.2 Bombas.	57
6.7.2.1 Eficiencia.....	57
6.7.2.2 Potencia real.	57
6.7.2.3 Cabeza de bomba.	58
6.7.3 Ventiladores.	58
6.7.3.1 Eficiencia.....	58
6.7.3.2 Potencia real.	59
6.7.4 Colector solar.	59
6.7.4.1 Eficiencia y área de colector.	59
6.7.5 Enfriador.	60

6.7.5.1 Área del enfriador.....	60
7. METODOLOGÍA	63
7.1 Identificación de la información base.	63
7.1.1 Revisión y búsqueda bibliográfica.....	63
7.1.2 Propiedades de las sustancias.....	63
7.1.3 Caracterización climática de las ciudades colombianas a estudiar.	64
7.1.4 Condiciones ambientales	64
7.2 Psicrometría.....	64
7.3 Zona de confort.	65
7.4 Construcción del caso base.	65
7.4.1 Espacio, carga térmica y flujo de aire.	65
7.4.2 Condiciones de flujo de líquido requerido.....	66
7.5 Acondicionamiento del ciclo.....	68
7.6 Simulación caso base.	68
7.7 Requerimiento energético del sistema.....	70
7.8 Condiciones de operación y diseño.	70
7.9 Análisis de sensibilidad.....	70
7.9.1 Temperatura y Humedad relativa.....	71
7.9.2 Temperatura y flujo de solvente.	72
7.9.3 Concentración del solvente.	73
7.9.4 Diámetro y altura del absorbedor y desorbedor.....	74
8. RESULTADOS.....	75
8.1 Análisis de grados de libertad y cálculos primarios para la simulación.....	75
8.2 Resultados basados en la simulación	79
8.3 Condiciones de diseño.....	82
8.4 Resultados del análisis de sensibilidad.....	85

8.4.1 Temperatura y humedad relativa	85
8.4.2 Temperatura, flujo y fracción másica de solvente.	88
8.4.3. Diámetro y altura del absorbedor y desorbedor	93
9. DISCUSIÓN.....	97
9.1 Acondicionamiento del aire y recuperación de solvente basado en la simulación	97
9.2 Requerimientos energéticos basados en la simulación	98
9.3 Características del diseño	103
9.4 Variación de la temperatura y humedad relativa ambiental	103
9.5 Variación de la temperatura, flujo y fracción másica del solvente	105
9.6 Variación del diámetro y altura de empaque.....	107
10. CONCLUSIONES	109
11. RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS	113
ANEXOS.....	117

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Propiedades del cloruro de calcio.
- Tabla 2. Tasas de renovación por hora de espacios según la norma DIN 1946.
- Tabla 3. Composición del aire seco.
- Tabla 4. Datos de presión y elevación de cada ciudad.
- Tabla 5. Condiciones críticas de temperatura y humedad relativa ambiental en cada ciudad.
- Tabla 6. Tipos de empaque y sus dimensiones para el absorbedor.
- Tabla 7. Tipos de empaque y sus dimensiones para el desorbedor.
- Tabla 8. Variables para sensibilizar.
- Tabla 9. Variables respuesta.
- Tabla 10. Análisis de grados de libertad para el sistema acoplado.
- Tabla 11. Condiciones de acondicionamiento para la corriente de aire en cada ciudad.
- Tabla 12. Cargas térmicas y flujo recalculado requerido para cada ciudad.
- Tabla 13. Flujos de corriente líquida en el absorbedor para cada ciudad.
- Tabla 14. Flujos de corriente gaseosa en el desorbedor para cada ciudad.
- Tabla 15. Dimensiones del interno anillos Pall para el absorbedor y desorbedor.
- Tabla 16. Resultados de la simulación para el absorbedor.
- Tabla 17. Resultados de la simulación para el desorbedor.
- Tabla 18. Resultados de la simulación para los ventiladores.
- Tabla 19. Resultados de la simulación para las bombas.
- Tabla 20. Consumo eléctrico neto por el sistema de aire acondicionado.
- Tabla 21. Requerimientos energéticos para el colector y el enfriador.
- Tabla 22. Datos de acondicionamiento del sistema.
- Tabla 23. Condiciones de diseño para el absorbedor.
- Tabla 24. Condiciones de diseño para el desorbedor.
- Tabla 25. Condiciones de diseño para las bombas y ventiladores.
- Tabla 26. Condiciones de diseño para el colector.
- Tabla 27. Condiciones de diseño para el enfriador.
- Tabla 28. Potencia neta requerida por el compresor y diferencia con el sistema tradicional.
- Tabla 29. Cargas térmicas del sistema tradicional y diferencias respecto al de absorción.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Sistema de refrigeración por compresión de gases.
- Figura 2. Diagrama $p-h$ del ciclo de compresión.
- Figura 3 Sistema de enfriamiento de gas por absorción.
- Figura 4. Sistema de acondicionamiento de aire por absorción.
- Figura 5. Distribución de las corrientes del absorbedor.
- Figura 6. Diagrama de fases del cloruro de calcio y agua.
- Figura 7. Líneas de propiedades constantes en la carta psicrométrica.
- Figura 8. Grafica de zona de confort.
- Figura 9. Diagrama de zonas de sensación térmica.
- Figura 10. Estados de sensación térmica según las condiciones ambientales.
- Figura 11. Flujos de energía radiante en procesos solares térmicos.
- Figura 12. Partes del colector de placa plana.
- Figura 13. Tipos de tubos de vacío: tubo de calor (parte superior) y tubo en U (parte inferior).
- Figura 14. Modelos termodinámicos disponibles en una simulación.
- Figura 15. Primer paso para para la selección de modelos termodinámicos.
- Figura 16. Procedimiento para sustancias polares y no electrolíticas.
- Figura 17. Opciones para cálculos en fase vapor con modelos de coeficientes de actividad.
- Figura 18. Tipos de empaque aleatorio y fabricantes.
- Figura 19. Tipos de empaques estructurados.
- Figura 20. Correlación generalizada de caída de presión de torres empacadas.
- Figura 21. Factor de corrección para la densidad de líquido.
- Figura 22. Factor de corrección para la viscosidad del líquido.
- Figura 23. Eficiencia total del ventilador según el grado FEG y el tamaño.
- Figura 24. Resultados experimentales para la eficiencia en un colector para calentamiento de agua.
- Figura 25. Eficiencia de colector basada en la configuración para calentamiento de agua.
- Figura 26. Rangos de temperatura de operación para el fluido de servicio.
- Figura 27. Factor de corrección para un intercambiador 2-4.
- Figura 28. Diagrama estructural de la metodología.
- Figura 29. Dimensiones de la oficina para acondicionamiento.
- Figura 30. Selección de sustancias.
- Figura 31. Modelo termodinámico para la fase líquida y gaseosa.
- Figura 32. Diagrama de flujo del proceso.
- Figura 33. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad de temperatura y humedad relativa.
- Figura 34. Variable respuesta en el análisis de sensibilidad de temperatura y humedad relativa.
- Figura 35. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad de temperatura del solvente.
- Figura 36. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad del flujo de solvente.
- Figura 37. Variable respuesta en el análisis de sensibilidad del flujo de solvente.
- Figura 38. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad de temperatura y flujo del solvente.
- Figura 39. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad de la concentración de CaCl_2 .

Figura 40. Variable respuesta para el análisis de sensibilidad de la concentración de CaCl_2 .

Figura 41. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad del diámetro y altura del absorbedor.

Figura 42. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad del diámetro y altura del desorbedor.

Figura 43. Temperatura vs humedad absoluta de acondicionamiento de la ciudad de Medellín.

Figura 44. Temperatura del aire vs temperatura de acondicionamiento para la ciudad de Medellín.

Figura 45. Condiciones de acondicionamiento en la zona de confort para ciudad de Medellín.

Figura 46. Potencia neta requerida para la bomba 1, ciudad de Medellín.

Figura 47. Carga térmica requerida en el colector, ciudad de Medellín.

Figura 48. Carga térmica requerida en el enfriador, ciudad de Medellín.

Figura 49. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura de solvente y flujo del solvente de Medellín.

Figura 50. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura del solvente y flujo del solvente.

Figura 51. Potencia neta requerida de la bomba 1, ciudad de Medellín.

Figura 52. Carga térmica del colector, ciudad de Medellín

Figura 53. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la fracción másica de CaCl_2 .

Figura 54. Temperatura de acondicionamiento en función de la fracción másica de CaCl_2 .

Figura 55. Potencia neta requerida por la bomba 1 en función de la fracción másica de CaCl_2 .

Figura 56. Carga térmica requerida por el colector en función de la fracción másica de CaCl_2 .

Figura 57. Humedad absoluta de acondicionamiento en función del diámetro y HETP del absorbedor, en Medellín.

Figura 58. Potencia neta requerida en la bomba 1 en función del diámetro y HETP del absorbedor, en Medellín.

Figura 59. Potencia neta requerida en la bomba 2 en función del diámetro y HETP del desorbedor, en Medellín.

Figura 60. Carga térmica del colector en función del diámetro y HETP del absorbedor, ciudad de Medellín.

Figura 61. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y HETP del absorbedor, ciudad de Medellín.

Figura 62. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y HETP del desorbedor, ciudad de Medellín.

r	Rocío, reducida
ref	Referencia
s	Saturación, isoentrópica
sat	Saturación
sc	Sobre calentado
SJ	Compuesto desorbido no clave
SK	Compuesto desorbido clave
T	Total, torre
U	Útil
V,v	Vapor
w	Pared

Letras griegas

δ	Espesor
η	Eficiencia
λ	Calor de vaporización
μ	Viscosidad
ρ	Densidad
ϕ	Fracción no absorbida/no desorbida
Δ	Cambio

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un análisis energético de un sistema de aire acondicionado por absorción que utiliza un colector solar de placa plana como principal fuente de energía para climatizar una oficina de 30m² ubicada en diferentes zonas climáticas del territorio colombiano. Las ciudades seleccionadas fueron Medellín, Arauca, Buenaventura, Cartagena, Inírida y San Andrés. Las condiciones de temperatura y humedad relativa de acondicionamiento de la oficina se fijaron en 23°C y 60%, respectivamente. El sistema de aire acondicionado analizado en este trabajo se desarrolló con una solución acuosa al 40% en peso de CaCl₂ como una solución disecante absorbente. Se simuló el sistema con ayuda del software Aspen Plus ®. Se tomó como caso base a la ciudad de Medellín, en donde se obtuvieron las siguientes cargas térmicas para los diferentes equipos: Colector 95.30 kW, enfriador 92.99 kW y el consumo eléctrico neto de 0.1654 kW en bombas y ventiladores. El ahorro energético y monetario debido al gasto eléctrico que se alcanzó al analizar el sistema de aire acondicionado por absorción es del 89.7% con respecto al sistema de acondicionamiento tradicional.

Palabras clave — cloruro de calcio, acondicionamiento de aire, colector solar, análisis energético, simulación.

ABSTRACT

In this work, an energy analysis of an absorption air conditioning system using a flat plate solar collector as the main energy source to air condition a 30m² office located in different climatic zones of Colombia was carried out. The selected cities were Medellín, Arauca, Buenaventura, Cartagena, Inírida and San Andrés. The office conditioning temperature and relative humidity conditions were set at 23°C and 60%, respectively. The air conditioning system analyzed in this work was developed with a 40% by weight aqueous solution of CaCl₂ as an absorbent desiccant solution. The system was simulated with the help of Aspen Plus ® software. The base case was the city of Medellín, where the following thermal loads were obtained for the different equipment: collector 95.30 kW, chiller 92.99 kW and the net electrical consumption of 0.1654 kW in pumps and fans. The energy and monetary savings due to electricity consumption achieved by analyzing the absorption air conditioning system is 89.7% with respect to the traditional air conditioning system.

***Keywords* – calcium chloride, air conditioning, solar collector, energy analysis, simulation.**

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día el uso de aire acondicionado es un recurso necesario y ampliamente utilizado para el confort térmico de espacios como oficinas, colegios, empresas, entre otros, y requieren grandes cantidades de aire para asegurar la comodidad y bienestar de las personas que hacen uso de dichos espacios y que a su vez afectan la condición térmica del recinto. El efecto térmico generado por las personas y sus actividades diarias, junto con las condiciones climáticas de un territorio, afectan la calidad de aire con el que interactúan generando condiciones donde el desarrollo de las actividades no es totalmente agradable para las personas.

Tradicionalmente para el acondicionamiento de estos espacios es común utilizar sistemas de aire acondicionado los cuales funcionan basados en un ciclo de compresión mecánica de un refrigerante de compuestos clorofluorocarbonados, los cuales no son muy amigables con el medio ambiente y además el uso prolongado de estos sistemas de aire acondicionado generan un alto consumo energético debido a la implementación de equipos de compresión de gases los cuales requieren altas demandas de potencia para poder operar.

En algunas regiones de Colombia el calor es una molestia y se hace difícil convivir con él. Pese a que hay espacios en donde se implementan sistemas de aire acondicionado tradicional, algunas zonas no cuentan con un buen servicio eléctrico, además de su costo, y por esta razón, se complica el uso de dicho sistema. Asimismo, es una prioridad disminuir la huella de carbono, que no solo es responsabilidad de las empresas, sino de cada uno de los habitantes, puesto que actualmente el 30% de la energía eléctrica en Colombia se genera a partir del carbón.

Como solución al problema de refrigeración, incluye reducción en el consumo energético, huella de carbono y emisión de gases de efecto invernadero, muchos centros de investigación han realizado numerosos estudios en sistemas de refrigeración que utilizan fuentes de energía alternativa, por ejemplo, sistemas de refrigeración por absorción implementando energía solar que no emitan gases contaminantes a la atmósfera al no usar refrigerantes a base de clorofluorocarbonos (CFC) y que sean de fácil adquisición por el bajo costo de sus materiales e instalación.

Este trabajo se desarrolla con el objetivo de determinar el comportamiento energético de un sistema de aire acondicionado por absorción basado en una solución de CaCl_2 , evaluado para diferentes condiciones climáticas de temperatura y humedad relativa tomando como espacio de

acondicionamiento una oficina de 30m² ubicada en distintas zonas del territorio colombiano. Para la implementación del proceso se empleó un software de simulación de procesos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El fenómeno del incremento de las temperaturas globales ya no es un problema particular para los países de climas cálidos con latitudes medias. Este fenómeno hace que el mundo se enfrente a una crisis energética debido a la demanda de sistemas de aire acondicionado, donde se espera que para el 2050, la demanda mundial de energía utilizada por sistemas de aire acondicionado se triplique. En el 2018, el uso de estos sistemas de aire acondicionado representaba la quinta parte de la electricidad total utilizada en los edificios de todo el mundo y un 10% del consumo mundial de electricidad. Lo anterior ocurre por el rápido crecimiento de países en desarrollo, pues a medida que sus ingresos y nivel de vida mejoran, el crecimiento de la demanda de sistemas de aire acondicionado también lo hará [1]. De acuerdo con estudios realizados por el Invemar e IDEAM, las zonas costeras e insulares en Colombia son altamente vulnerables al impacto del cambio climático [2], por ende, la necesidad de refrigerar los espacios aumentará.

En la actualidad, el uso de aires acondicionados y ventiladores eléctricos, para mantener fresco el ambiente, aumenta el consumo eléctrico entre un 35-42% en los hogares que lo implementan y representan el 20% de todo el consumo mundial de electricidad [3]. El aire acondicionado requiere grandes cantidades de energía eléctrica o combustible fósil, los cuales a su vez generan gases de efecto invernadero [4] y, en ocasiones, son recursos limitados o intermitentes en distintos sectores del territorio colombiano. Según Asoenergía entre enero y diciembre del 2020, los costos de restricción de la energía en Colombia registraron un aumento de 235.4% frente al 2019, lo que tendrá impacto sobre las tarifas durante el 2021 y los siguientes años [5]. Así, la energía renovable se vuelve más atractiva para ser implementada como alternativa de fuente de calor en sistemas de refrigeración. La energía solar es probablemente el sistema más adecuado como fuente de energía renovable en países subtropicales [4].

El tipo de tecnología de acondicionamiento térmico más utilizado es el enfriamiento por absorción, debido a que tiene un control de capacidad simple, es de fácil implementación, de alta confiabilidad, silencioso, tiene larga vida útil, de bajo costo de mantenimiento y es el sistema más factible para el uso eficiente de energía solar en aplicaciones de refrigeración [4]. Utilizar energía solar para hacer funcionar el sistema de aire acondicionado por absorción es una técnica para reemplazar la energía convencional y así, disminuir en gran proporción el consumo eléctrico asociado a los sistemas de refrigeración.

2.1. Antecedentes

El sistema de refrigeración y aire acondicionado no es un descubrimiento reciente y su proceso se ha modificado e investigado con el pasar de los años.

La primera forma de refrigeración se sitúa en 1755 gracias a William Cullen un escocés que obtuvo una pequeña cantidad de hielo en una campana a presión reducida. Algunos años después, en 1810 John Leslie logra producir 3kg de hielo por hora al implementar un recipiente con agua para evaporar y otro recipiente con ácido sulfúrico, ambos dentro de una campana bajo vacío. En 1823, Michael Faraday usando un tubo en U, demostró que la absorción del gas de amoníaco podía ser usado para la producción de frío al evaporarse el amoníaco por un lado del tubo y absorberse el nitrato de plata por el otro [6].

El primer estudio que se tiene registrado de la primera máquina de refrigeración por absorción fue desarrollado por Edmond Carré en 1850 utilizando una solución de $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{SO}_4$ como agente absorbente y refrigerante, respectivamente. Pero no fue hasta que, en 1859 su hermano Ferdinand Carré, prueba el funcionamiento de la máquina de refrigeración por absorción con una solución $\text{H}_2\text{O}-\text{NH}_3$ y, un año después, el equipo es patentado en Estados Unidos para que en 1886 se empiece su comercialización. En 1930 se comienza a utilizar el $\text{LiBr}-\text{H}_2\text{O}$ como par absorbente/refrigerante y, en 1945 la empresa Carrier patenta la primera máquina de absorción utilizando ese fluido [7].

En 1976, Stuart L. Grassie y Norman R. Sheridan en su publicación *“Modeling of a solar-operated absorption air conditioner system with refrigerant storage”* modelan un sistema de aire acondicionado que implementa un colector solar para el calentamiento del generador de un sistema de aire acondicionado tradicional con la intención de generar un modelo para el evaporador y predecir el rendimiento del colector solar. Para un colector solar el cual opera con una razón de flujo másico de 0.011kg/s.m^2 logran obtener eficiencias de 0.77 [8].

En el año 1986, se realiza el primer estudio basado en el sistema de refrigeración con CaCl_2 como absorbente y NH_3 como refrigerante. El doctor O. C. Iloeje publica su artículo *“Closed cycle solar refrigeration with the calcium chloride system”* donde construye y testea el rendimiento de un sistema combinado por un colector solar de doble vidrio con área de 1.14m^2 de exposición, un absorbedor y un generador el cual produce agua condensada a temperaturas que varían entre 3 y 10°C sobre el ambiente; el rendimiento acumulado del sistema alcanza valores entre los 0.07 – 0.08 COP (coeficiente de rendimiento del sistema de aire acondicionado) y la temperatura del

evaporador se mantiene a -10°C lo que es beneficioso para almacenar vacunas y alimentos refrigerados [9].

En el 2007, Thosapon Katejanekarn y S. Kumar analizan el rendimiento de un sistema de ventilador pre acondicionado que usa disecantes líquidos y generación solar simulando un sistema híbrido para condiciones climáticas en Tailandia y analizan los efectos de la variación de la irradiación solar, flujos de aire y disecantes con la intención de mostrar los perfiles de operación y rendimiento en el sistema de aire acondicionado a lo largo de un día [10].

En 2014, en el artículo “*Development and modelling of a solar assisted liquid desiccant dehumidification air-conditioning system*”, Aqeel Kareem Mohaisen y Zhejun Ma, presentaron el desarrollo y la simulación de un sistema solar avanzado asistido por la deshumidificación de un disecante líquido en un sistema de aire acondicionado por absorción en el cual implementan un colector solar como fuente de energía para un tanque de almacenamiento térmico que provee la demanda energética del intercambiador de calor del generador en el ciclo. Usando una solución de cloruro de litio, sus resultados arrojan que se alcanzan entre 0.5-0.55COP en el sistema y logra 73.4% de energía térmica proveniente del colector solar [11].

La evolución del refrigerante a lo largo del tiempo se remonta incluso a varios años antes de la producción en masa de sistemas de aire acondicionado. El primer refrigerante utilizado en un sistema de compresión fue el éter, implementado por Perkins en su máquina de compresión de vapor manual [12]. Posteriormente se fueron utilizando variedades de compuestos orgánicos e inorgánicos como cloruro de etilo y metilo ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$, CH_3Cl) pasando hasta dióxido de sulfuro y dióxido de carbono (SO_2 , CO_2) y durante la década de los 10's hasta los 30's se utilizaron refrigerantes como metano, etano, propano (CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8). Según el tipo de aplicación y equipo se pueden utilizar los siguientes tipos de refrigerantes: Amoníaco (NH_3) puede ser utilizado con compresores reciprocantes en almacenamiento fríos, plantas de hielo, refrigeración de alimentos entre otros. Dióxido de carbono (CO_2) usado como sólido o hielo seco en transportes refrigerados de alimentos congelados. Refrigerante 11 (CCl_3F) es usado con compresores centrífugos para plantas centrales de aire acondicionado de larga capacidad. Refrigerante 12 (CCl_2F_2) usado con compresores reciprocantes, en unidades pequeñas de refrigeración especialmente las domesticas, enfriadores de agua y similares. Refrigerante 22 (CHClF_2) utilizado en gran variedad de procesos con compresores reciprocantes en plantas de aire acondicionado de gran capacidad, procesos de refrigeración de baja temperatura, almacenamiento frío, alimentos congelados y almacenados. En

la actualidad el refrigerante para aplicación en sistemas de aire acondicionado más utilizado y el reemplazo de los anteriormente mencionados, después de la década de los 2000, es el refrigerante 134a, un gas compuesto de hidrofluorocarbonos (HFC) más eficiente energéticamente que permite trabajar a presiones más bajas [12].

Años después, en el año 2017 M. Ahmed, P. Gandhidasan, S. Zubair y H. Bahaidarah, en su artículo “*Thermodynamic analysis of an innovative liquid desiccant air conditioning system to supply potable water*” analizan termodinámicamente un sistema de aire acondicionado basado cloruro de litio el cual consiste en una torre de deshumidificación y una torre regeneradora y se implementan tres intercambiadores para acondicionar las corrientes del proceso. El sistema da como resultado un rendimiento del 11.25% mejor que un sistema convencional y produce 86.4kg/h de agua fresca [13].

Debido al rápido crecimiento de la población mundial y su necesidad de refrigeración y climatización de espacios, durante los últimos 20 años el interés por los sistemas de refrigeración por absorción ha aumentado debido a que representan un ahorro notable en el consumo de energía y reducen, considerablemente, las emisiones de dióxido de carbono que tanto afectan el medio ambiente [6].

3. JUSTIFICACIÓN

Algunas regiones del territorio colombiano son muy calurosas y la dificultad a la hora de trabajar o convivir es bastante incómoda, por esto constantemente se está en búsqueda de un confort térmico. La mayoría de las edificaciones como oficinas, empresas, centros comerciales, hospitales, hoteles, entre otros, cuenta con equipos convencionales de aire acondicionado para su climatización, lo que conlleva a un consumo desmedido de energía eléctrica y la cantidad de emisiones contaminantes que producen dichos sistemas de refrigeración es elevada. Pese a que la mayoría de los inmuebles cuenta con sistemas de aire acondicionado por compresión, en los linderos de algunas ciudades, por no ir muy lejos, no se cuenta con un buen servicio eléctrico y por tanto se dificulta el uso de sistemas de refrigeración afectando no solo su bienestar térmico sino el hecho de mantener frescos los alimentos perecederos.

El propósito de este proyecto es fortalecer el desarrollo de futuros procesos de refrigeración y con la información aquí presente, facilitar el diseño y construcción de sistemas de aire acondicionado por absorción para las zonas del territorio colombiano más calurosas con la búsqueda de optimizar su calidad de vida y disminuir el impacto negativo al medio ambiente implementando fuentes de energías alternativas autosustentables.

4. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Analizar el comportamiento energético de un sistema de acondicionamiento de aire por absorción en diferentes zonas climáticas de Colombia.

B. Objetivos específicos

- Simular el comportamiento de un sistema de acondicionamiento de aire por absorción en estado estacionario.
- Cuantificar los requerimientos energéticos del sistema en función de las condiciones del aire ambiental para diferentes zonas climáticas del territorio colombiano.
- Determinar condiciones de operación y diseño de un sistema de acondicionamiento de aire por absorción en función de la temperatura del aire ambiental y su contenido de humedad en diferentes zonas climáticas del territorio colombiano.
- Realizar un análisis de sensibilidad de las variables más importantes del proceso para determinar las más influyentes en la operación del sistema de acondicionamiento de aire por absorción.

5. HIPÓTESIS

Utilizar cloruro de calcio como desecante líquido para el funcionamiento de un sistema de aire acondicionado por absorción genera un ahorro energético eléctrico mucho mayor frente a un refrigerante usado en sistemas de aire acondicionado convencional.

Los sistemas de aire acondicionado por absorción generan una mayor eficiencia energética comparado con los sistemas aire acondicionado tradicional operados por compresión mecánica.

Es posible emplear un colector solar de placa plana como fuente de calentamiento en sistemas de aire acondicionado por absorción.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 *Sistemas de aire acondicionado.*

Los sistemas de aire acondicionado pueden cumplir una variedad de funciones destinadas a proveer confort térmico, calidad interior del aire y bienestar de las personas durante el tiempo que este se encuentre en funcionamiento y aplicarlo en espacios como viviendas, oficinas, restaurantes entre otros ambientes donde conservar la calidad del aire sea requerido. Estos sistemas efectúan un procesamiento simultáneo de temperatura, humedad, purificación y distribución de la corriente de aire de acuerdo con las condiciones atmosféricas y requisitos de confort. Las instalaciones de acondicionamiento deben efectuar los siguientes procesos básicos [14]:

- Control de la temperatura y humedad: En este proceso el sistema puede cumplir 2 tipos de requerimientos, el primero el enfriamiento y la deshumidificación del aire, un proceso donde se remueve calor sensible y latente del aire debido al efecto de la condensación del vapor de agua que esta contenga. El segundo tipo es el calentamiento y humidificación del aire, este es el proceso contrario donde por efecto del calor suministrado se introduce vapor de agua en la corriente de aire.
- Ventilación y calidad del aire interior: Este proceso se encarga de retirar el aire en el espacio establecido, con el propósito de renovar permanentemente el aire de circulación para lograr el adecuado nivel de pureza y calidad de aire constante.
- Filtración: Este proceso se basa en la limpieza del aire de partículas de polvo o suciedad que puedan afectar el bienestar de las personas, el grado de limpieza que se requiera dependerá del tipo de espacio que se desea tratar.
- Circulación: Este proceso siempre es necesario puesto que el aire de la zona debe estar en constante movimiento con el fin de evitar estancamiento del aire.

Los sistemas de aire acondicionado tiene la siguiente estructura básica [15]:

- Fuente: Es el componente que provee los efectos de calentamiento primario y efectos de enfriamiento, los equipos tradicionales pueden ser enfriadores, calderas, torres de enfriamiento y equipos similares.
- Distribución: Es el componente que transporta los efectos de calentamiento y enfriamiento primarios desde la fuente hacia los espacios que se requieren acondicionar, elementos como conductores, tuberías, ventiladores y bombas.

- Entrega: Introducen efectos de calentamiento y enfriamiento en espacios acondicionados, estos incluyen difusores, radiadores, ventilo convectores, y un amplio rango de dispositivos terminales.
- Control: Son los componentes que regulan las operaciones de los equipos y sistemas para comodidad, proceso, seguridad y eficiencia energética.

6.1.1 Tipos de sistemas de aire acondicionado.

6.1.1.1 Compresión mecánica.

El principal sistema de refrigeración en sistemas de aire acondicionado está basado en el principio de compresión mecánica de los gases. El depósito principal básico es el compresor tipo pistón, aunque para diferentes tipos de espacios se pueden encontrar compresores a tornillo o centrífugos[14]. El esquema principal de estos dispositivos se muestra en la Figura 1.

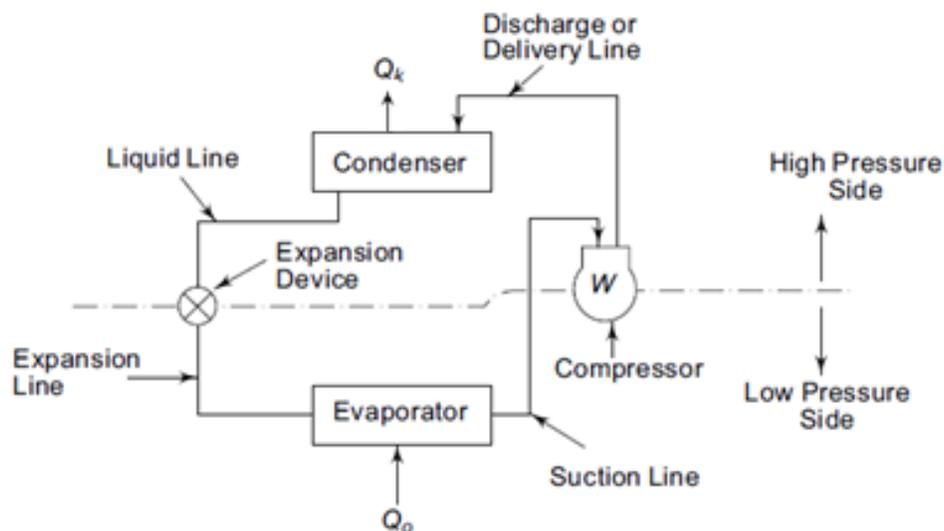


Figura 1. Sistema de refrigeración por compresión de gases [12].

La parte superior del sistema corresponde a la sección de alta presión, el compresor incrementa la presión del refrigerante gaseoso hasta alcanzar un sobrecalentamiento del vapor lo que provoca un aumento de temperatura, este es dirigido por el ducto de descarga o la línea de distribución al condensador donde se le retira el calor y ocurre un enfriamiento del refrigerante alcanzado un estado líquido saturado, la salida del condensador se conduce por la línea de líquido hasta la válvula de expansión donde el refrigerante se expande bajando la presión hasta el punto donde ocurre una vaporización parcial produciendo una mezcla L-V a baja temperatura. A partir de este punto se sitúa la sección de baja presión del proceso donde el refrigerante, a baja temperatura, se conduce por la línea de expansión hacia un evaporador el cual se encarga de

terminar de evaporar y elevar la temperatura del refrigerante por medio del intercambio de calor con el aire de un espacio el cual se encuentra a una condición de temperatura mayor, aquí es donde ocurre el acondicionamiento del aire y se enfría la cantidad requerida para disminuir la temperatura de la habitación, finalmente el refrigerante en fase vapor a alta temperatura es dirigido por la línea de succión hacia el compresor donde repetirá al ciclo. En un diagrama de presión versus entalpía se muestra el proceso anteriormente descrito.

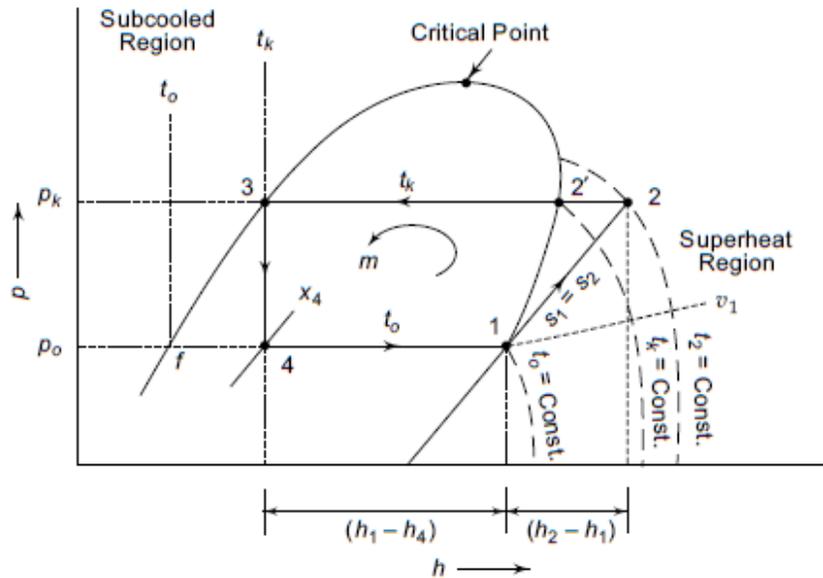


Figura 2. Diagrama $p-h$ del ciclo de absorción [12].

El proceso del punto 4 a 1 corresponde al evaporador del ciclo donde ocurre el acondicionamiento del aire, este proceso es a presión constante y se describe energéticamente mediante el siguiente modelo matemático:

$$q_{4-1} = h_1 - h_4 \quad \text{Ecuación 1}$$

El proceso del punto 1 al punto 2 corresponde a la compresión del refrigerante, el cual es un proceso isoentrópico, por lo tanto, el calor generado es igual a cero. El trabajo específico de compresión se modela con la siguiente ecuación:

$$w_{1-2} = -(h_2 - h_1) \quad \text{Ecuación 2}$$

La sección comprendida entre los puntos 2 y 3 corresponde a la condensación del refrigerante, proceso que se lleva a cabo a presión constante. El modelo del calor específico retirado del ciclo está dado por:

$$q_{2-3} = h_2 - h_3 \quad \text{Ecuación 3}$$

Finalmente, el proceso comprendido entre los puntos 3 y 4 corresponde a la expansión isoentálpica generada por la válvula, en este punto es importante determinar la calidad con la que el refrigerante sale de la válvula con el modelo mostrado a continuación:

$$x_4 = \frac{h_3 - h_{f_4}}{h_1 - h_{f_4}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Cabe resaltar que el término h_{f_4} corresponde a la entalpía específica de saturación de líquido a las condiciones del punto 4 en la Figura 2.

6.1.1.2 Absorción.

Los dispositivos de enfriamiento por absorción son una clase de unidades menos utilizadas en grandes instalaciones por ser de estructura más compleja y necesitar una mayor cantidad de equipos, estas requieren de plantas generadoras de vapor o una fuente de calentamiento equivalente además de un sistema de torre de enfriamiento, el esquema general de estos dispositivos se muestra en la Figura 3.

La principal diferencia con el sistema por compresión de gas es que ya no se utiliza un compresor mecánico para la circulación y aumento de presión del fluido. Además, el refrigerante estará mezclado con otro fluido denominado absorbente cuya finalidad es absorber vapor para concentrar el refrigerante.

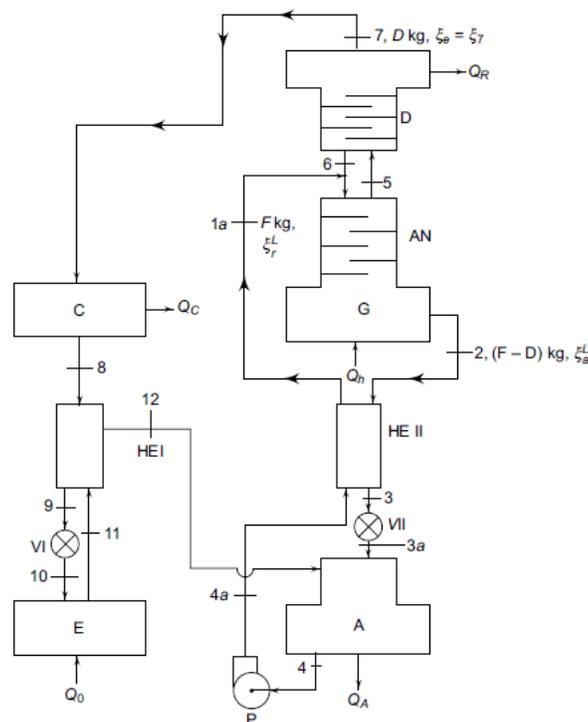


Figura 3 Sistema de enfriamiento de gas por absorción [12].

Los sistemas más comunes en estos procesos son el sistema Amoniac-Agua ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$) y el sistema Bromuro de litio-Agua ($\text{LiBr}_2\text{-H}_2\text{O}$). En el primer sistema, el amoniac cumple la función de refrigerante y el agua es el absorbente, el amoniac forma soluciones altamente no ideales. El segundo sistema utiliza el bromuro de litio como absorbente y el agua como refrigerante. Estos sistemas solo se utilizan para aplicaciones de aire acondicionado por encima del punto de congelación del agua [12].

6.2 Sistema de aire acondicionado por absorción basado en una solución de CaCl_2 .

El sistema absorción propuesto se diferencia del sistema de aire acondicionado por absorción tradicional descrito en la sección anterior debido a que su estructura y funcionamiento de equipos cuenta con principios fisicoquímicos diferentes en el ciclo, pero en especial la diferencia más recalada es que se cuenta con un agente desecante capaz de absorber la humedad del aire por contacto directo con la corriente de acondicionamiento. El solvente entra a un ciclo de recuperación para reconcentrarlo y ser reutilizado durante todo el proceso; este compuesto durante el ciclo se mantiene en estado líquido.

Existen varios deshumidificadores que utilizan desecantes los cuales pueden proporcionar mejor control de humedad del espacio utilizando menor energía que los sistemas de enfriamiento convencionales [15]. Los deshumidificadores desecantes aplican materiales absorbentes (como sílice gel) que tienen una alta afinidad por la humedad, es decir para eliminar el vapor de agua directamente de una corriente de aire la humedad se mantiene dentro de la estructura porosa del desecante. Los desecantes pueden estar en forma sólida como gel de sílice o soluciones acuosa como CaCl_2 , BrLi y NH_3 [15].

6.2.1 Estructura y equipos.

El sistema se compone por un absorbedor el cual se encarga de enfriar y deshumidificar una corriente de aire ambiental gracias a un solvente desecante que entra a la columna a una temperatura menor. El aire tratado, es enviado a la habitación para acondicionar dicho espacio. El solvente que absorbe el contenido de humedad del aire se dirige hacia a un sistema de calentamiento el cual consiste en un colector solar capaz de incrementar la temperatura de esta corriente. Luego la corriente ingresa a un desorbedor con el objetivo de concentrar el solvente mediante el uso de una corriente de aire que ingresa a una menor temperatura, la cual retira parte del agua contenida en el solvente. El agua contenida en la corriente de entrada de solvente se evapora y sale como aire

húmedo por el tope de la columna. El solvente concentrado ingresa a un sistema de enfriamiento con el fin de disminuirle su temperatura para luego regresar al absorbedor y cerrar el ciclo. En la Figura 4 se representa un esquema del sistema de aire acondicionado donde se considera una renovación del 100% del aire de la habitación.

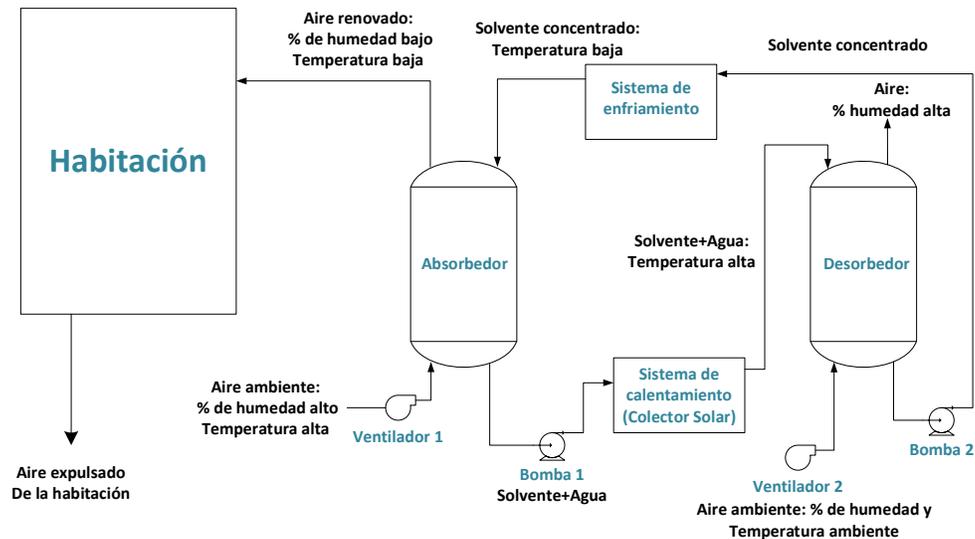


Figura 4. Sistema de acondicionamiento de aire por absorción.

6.2.1.1 Columnas de absorción y desorción.

La absorción de gases es una operación en la cual una mezcla gaseosa (aire) se pone en contacto con un líquido (solución de CaCl_2), a fin de absorber de manera selectiva uno o más componentes del gas (la humedad del aire) mediante su transferencia a la fase líquida. La operación de absorción requiere la transferencia de masa de una sustancia en la corriente gaseosa al líquido y, para este caso, se trabaja en flujo contracorriente [16]. En la Figura 5 se muestra un esquema de la dirección de las corrientes en una columna de absorción.

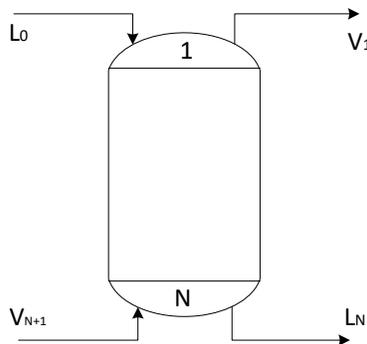


Figura 5. Distribución de las corrientes del absorbedor.

La columna de absorción es un recipiente vertical que contiene una o más secciones de empaque o dispositivos de superficie grande que permiten que el líquido se distribuya y descienda

a través del lecho empacado, de tal forma que expone una gran superficie de contacto con el aire que asciende por dicha columna. En la parte superior de la columna, hay un distribuidor encargado de esparcir uniformemente el líquido a través de la sección transversal [17].

El desorbedor es un equipo similar al absorbedor, pero el proceso es contrario a este, el objetivo de este proceso es tomar de una corriente líquida (solución de CaCl_2) y mediante una corriente gaseosa (aire) desorber o retirar uno o más compuestos de la corriente líquida quedando estos en la corriente gaseosa, en este caso el fenómeno de transferencia de masa ocurre de la corriente líquida hacia la corriente gaseosa [16]. La distribución de corrientes cumple el mismo esquema mostrado en la Figura 5, con la siguientes diferencias: en el proceso de absorción por lo general la corriente de líquido a la entrada (L_0) debe estar a una temperatura inferior a la temperatura de entrada de la corriente gaseosa (V_{N+1}) con el fin de favorecer la transferencia de masa de la fase gaseosa a la fase líquida, por el contrario en la desorción la entrada de líquido (L_0) debe estar a una temperatura mayor que la corriente gaseosa (V_{N+1}) para favorecer la transferencia de la fase líquida a la fase gaseosa.

6.2.1.2 Sistemas de calentamiento y enfriamiento.

El objetivo principal de los sistemas de calentamiento y enfriamiento es el de acondicionar la corriente de solvente (solución de CaCl_2) para la correcta operación de las torres de absorción y desorción y lograr la separación correcta en estos equipos.

Los sistemas de enfriamiento para acondicionar la corriente por la general se encargan de retirar el calor residual de una corriente a mayor temperatura mediante una corriente de servicio a una menor temperatura, los equipos tradicionales son intercambiadores de doble tubo o tubos y camisa.

La fuente de calentamiento también, por lo general, son equipos de doble tubo o tubo y camisa correspondiente a calentadores, hervidores, o incluso hornos [15], los cuales utilizan corrientes de servicio que son un costo extra a la hora del diseño del sistema, por lo cual se podría hacer uso de fuentes de energía alternativas como energía solar, geotérmica, etc., debido a que son fuentes ilimitadas de energía, sin costo y amigables con el ambiente.

6.2.1.3 Sistemas de cambio de presión.

Los sistemas de cambio de presión cumplen con dos objetivos principales, el primero es el de producir los efectos de movimiento de los fluidos en el sistema, en el caso de las corrientes de aire son utilizados ventiladores, y en el caso de las corrientes de líquido se utilizan bombas. El

segundo objetivo aplica para las bombas donde también se encargarán de suplir las caídas de presión que se presenten en los sistemas de calentamiento y enfriamiento.

6.2.2 *Disecantes.*

En los sistemas de absorción es deseable que el par refrigerante-absorbente posea algunas características como baja viscosidad para disminuir el trabajo de bombeo, baja temperatura de congelación, buena estabilidad química y térmica. Las reacciones irreversibles (descomposición, polimerización, corrosión) deben evitarse [12].

Sistema $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$: El cloruro de calcio es altamente soluble en agua, las soluciones que contienen entre el 30-45% en peso de cloruro de calcio son altamente usadas comercialmente. El CaCl_2 es extremadamente higroscópico y libera grandes cantidades de calor durante la absorción del agua y en disolución. Tiende a formar varios hidratos con uno, dos, cuatro o seis moles de agua por mol de cloruro de calcio [18].

6.2.2.1 *Descripción y propiedades del CaCl_2 .*

El cloruro de calcio es un material utilizado para ahorrar energía térmica debido a su alto calor latente. Tiene una temperatura de fusión de 29.9°C , es de bajo costo, no es tóxico y posee baja corrosión en comparación a otros compuestos similares. De acuerdo con el diagrama de fases de la Figura 6 se puede generar un cambio de fase sólida a líquida y lo contrario ajustando la concentración de CaCl_2 , con la ventaja de que, al ajustar, por ejemplo, la concentración al 39-40% de CaCl_2 en agua, la temperatura de fusión y congelación se ajusta a la temperatura de trabajo [19].

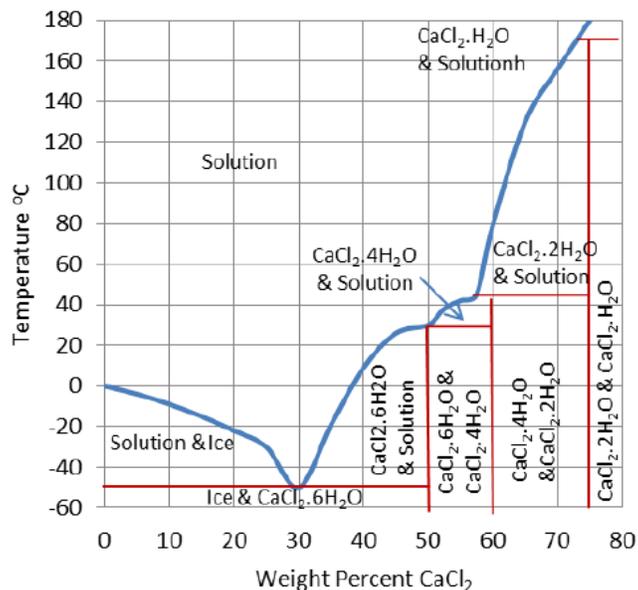


Figura 6. Diagrama de fases del cloruro de calcio y agua [19].

Algunas propiedades del cloruro de calcio [20] se pueden observar en la siguiente la Tabla 1:

Tabla 1. Propiedades del cloruro de calcio. Adaptada de [20].

Propiedad	CaCl ₂
CAS	10043-52-4
Peso molecular	110.99
Composición (%CaCl ₂)	100
Temperatura fusión, °C	773
Temperatura ebullición, °C	1935
Densidad a 25°C, g/cm ³	2.16
Calor de fusión, cal/g	61.5
Calor de solución en H ₂ O, cal/g	-176.2
Calor de formación a 25°C, kcal/mol	-190.1
Capacidad calorífica a 25°C, cal/g°C	0.16

6.3 Condiciones climáticas y confort térmico.

6.3.1 Psicometría.

La psicometría corresponde a aquellas propiedades que se determinan de la mezcla gas-vapor de un sistema aire-agua y es una herramienta muy importante a la hora de realizar los cálculos para los procesos de humidificación y deshumidificación en torreas de enfriamiento, secadores y sistemas de aire acondicionado.

6.3.1.1 Propiedades Psicrométricas.

Humedad relativa: Usualmente expresada en porcentaje, corresponde a la razón entre la masa de vapor de agua en cierto volumen de aire húmedo que se da a una temperatura [12]. También se puede definir como la relación entre la presión parcial del vapor sobre la presión de vapor de saturación a una temperatura dada [21].

$$HR = \frac{\bar{p}}{p_s} * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Humedad absoluta: También llamada humedad específica, relación de humedad o contenido de humedad, es la razón entre la masa del vapor de agua sobre la masa de aire seco [21]. Las unidades más utilizadas en sistema internacional son kg/kg y en sistemas ingles lb/lb.

$$Y = \frac{m_v}{m_{as}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Volumen húmedo: Es la relación entre la masa de vapor por unidad de volumen de aire seco, es posible llegar a confundir este término con la humedad relativa, pero este término se

atribuye más a una medida de concentración por lo cual las unidades típicas son kg/m^3 en sistema internacional de unidades y lb/ft^3 en sistema inglés [21].

$$V_h = \frac{RT}{PM_a(P - p)} \quad \text{Ecuación 7}$$

Temperatura de rocío: Es la temperatura donde se tiene el máximo contenido de vapor de agua posible o la temperatura en donde la presión de vapor es igual a la presión parcial del agua en la mezcla [21].

Temperatura de bulbo seco: Es la temperatura alcanzada por el aire el cual es medido con un instrumento de precisión como lo es un termómetro.

Temperatura de bulbo húmedo: Es la temperatura de equilibrio dinámico que alcanza una superficie líquida donde el agua se evapora en una corriente de aire cuando la tasa de transferencia sea calor por convección a la superficie es igual a la tasa de transferencia de masa desde la superficie [21].

Entalpia de aire húmedo: Es el calor contenido dada una temperatura de aire seco por unidad de masa de aire seco partiendo de un estado de referencia que por lo general es a 0°C [21].

$$H = (Cp_{as} + Cp_v Y)(T - T_0) + \lambda_0 Y \quad \text{Ecuación 8}$$

6.3.1.2 Construcción de la carta Psicrométrica.

La carta psicrométrica es una guía visual donde se relaciona entre si todas las propiedades psicrométricas de una mezcla gas-vapor, en una gráfica paramétrica. Puesto que las propiedades psicrométricas dependen fuertemente de la presión, esta se verá afectada dependiendo la ubicación de la zona que se esté estudiando, pues la elevación de una ciudad determina la presión atmosférica que se ejerza sobre esta. La distribución de la carta psicrométrica se muestra en la Figura 7.

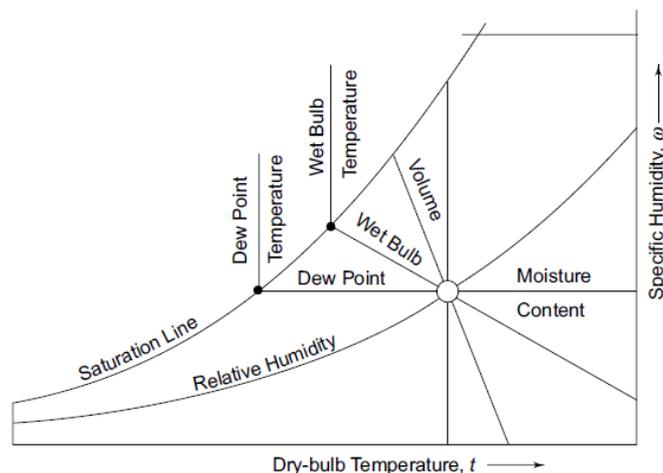


Figura 7. Líneas de propiedades constantes en la carta psicrométrica [12].

En la Figura 7 se puede visualizar la relación de las propiedades psicométricas en un plano. El eje de la abscisa corresponde a la temperatura de bulbo seco y la ordenada corresponde a la humedad absoluta. La relación de estos ejes nos permite definir las líneas de humedad relativa y volumen húmedo a distintas condiciones. La línea de saturación corresponde a la línea donde la humedad relativa del aire alcanza el 100% y en estos puntos se pueden determinar las temperaturas de bulbo húmedo y de rocío en cualquier condición de humedad relativa y/o humedad absoluta y temperatura de bulbo seco. Para determinar estas temperaturas se puede seguir un proceso iterativo empleando las siguientes ecuaciones: la presión de vapor a determinada condición de bulbo húmedo se puede determinar cómo [21]:

$$p = p_{bh} - AP(T_{bs} - T_{bh}) \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$$A = 6.5 \times 10^{-4} (1 + 0.000944 T_{bh}) \quad \text{Ecuación 10}$$

La presión de vapor en cualquier estado de temperatura de bulbo seco y humedad relativa también puede definirse con la siguiente ecuación [21]:

$$p = \exp \left(73.649 - \frac{7258.2}{T_{bs}} - 7.3037 \ln T_{bs} + 4.1653 \times 10^{-6} T_{bs}^2 \right) \frac{HR}{100} \quad \text{Ecuación 11}$$

En el punto de rocío la presión de vapor en saturación es igual la presión de vapor a la temperatura de rocío de modo que [21]:

$$p = \frac{PY}{\frac{PM_v}{PM_{as}} + Y} = \exp \left(73.649 - \frac{7258.2}{T_r} - 7.3037 \ln T_r + 4.1653 \times 10^{-6} T_r^2 \right) \quad \text{Ecuación 12}$$

6.3.2 Condiciones climáticas de distintas zonas del territorio colombiano.

El clima en Colombia es un conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas. Colombia está situado en una posición estratégica en la zona tropical, lo que hace que nuestro territorio se vea afectado en gran medida por grandes cantidades de energía que el sol transfiere a la tierra. Identificar y describir las características del clima a lo largo de la región es fundamental para comprender los fenómenos naturales que suceden en cualquier momento dado [22].

Las propiedades o condiciones atmosféricas cuyo conjunto define el estado físico del clima en determinado lugar del territorio son conocidas como elementos climáticos y las principales que influyen en la sensación de confort térmico son la presión atmosférica, temperatura del aire, contenido de humedad y humedad relativa en el ambiente.

6.3.2.1 Región Caribe.

El Caribe en Colombia está ubicado en la zona norte del país y comprende territorios donde la mayoría de estos están ubicados en zonas costeras sobre el nivel del mar, por lo cual en cuanto a condiciones de humedad se refiere alcanza los niveles más altos, encontrándose valores que alcanzan el 100% de humedad relativa [23]. De igual forma se pueden alcanzar temperaturas considerablemente altas durante todo el año que van desde los 32 hasta los 38°C [24].

6.3.2.2 Región Andina.

La región andina comprende la zona central del territorio colombiano y en su mayoría está formada por zonas donde se eleva la cordillera de los Andes, por esta razón la humedad y temperatura de los departamentos no suele ser elevada debido a la altura de estos sobre el nivel del mar, sin embargo, en departamentos más próximos a la costa pacífica como en el caso de Antioquia la elevación sobre nivel del mar desciende y se pueden encontrar humedades relativas entre el 80% y 95% [23] y alcanzar temperaturas máximas hasta de 32°C [24] en los días más calurosos del año.

6.3.2.3 Región Amazónica.

La Amazonia colombiana está ubicada en la zona sur del territorio colombiano, aunque los departamentos no son costeros, los territorios por lo general son zonas selváticas donde la humedad relativa máxima del 100% [23] se alcanza en la mayoría de horas del día y pueden haber rangos de temperatura más variada desde los 23°C hasta alcanzar máximas de 34°C.

6.3.2.4 Región Orinoquia.

La Orinoquia por lo general es una zona muy calurosa pues está relacionada con los llanos del territorio colombiano, ubicada al oriente de Colombia, esta puede alcanzar en algunos sectores humedades relativas entre el 98% y 100% [23] durante todo el día, además sus temperaturas pueden alcanzar puntos máximos hasta los 33°C [24].

6.3.2.5 Región Pacífica.

La región pacífica corresponde a los departamentos costeros del occidente del país, al ser zonas al nivel del mar se tienen humedades relativas del 100% [23] durante todo el día y temperaturas máximas hasta los 35°C [24] en días calurosos.

6.3.2.6 Región Insular.

Las islas de San Andrés y Providencia ubicadas al noroccidente del territorio, las condiciones de humedad relativa durante el día son del 85 al 100% [23] y temperaturas entre el 28 y 32°C máximas

6.3.3 Confort térmico.

El confort térmico es una condición mental que expresa una persona debido a la satisfacción con respecto a la temperatura de un ambiente y depende de factores como la constitución física, la edad, la dieta, el grado de alimentación y las influencias culturales de los habitantes, así como su actividad al sol o la sombra. Además, si se trata de una zona rural o urbana, de la época del año, la hora del día, tipo de vivienda, entre otros [25].

Por las razones anteriores, el confort térmico puede variar bastante de una persona a otra. La temperatura corporal ideal para una persona es alrededor de 37°C, de no ser así, su salud podría verse afectada hasta el punto de causar la muerte. En zonas cálidas, la temperatura del aire es mayor a 25°C produciéndose una sensación de malestar en la piel acompañado de intensa transpiración y elevación de la temperatura corporal; la sensación térmica que se experimenta es más calurosa entre mayor sea la humedad presente en el aire [25].

6.3.3.1 Teoría del confort.

Cuando se habla de teoría del confort no se puede definir una condición estándar general, la sensación de bienestar en las personas depende de una gran variedad de factores como los son temperaturas del ambiente, estaciones del año, velocidad del viento, calor corporal, actividad física, tipo de ropa, entre otros. Puesto que no hay una condición específica estos equipos se diseñan en base a un intervalo admitido y regulado de trabajo y la mayor fuente de información sobre esto se puede encontrar en la norma americana Standard 55 desarrollada por la sociedad americana de ingenieros de calefacción, refrigeración y aire acondicionado (ASHRAE). Dicha norma provee información sobre las condiciones de temperatura y humedad típicas en gráficas psicrométricas llamadas gráficas de zona de confort (Figura 8) en la cuales se relacionan ciertas variables para ubicar estas zonas dependiendo de la estación del año, tipo de ropa, radiación velocidad del aire [26].

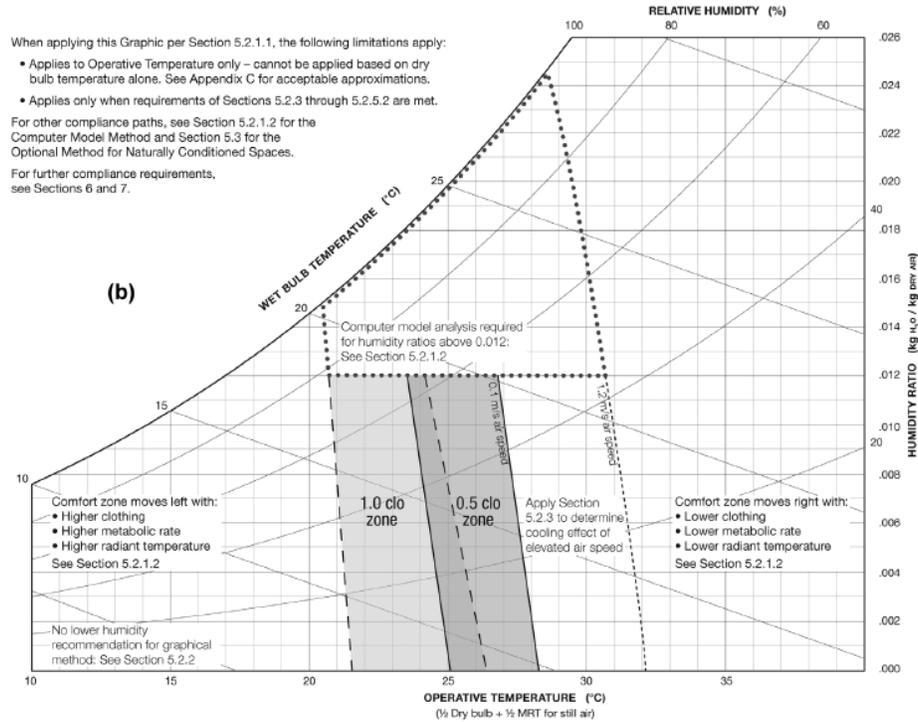


Figura 8. Grafica de zona de confort [26].

En Colombia es posible estimar el grado de confort térmico con métodos como lo es el de la temperatura efectiva o equivalente [25].

$$T_E = 37 - \frac{37 - T_{as}}{0.68 - 0.0014HR} \frac{1}{1.76 + 1.4v^{0.75}} - 0.29T_{as} \left(1 - \frac{HR}{100}\right) \quad \text{Ecuación 13}$$

Según la sensación térmica se tiene el diagrama mostrado en la Figura 9 [25].

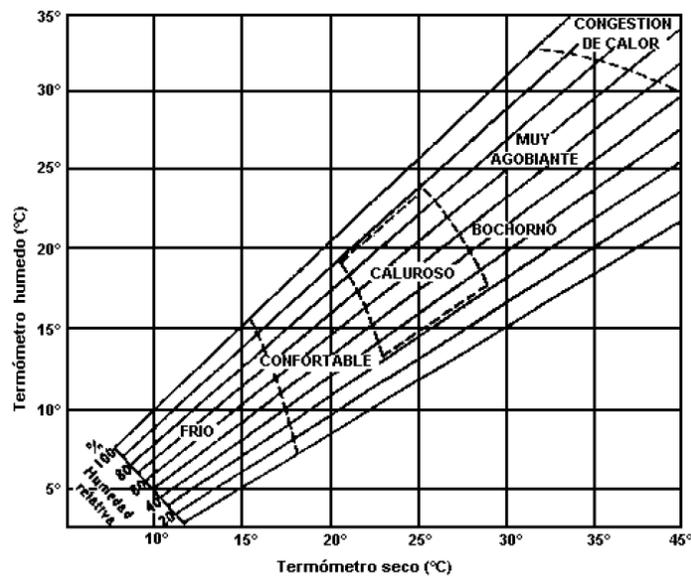


Figura 9. Diagrama de zonas de sensación térmica [25].

Durante el verano que es el mayor estado climático en el territorio colombiano se tienen los siguientes parámetros de sensación térmica dependiendo de la temperatura del aire y la humedad relativa en el ambiente indicados en la Figura 10.

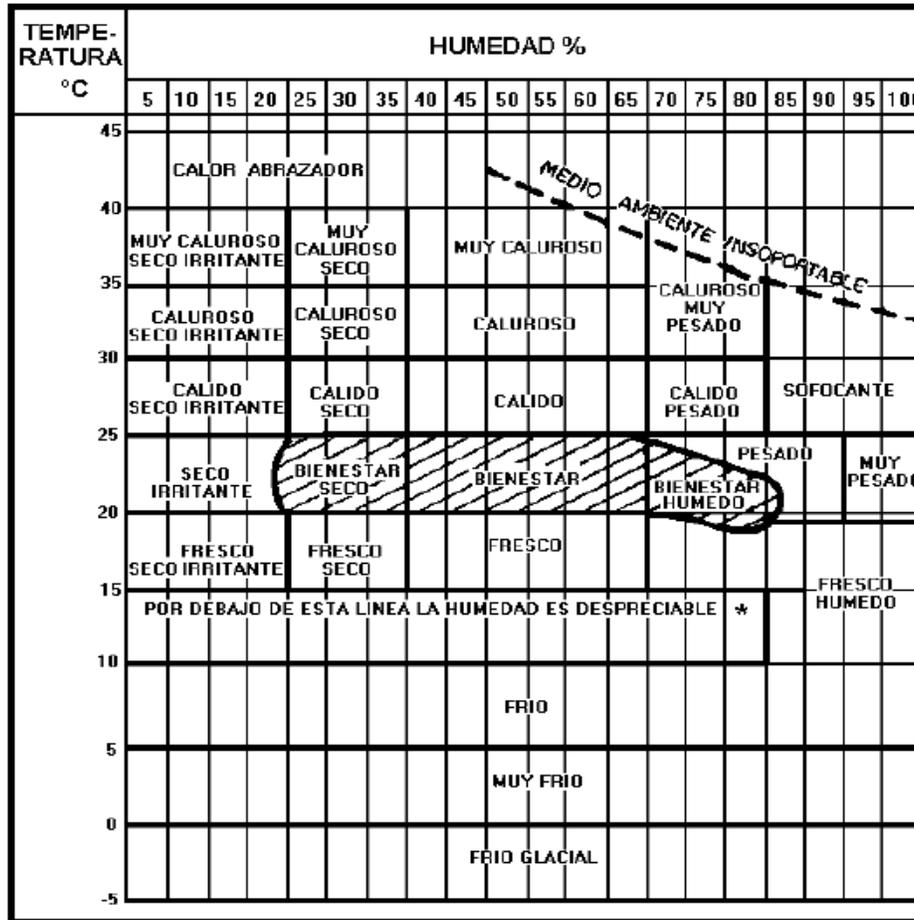


Figura 10. Estados de sensación térmica según las condiciones ambientales [25].

6.3.3.2 Tasas de renovación del aire.

La tasa de renovación es un valor relativo de número de cambios por hora de aire en un espacio determinado y puede variar según la norma DIN 1946 la cual aconseja las renovaciones/hora en función del tipo de establecimiento como se aprecia en la Tabla 2.

La intención de definir una relación de renovación del aire, además del hecho de acondicionar los espacios para estabilizar la temperatura y humedad para dar confort, es cumplir con el objetivo de proveer una calidad de aire aceptable para los ocupantes y minimizar los efectos adversos a la salud [27]. Esta ventilación cumple normas establecidas como el Standard 62.1 del ASHRAE dónde para diversos espacios se especifican distintas cantidades de ocupantes por metro cuadrado y en base a esto se define la ventilación necesaria del espacio.

Tabla 2. Tasas de renovación por hora de espacios según la norma DIN 1946. Adaptada de [28].

Tipo de local	Renovación/h	Tipo de local	Renovación/h
Armario/roperos	4-6	Oficinas	4-8
Lavanderías	10-20	Piscinas	3-4
Auditorios	6-8	Cines/teatros	5-8
Locales acumuladores	5-10	Cuartos de baño	5-7
Aulas	5-7	Salas de espera	4-6
Bibliotecas	4-5	Salas de fotocopia	10-15
Cabinas de pintura	25-50	Gimnasios	4-6

Especificando un espacio volumétrico y las renovaciones, el caudal requerido se calcula como:

$$C = V \frac{Renov}{h} = (Area\ superficial \times Altura) \frac{Renov}{h} \quad \text{Ecuación 14}$$

6.3.3.3 Cargas térmicas por componente humanos y no humanos.

Definir las tasas de renovación y el caudal solo supe el problema de la ventilación en el espacio a acondicionar, pero los espacios están sometidos a la carga térmica que puede generar el componente humano por motivo de cualquier actividad que desarrollen las personas y el componente no humano como lo pueden ser luces, dispositivos electrónicos o cualquier sistema que genere calor. Estos componentes afectan en cierto grado la calidad de aire interior provocando que la tasa de renovación no supla los requerimientos. De acuerdo con esto, se puede generar una relación para determinar la cantidad de caudal adicional que se debe tener en cuenta para un correcto acondicionamiento del espacio.

En primer lugar se puede determinar el flujo de calor en el espacio debido al proceso de acondicionamiento llevado a cabo desde la temperatura del espacio a la temperatura deseada [29] como:

$$q^{\infty} = u(T_{esp}^{\infty} - T_{acond}) \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{h_{\infty}} + \sum_{w=1}^n \frac{\delta_w}{k_w} + \frac{1}{h_i} \quad \text{Ecuación 16}$$

Este flujo de calor corresponde al retirado del espacio debido a la tasa de renovación de aire que se elija. Se determina entonces el flujo de calor debido a los componentes humanos (q_p) y no humanos (q_n) [29] respectivamente como:

$$q_p = 5 \times 10^{-4} (T_{prom} - T_{acond}) \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde T_{prom} corresponde a un promedio entre la temperatura del cuerpo humano normalmente de 310.15 K y la temperatura dentro del espacio.

$$q_n = 5 \times 10^{-5} (8 + 1.2F_0) \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde F_0 corresponde al factor de ocupación del espacio por metro cuadrado.

Se define el porcentaje que aportan cada uno de los factores como una relación de cada flujo de calor sobre el flujo de calor debido al acondicionamiento del espacio.

$$\%p = \frac{q_p}{q^\infty} 100\% \quad \text{Ecuación 19}$$

$$\%n = \frac{q_n}{q^\infty} 100\% \quad \text{Ecuación 20}$$

Finalmente, el caudal neto para suplir todos los requerimientos de acondicionamiento, teniendo en cuenta todos los factores, se calcula como:

$$C_{neto} = C \left(1 + \frac{\%p + \%n}{100} \right) \quad \text{Ecuación 21}$$

6.4 Radiación y colectores solares.

El fenómeno de radiación solar es una característica determinada por la naturaleza del sol debido a su energía radiante en el espacio. La energía producida en el interior del sol que se encuentra a millones de grados puede ser transferida al exterior de su superficie y posteriormente liberado al espacio por efecto del fenómeno de radiación electromagnética y un proceso convectivo que ocurre sucesivamente de emisión, absorción y re-radiación [30].

Esta es una forma de energía limpia, una alternativa a las energías no renovables como la de combustibles fósiles y la nuclear. Una de las aplicaciones es la instalación de paneles solares en casas u oficinas, lo que permite minimizar la dependencia del consumo eléctrico además de ser utilizada para calefacción y agua caliente.

La energía solar puede usarse para el calentamiento de algún sistema que posteriormente permitirá la climatización de viviendas, refrigeración, secado; además, si es aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, es capaz de convertir la luz en un potencial eléctrico sin pasar por un efecto térmico. Otro uso es la producción de frío con el uso de energía solar como fuente de calor (generador) en un ciclo de enfriamiento por absorción.

6.4.1 Fenómenos de irradiación solar.

Para predecir el rendimiento de un proceso solar en el futuro no es práctico basarse en los cálculos de la radiación solar extraterrestre debido a que rara vez se dispone de información meteorológica adecuada, en cambio, se utilizan mediciones pasadas de radiación solar en un lugar en cuestión. Los datos de radiación solar se utilizan de varias formas y para una variedad de propósitos. La información más detallada disponible es el haz y la radiación solar difusa sobre una superficie horizontal que es útil en simulaciones de procesos solares. Los datos diarios por lo general están disponibles y la radiación por hora se puede estimar a partir de datos diarios [30].

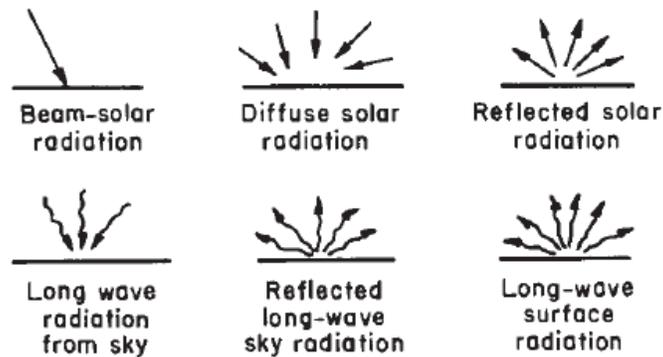


Figura 11. Flujos de energía radiante en procesos solares térmicos [30].

En la Figura 11 se muestran los flujos de radiación primaria en una superficie en o cerca del suelo que son importantes en relación con los procesos térmicos solares. Hay dos rangos importantes de longitud de onda, una corta que se origina en el sol en un rango de 0.3 a 3 μm , y una larga que es emitida por la atmósfera, un colector o cualquier otro cuerpo a temperaturas cercanas a la temperatura ordinaria y son las mayores a 3 μm , si se origina en el suelo, se le llama radiación terrestre [30].

6.4.1.1 Datos de radiación solar.

Las horas brillantes de sol, es decir, el tiempo en el que el disco solar es visible, son de utilidad para estimar los promedios de radiación solar a largo plazo. Es importante conocer ciertos aspectos de los datos de radiación solar: si son mediciones instantáneas se conoce como irradiancia, o si son valores integrados en un periodo de tiempo se conoce como irradiación (generalmente hora o día); el tiempo de las mediciones puede ser de haz, difusa o total; la orientación de la superficie receptora generalmente es horizontal, también puede ser inclinada o con una pendiente fija o normal a la radiación del haz; el periodo durante el cual se promedian los datos de radiación pueden ser mensual o diario [30].

6.4.2 Colectores solares.

El colector solar térmico es el principal componente del sistema de captación y el elemento más representativo de las instalaciones solares. Es el encargado de producir calor de manera eficiente y debe estar diseñado para soportar una exposición continua a condiciones externas (lluvia, polvo) y para resistir altas y bajas temperaturas a las que será sometido [31].

Un colector solar se diferencia de un intercambiador de calor porque la transferencia de energía es de una fuente distante de energía radiante a un fluido, mientras que en el intercambiador de calor es de fluido a fluido [30].

Existen varios tipos de colectores solares como el de placa plana, de tubos de vacío y concentradores.

6.4.2.1 Colector de placa plana.

Los colectores de placa plana se pueden diseñar para aplicaciones que requieran un suministro de energía en temperaturas moderadas hasta 100°C por encima de la temperatura ambiente. Utilizan tanto haz como radiación solar difusa, no requieren seguimiento del sol y requieren poco mantenimiento y son mecánicamente más simples que los colectores concentradores. La importancia de los colectores de placa plana en los procesos térmicos es tal que su rendimiento térmico se trata con considerable detalle. Su principal aplicación es el calentamiento de agua, calefacción de edificios, aire acondicionado y calor de proceso industrial [30].

Las partes importantes de un colector de placa plana se muestra en la Figura 12 y son: la superficie negra absorbente de energía solar encargada de transferir la energía absorbida hacia el fluido; cubiertas transparentes interiores y exteriores sobre la superficie del absorbedor solar las cuales reducen las pérdidas por convección y radiación a la atmósfera y viceversa; los conductos del fluido y la caja del colector dónde van todos los implementos anteriormente mencionados [30].

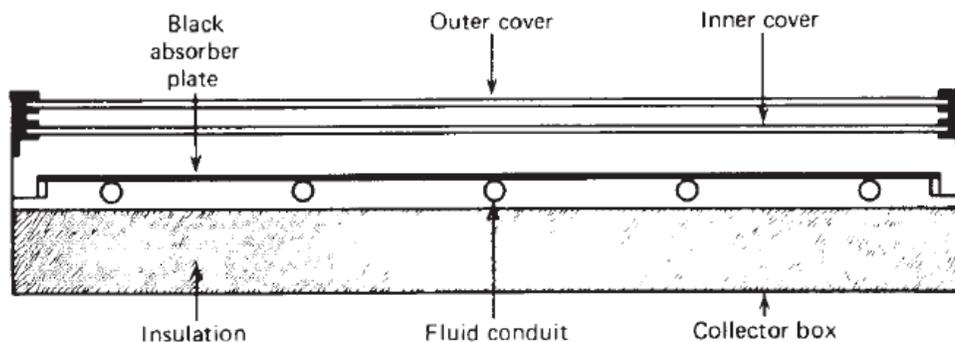


Figura 12. Partes del colector de placa plana [30].

6.4.2.2 Colector de tubos de vacío.

El colector de tubos de vacío está compuesto por un conjunto de tubos conectados en un distribuidor, cada uno de los cuales está formado por más tubos por donde circula el fluido a calentar y un tubo de vidrio como cubierta exterior. Existen varios tipos de colectores de vacío, se destacan: los tubos de calor, los tubos en U y los de flujo directo. Este tipo de colectores reduce las pérdidas térmicas de convección y de conducción al realizarse el vacío en el espacio entre el absorbedor y el tubo exterior, con lo que se consigue alcanzar temperaturas elevadas[31].

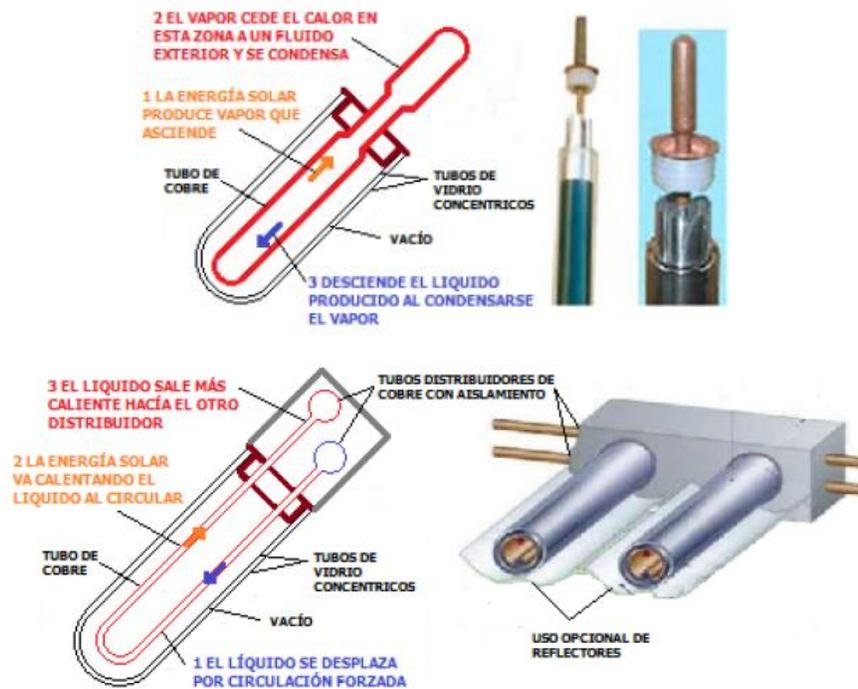


Figura 13. Tipos de tubos de vacío: tubo de calor (parte superior) y tubo en U (parte inferior) [31].

6.4.2.3 Colector de concentración.

El concentrador, o sistema óptico, es la parte del colector que dirige la radiación hacia el receptor. El receptor es ese elemento del sistema dónde la radiación es absorbida y convertida en alguna otra forma de energía; incluye el absorbedor, sus cubiertas asociadas y el aislamiento.

En comparación con los de placa plana, estos colectores deben estar orientados para seguir el sol de modo que la radiación del haz se dirija hacia la superficie absorbente. Sin embargo, tienen una amplia gama de configuraciones que permite manipular nuevos conjuntos de parámetros de diseño. Además, requieren un mantenimiento más específico en el tiempo con respecto a la suciedad, clima y componentes atmosféricos que puedan ser oxidantes o corrosivos.

Los concentradores pueden ser reflectores o refractores, cilíndricos o de superficies de revolución y pueden ser continuos o segmentados. Los receptores pueden ser convexos, planos o cóncavos y pueden estar cubiertos o no. Existe una amplia gama de diseños, por lo cual es difícil desarrollar análisis generales aplicables a todos los concentradores [30].

6.5 Modelado de los equipos.

El modelado de los equipos comprende una serie de cálculos iterativos donde se resuelven simultáneamente los balances de masa y energía o bien si el proceso es sencillo realizando un solo balance se podría especificar el equipo. En el caso de las columnas de absorción y desorción estos cálculos comprenden un método iterativo “short-cut” donde involucra los dos balances y especificar diversas propiedades que están involucradas en un sistema de separación multicomponente gas-líquido como lo es factores de separación y coeficientes de distribución, los cuales van de la mano con el modelo termodinámico elegido para cada fase.

Cada proceso en particular tiene un conjunto de modelos termodinámicos que permiten modelar las propiedades del sistema de manera correcta [32]. El software Aspen Plus cuenta con una herramienta útil para seleccionar correctamente el conjunto de modelos termodinámicos basado en el siguiente algoritmo de selección (Figura 14 - Figura 17) teniendo en cuenta la naturaleza de las sustancias involucradas en el proceso.

Table 1. Thermodynamic property models available in a simulator.	
Equation-of-State Models Benedict-Webb-Rubin(BWR)-Lee-Starling Hayden-O'Connell* Hydrogen-fluoride equation of state for hexamerization* Ideal gas law* Lee-Kesler (LK) Lee-Kesler-Plocker Peng-Robinson (PR) Perturbed-Hard-Chain Predictive SRK Redlich-Kwong (RK) Redlich-Kwong-Soave (RKS) RKS or PR with Wong-Sandler mixing rule RKS or PR with modified-Huron-Vidal-2 mixing rule Sanchez-Lacombe for polymers * Not used for the liquid phase	Activity Coefficient Models Electrolyte NRTL Flory-Huggins NRTL Scatchard-Hildebrand UNIQUAC UNIFAC Van Laar Wilson Special Models API sour-water method Braun K-10 Chao-Seader Grayson-Streed Kent-Eisenberg Steam Tables

Figura 14. Modelos termodinámicos disponibles en una simulación [32].

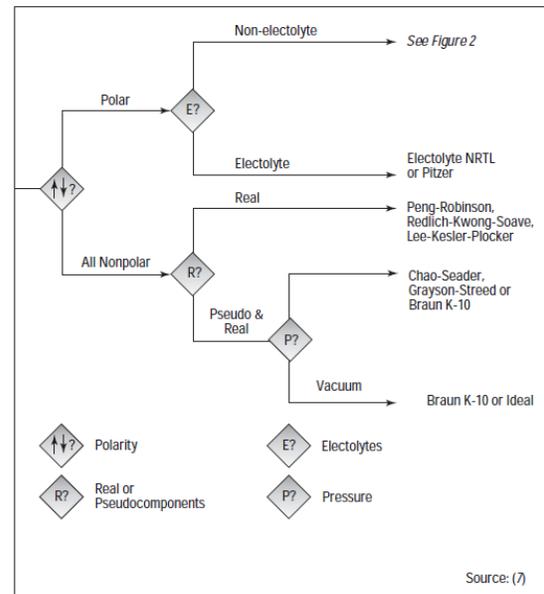


Figura 15. Primer paso para para la selección de modelos termodinámicos [32].

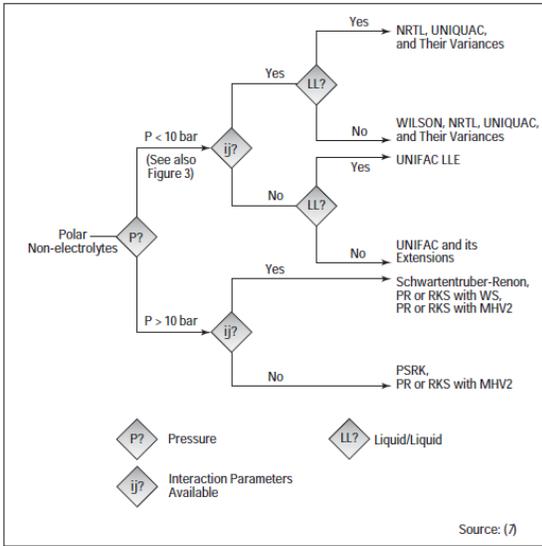


Figura 16. Procedimiento para sustancias polares y no electrolíticas [32].

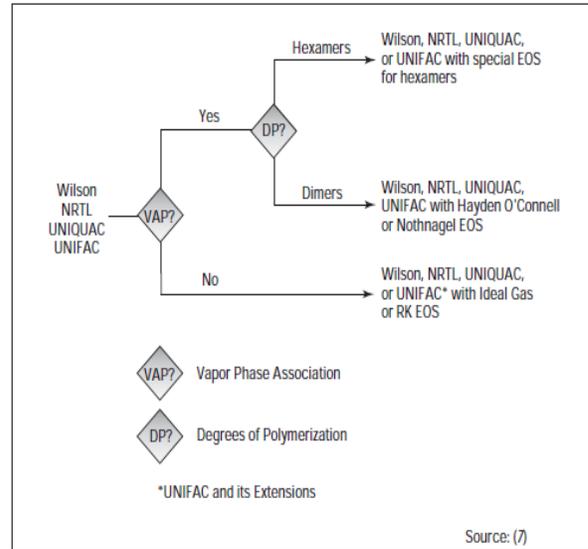


Figura 17. Opciones para cálculos en fase vapor con modelos de coeficientes de actividad [32].

6.5.1 Sistemas de absorción.

Para poder modelar el sistema de separación es necesario primero definir las condiciones de las corrientes de líquido y gas en la entrada del equipo como se muestra en la Figura 5. Se definen condiciones de flujo (V_{N+1}), temperatura (T_{N+1}), presión y composición en la corriente de entrada de gas, además se recomienda trabajar en condiciones de baja temperatura para llevar a cabo la absorción [33].

Luego se debe definir el compuesto clave (k) en la separación el cual es el compuesto más ligero de los que se desee separar [33]. Posteriormente de la corriente líquida a la entrada (L_0) se debe especificar temperatura (T_0), presión y composición de la corriente.

En base al grado de separación se recomienda calcular la fracción no absorbida del compuesto clave como [33]:

$$\phi_{AK} = \frac{v_{1,k}}{v_{N+1,k}} \tag{Ecuación 22}$$

6.5.1.1 Condiciones de flujo mínimo de líquido.

El flujo mínimo de líquido requerido es la cantidad necesaria para que ocurra la separación en el proceso, puede definirse a partir de la fracción no absorbida y el coeficiente de distribución del clave (K_k) [33].

$$L_{0,min} = K_k V_{N+1} (1 - \phi_{AK}) \tag{Ecuación 23}$$

Para el proceso de deshumidificación es posible definir el flujo mínimo en base a las propiedades de las corrientes involucradas, una estimación inicial de temperaturas de líquido a la salida del equipo y el flujo de gas libre de agua [16].

$$L_{0,min} = \frac{H_{V_1} - H_{V_{N+1}}}{T_0 - T_N} \left(\frac{V'_{N+1}}{Cp_{L,prom}} \right) \quad \text{Ecuación 24}$$

Una vez se define el flujo mínimo de líquido se recomienda calcular el flujo de operación (L_0) como un incremento al valor de flujo mínimo de modo que esté en un rango entre $1.1L_{0,min} < L_0 < 2.0L_{0,min}$ para obtener la separación deseada y en caso de requerirlo se puede aumentar o disminuir el valor máximo de operación para alcanzar una óptima separación.

6.5.2 Sistema de desorción.

Las corrientes de líquido y gas del equipo de desorción se muestran en la Figura 5. Se definen las condiciones de flujo (L_0), temperatura (T_0), composición y presión de la corriente líquida. Se recomienda baja presión y alta temperatura para llevar a cabo el proceso de desorción. Luego se debe definir el compuesto clave (k) en la separación el cual es el compuesto más pesado de los que se quiere desorber. Posteriormente de la corriente de gas a la entrada (V_{N+1}) se debe especificar la temperatura (T_{N+1}), presión y composición de la corriente.

En base al grado de separación se recomienda calcular la fracción no desorbida para el compuesto clave como:

$$\phi_{SK} = \frac{l_{N,k}}{l_{0,k}} \quad \text{Ecuación 25}$$

6.5.2.1 Condiciones de flujo mínimo del gas.

Puede definirse a partir de la fracción no desorbida como:

$$V_{N+1,min} = \frac{L_0(1 - \phi_{SK})}{K_K} \quad \text{Ecuación 26}$$

Una vez definido el flujo mínimo de gas se determina el flujo de operación en un rango entre $1.1V_{N+1,min} < V_{N+1} < 2.0V_{N+1,min}$ y este límite puede incrementar si se requiere una separación mayor.

6.5.3 Balances de masa y energía.

Para realizar una estimación de los balances de masa y energía para determinar los flujos de salida del sistema de absorción y desorción se sigue el método corto descrito en el Anexo C.

6.5.4 *Empaques.*

El tipo de interno más utilizado en procesos de absorción es de tipo empaque aleatorio o empaque estructurado ya que estos procesos requieren de una alta área de transferencia. El recipiente por lo general contiene una o más secciones del empaque por el cual el líquido fluye como película entre cada elemento del empaque y el vapor fluye hacia arriba haciendo contacto con cada elemento del empaque y la película de líquido. El empaque aleatorio consta de elementos individuales de material y geometría variada la cual puede ser más eficiente de usar en determinado proceso y cada fabricante de empaque tiene su propio material y su propia geometría, un ejemplo de esto son los empaques aleatorios tipo anillo Raschig o sillas Berl de la marca Raschig, los cuales proveen una mayor área superficial para la transferencia de masa, alta capacidad de flujo y una baja caída de presión [17]. Cada empaque tiene sus ventajas y desventajas por lo cual siempre se busca que estos se adaptan bien al proceso teniendo en cuenta que, a mayor tamaño de empaque, la eficiencia de la transferencia de masa y la caída de presión disminuyen. Algunos tipos de empaque y su material se muestran en la Figura 18.

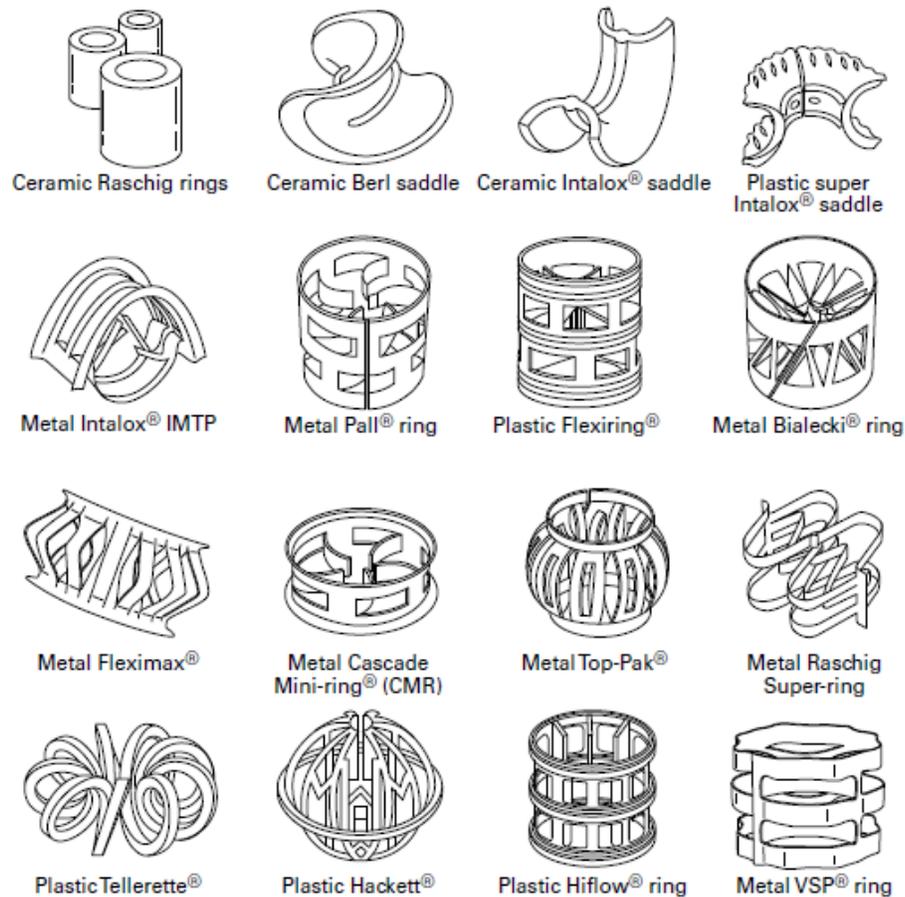


Figura 18. Tipos de empaque aleatorio y fabricantes [17].

La otra alternativa de empaque es el tipo estructurado, son estructuras de láminas corrugadas de metal o plástico y por lo general tienen mayor rendimiento que los empaques aleatorios y poseen una mayor capacidad de trabajo [17].

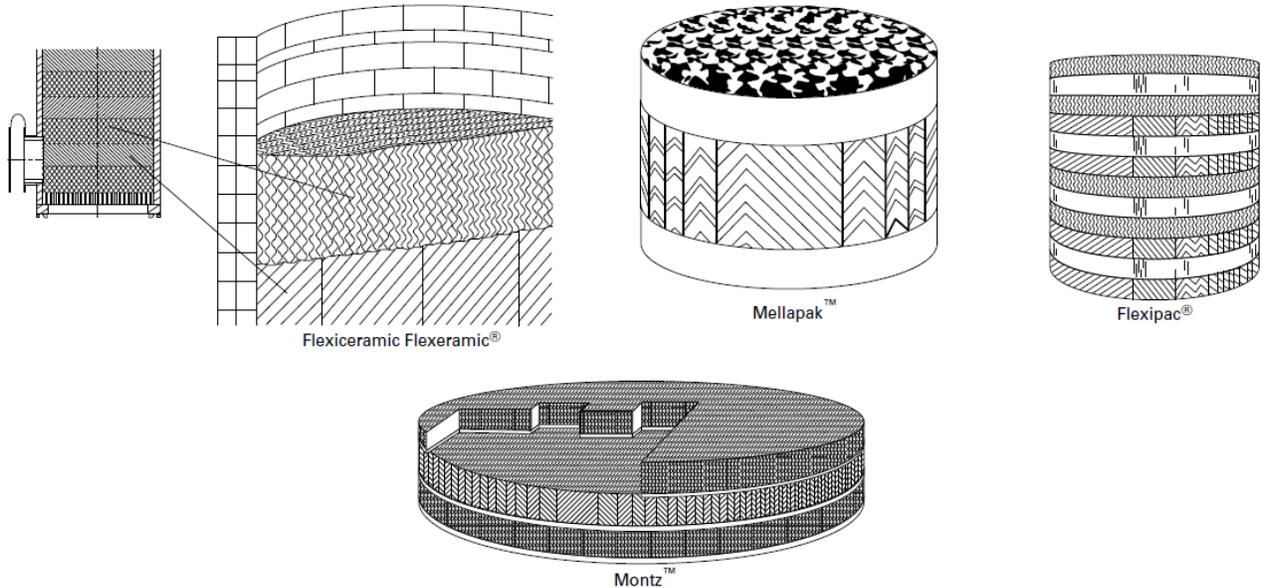


Figura 19. Tipos de empaques estructurados [17].

6.5.5 Diámetro de la torre y caída de presión.

Para determinar el diámetro de la torre y la caída de presión primero se debe definir qué tipo de empaque se debe utilizar, debido a que el diámetro y la caída de presión son muy dependientes de la capacidad y el tamaño del empaque, por lo que variables como el tamaño nominal (D_p), factor de empaque (F_p), área superficial de empaque específica (a) y la fracción porosa del empaque (ϵ) se deben tener en cuenta. Una vez definidos estos parámetros de diseño del empaque se procede a determinar el diámetro y la caída de presión con el método de correlaciones generalizadas de caída de presión (GPDC) [17]. En primer lugar, se define una fracción de inundación (f) usualmente es un valor entre 0.5 y 0.7 y se determina el valor de la abscisa en la Figura 20.

$$X = F_{LV} = \frac{LPM_L}{VPM_V} \left(\frac{\rho_V}{\rho_L} \right)^{0.5} \quad \text{Ecuación 27}$$

Con el valor de X se lee el valor de Y cruzando con la curva de máxima inundación. Una vez determinado este valor se procede a encontrar la velocidad del gas (u_V) de la Ecuación 28.

$$Y = \frac{u_V^2 F_p}{g} \left(\frac{\rho_V}{\rho_{H_2O(L)}} \right) f\{\rho_L\} f\{\mu_L\} \quad \text{Ecuación 28}$$

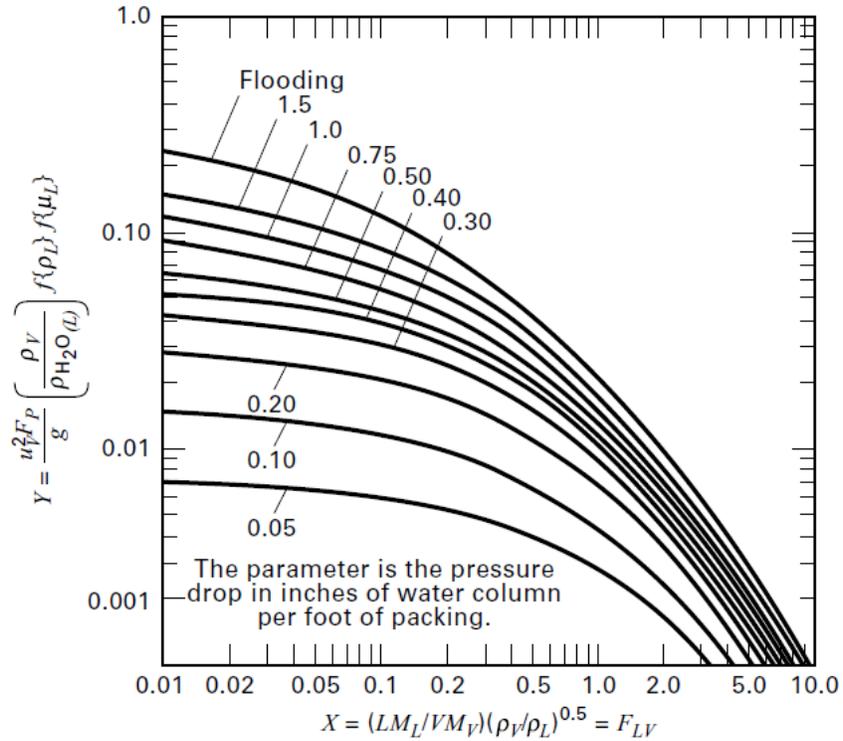


Figura 20. Correlación generalizada de caída de presión de torres empacadas [17].

Para calcular el factor de corrección de densidad del líquido ($f\{\rho_L\}$), primero se define la relación de densidad entre la densidad el agua y la del líquido en la absorción ($\rho_{H_2O(L)}/\rho_L$) y se lee el valor de la siguiente figura:

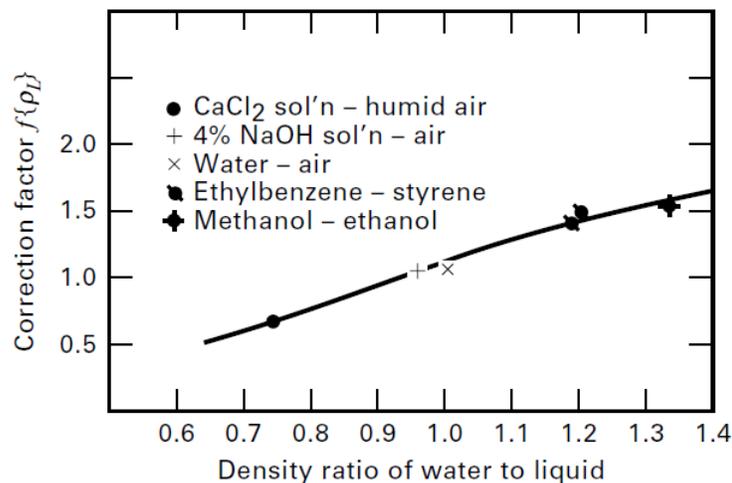


Figura 21. Factor de corrección para la densidad de líquido [17].

Definiendo la viscosidad de la corriente líquida en la absorción se encuentra el factor de corrección de la viscosidad ($f\{\mu_L\}$) por medio de la siguiente figura:

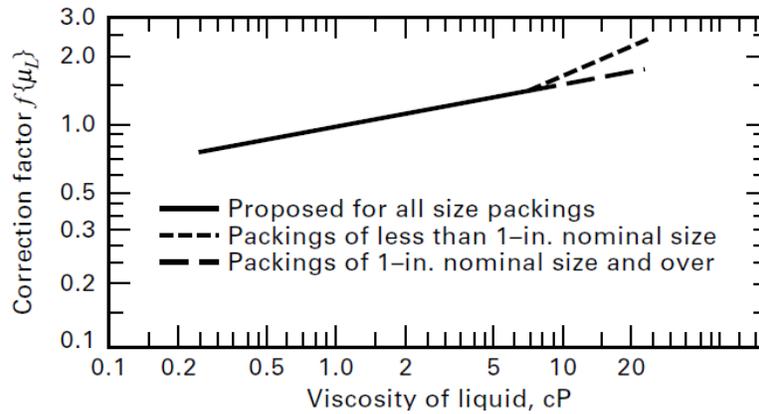


Figura 22. Factor de corrección para la viscosidad del líquido [17].

Una vez calculada la velocidad del gas se determina el diámetro de la torre como:

$$D_T = \left(\frac{4VPM_V}{f u_V \pi \rho_V} \right) \quad \text{Ecuación 29}$$

Se define el Y' como:

$$Y' = f^2(Y) \quad \text{Ecuación 30}$$

Se cruzan los valores de X y Y' en la Figura 20 y se define a que curva paramétrica pertenecen estas coordenadas. Esta curva paramétrica corresponde a la caída de presión por altura de empaque ($\Delta P/z$).

6.5.6 HETP.

El HETP corresponde a la altura teórica de empaque, es relativo al número teórico de etapas en equilibrio y depende principalmente del tipo y tamaño de empaque, viscosidad del líquido y tensión superficial. Para un estimado de este valor se tienen las siguientes relaciones [17]:

1. Para anillos Pall y empaques aleatorios de alta eficiencia similares con una baja viscosidad de líquido:

$$HETP[ft] = 1.5D_p[in] \quad \text{Ecuación 31}$$

2. Para empaques estructurados a una presión baja o moderada con bajas viscosidades de líquido:

$$HETP[ft] = \frac{100}{a[ft^2/ft^3]} + \frac{4}{12} \quad \text{Ecuación 32}$$

3. Para absorción con líquidos viscosos el HETP debe estar entre 5 a 6 ft.
4. En procesos al vacío:

$$HETP[ft] = 1.5D_p[in] + 0.5 \quad \text{Ecuación 33}$$

5. En procesos de alta presión (>200psia) en empaques estructurados, el HETP debe ser mucho mayor que el predicho por la Ecuación 32.
6. Para columnas de diámetros pequeño ($D_T < 2\text{ft}$):

$$HETP[ft] = D_T[ft] \quad \text{Ecuación 34}$$

Pero no es muy recomendado para valores por debajo de 1ft.

Por lo general se alcanzan valores de HETP con tamaños de empaque aleatorio muy pequeños, en particular con columnas de diámetros pequeño, y para empaque estructurado con altos valores de área superficial de empaque específica (a) [17].

6.5.7 Sistema de ventilación.

El objetivo de los sistemas de ventilación es permitir el movimiento de la corriente gaseosa desde el ambiente al sistema de acondicionamiento, esto conlleva a un aumento poco significativo de la presión y dependiendo de la carga de flujo es importante saber escoger el equipo de ventilación, ya sea entre un compresor o un ventilador. Los compresores son menos usados y tienden a gastar más energía y ser más costosos por lo cual se debe asegurar el uso de ventiladores.

6.5.7.1 Cambio de presión y temperatura.

Para procesos en los cuales hay un incremento desde la presión atmosférica hasta presiones no mayores a 40 inH₂O se recomienda el uso de ventiladores [34].

La temperatura de salida del ventilador de gas está dada por:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^a \quad \text{Ecuación 35}$$

Siendo k la relación de capacidad calorífica C_p/C_v , a se define como:

$$a = \frac{k - 1}{k} \quad \text{Ecuación 36}$$

6.5.7.2 Potencia adiabática teórica.

La potencia teórica adiabática es calculada como [34]:

$$THp = SCFM \left(\frac{T_1}{8130a} \right) \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^a - 1 \right] \quad \text{Ecuación 37}$$

Dónde SCFM es 1ft³ estándar por minuto (379SCF/lbmol)

6.5.8 Sistema de bombeo.

Los sistemas de bombeo generan el movimiento del fluido en el ciclo de recuperación del solvente y suple las caídas de presión en los equipos.

6.5.8.1 Potencia adiabática teórica.

La potencia adiabática teórica es la energía requerida para que el dispositivo realice su trabajo de manera adiabática y es función del flujo volumétrico de líquido y el incremento de presión que experimente este [34]. Esta dada por:

$$THp = \frac{C[gpm] * \Delta P[psi]}{1714} \quad \text{Ecuación 38}$$

6.5.8.2 Cambio de presión y temperatura.

Los cambios de presión en las bombas van a estar determinados por el efecto de caída de presión en el sistema de calentamiento y enfriamiento por lo cual se deben definir, en primera instancia, estos valores cuando se modelen los equipos de intercambio de calor.

Para el cálculo de temperatura se debe determinar la potencia adiabática teórica y mediante el balance de energía en estado estacionario se tiene que:

$$T_2 = T_1 + \frac{\dot{W}}{\dot{m}_L C p_L} \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde \dot{W} es la potencia adiabática teórica dada en watt calculada como:

$$\dot{W} = \frac{THp}{745.7} \quad \text{Ecuación 40}$$

Por lo general el trabajo de bombeo no genera un cambio de temperatura significativo por lo que la temperatura medida a partir de la potencia adiabática se asemeja a la temperatura real a la salida del sistema de bombeo.

6.5.9 Sistema de calentamiento y enfriamiento.

6.5.9.1 Carga térmica.

La carga térmica de los sistemas de intercambio va a estar condicionada por la carga de flujo de trabajo y por el incremento o disminución de temperatura requerida. Estos requerimientos de temperatura estarán condicionados por el modelado de los sistemas de absorción y desorción pues aquí es donde se determinan las temperaturas requeridas de entrada y salida del solvente líquido. Partiendo de un balance global de energía donde no se ejerce trabajo sobre el sistema se tiene que:

$$\dot{Q} = \dot{m}_L C p_L (T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación 41}$$

6.6 Simulación.

La simulación es una herramienta muy poderosa a la hora de realizar cálculos de procesos industriales que requieren de un gran número de variables. La herramienta actual más potente en el ámbito de simulación de procesos en ingeniería química es Aspen Plus ®. Este software cuenta con un ambiente de trabajo intuitivo y una gran número de paquetes que van desde la estimación de propiedades de diferentes sustancias hasta el modelado de equipos industriales complejos como torres de destilación fraccionada, además integra procesos de modelado, estimación de costos, análisis energético y seguridad que permiten un buen desempeño y eficiencia en procesos [35].

6.6.1 Modelo RadFrac de no equilibrio.

RadFrac es un modelo riguroso de simulación para todos los tipos de operaciones multietapa líquido-vapor, estas operaciones incluyen: destilación ordinaria, absorción, absorción con rehervidor, columnas de Stripping, Stripping con rehervidor, destilación extractiva y azeotrópica. Puede ser utilizado en sistemas de 2 fases, 3 fases, de alta o baja ebullición y sistemas que contiene un alto grado de no idealidad en la fase líquida, incluso en columnas donde ocurre reacciones químicas [36].

La columna puede ser trabajada como un modelo en equilibrio o no equilibrio en *rate-controlled*. El modelo de equilibrio es un modelo de cálculo que se asemeja más al método “*short-cut*” pero con variaciones para un sistema más real. El modelo *rate-controlled* tiene consigo un cálculo de parámetros más técnico donde se puede manipular incluso las características mecánicas y de diseño de la torre.

6.6.2 Modelado en Rated Based.

Al trabajar con un modelo de no equilibrio es importante definir el tipo de característica de interno que se empleará en la torre con el fin de estimar un diseño mecánico de este mismo. Una vez definido el tipo de interno y fabricante, es posible definir variables importantes para el cálculo de los parámetros de las torres como correlaciones para determinar los coeficientes de transferencia de masa, calor y área interfacial.

Para coeficientes de transferencia de masa es recomendable utilizar los parámetros establecidos por los fabricantes [36]. Por ejemplo, la marca Raschig define los parámetros de su empaque aleatorio, aunque estos datos se consideran privados para la empresa.

Para determinar los coeficientes de transferencia de calor es recomendado utilizar las correlaciones de Chilton y Colburn.

Las correlaciones para el área interfacial que incluyen en su base de datos las Scheffe, Zuideweg, generalizadas y para empaque aleatorios en particular se recomienda la versión modificado del modelo de Mod-Tsai [36].

6.6.3 Modelos de cambio de presión.

Para simular los cambios de presión se utiliza el modelo *Pump* para líquidos. Este equipo puede cumplir con cálculos de tipo bomba o turbina y por defecto viene configurado para trabajar en una sola fase líquida, pero en caso especiales se puede configurar para trabajar con dos o tres fases. Este modelo es utilizando cuando se desea conocer los requerimientos de potencia de un cambio de presión. Se deben especificar en el equipo condiciones de operación, eficiencias, succión neta positiva, parámetros de cabezas de bomba, parámetros específicos de velocidad, fases válidas y parámetros de convergencia para cálculos flash [36].

En los cambios de presión de corrientes gaseosas se utiliza el modelo *Comp*. Este equipo simula compresores, ventiladores o turbinas. Dependiendo del tipo de aplicación y de equipo puede realizar los siguientes cálculos: compresores centrífugos politrópicos, compresores de desplazamiento positivo politrópicos y compresores isoentrópicos. Se aplica este tipo de simulación para conocer información energética, requerimientos de potencia y valores de diseño en corrientes que experimentan cambios de presión. Se debe especificar el modelo de compresor, tipo, especificaciones a la salida y eficiencias [36].

Estos modelos cuentan con sus respectivos balances de masa y energía para la resolución de la simulación.

6.6.4 Modelos de cambio de temperatura.

Para determinar los requerimientos energéticos en sistemas de intercambios de calor se utiliza en la simulación el modelo *Heater*. Se emplea para representar calentadores, enfriadores, válvulas y equipos como bombas y compresores donde los resultados de trabajo requerido no son necesarios. Se emplea este modelo para determinar las condiciones termodinámicas de las corrientes involucradas y si se especifica la condición de salida, este determinará las condiciones de fase y mezcla de una o más corrientes. Se deben especificar las condiciones del equipo y el tipo de fase válida y este aplica sus cálculos internos de balances de masa y energía [36].

6.6.5 Model analysis tools.

Esta es una herramienta con un modelo de análisis que permite la manipulación de la simulación para realizar distintos trabajos como [36]:

- *Sensitivity*: Permite realizar análisis de sensibilidad examinando algunas variables clave del proceso.
- *Optimization*: Minimiza o maximiza una función objetivo especificada por el usuario por manipulación de variables en el diagrama de flujo de proceso.
- *Constraint*: Especifica restricciones de igualdad y desigualdad para problemas de optimización.
- *Data Fit*: Ajusta los modelos de simulación de Aspen Plus ® a datos de planta o laboratorio.

6.7 Condiciones de diseño.

Las condiciones de diseño son parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de la construcción de los equipos y el montaje de estos.

6.7.1 Torres de absorción y desorción.

Cuando se habla de diseño de este tipo de torres se hace siempre referencia al código ASME de equipos sometidos a presión. Este código contiene un número de secciones que permiten especificar mecánicamente cada aspecto del equipo, pero se parte del conocimiento de dos propiedades fundamentales: la temperatura y presión de diseño. Estos parámetros son fundamentales a la hora de tomar decisiones de selección de material, espesores y tipo de accesorios que tendrá el equipo.

En primer lugar se deben definir la temperatura y presión de operación del equipo, estas son las condiciones más altas que se pueden alcanzar con el equipo en funcionamiento [33]. Posteriormente la temperatura y presión de diseño son las condiciones de operación adicionando un valor más en las variables llamado factor de seguridad con el propósito de que si rebasan estas condiciones de operación el equipo no se vea perjudicado. Estos valores están definidos por las siguientes ecuaciones.

$$T_{diseño} = T_{op} + 50^{\circ}F \quad \text{Ecuación 42}$$

$$T_{diseño} = 1.25T_{op} \quad \text{Ecuación 43}$$

$$P_{diseño} = 1.1(P_{op} + P_{hidrostática}) \quad \text{Ecuación 44}$$

$$P_{diseño} = P_{op} + P_{hidrostática} + 30psi \quad \text{Ecuación 45}$$

La Ecuación 45 suele ser mayormente utilizada en procesos sometidos a altas presiones. Cada una de las ecuaciones debe ser evaluada y se elija la de mayor valor.

Cuando se trabaja con torres empacadas se debe definir la altura real de la sección de empaque ya que el HETP solo es la altura de etapa teórica. La altura real se determina entonces en base al número de etapas teóricas como [17]:

$$Z = N * HETP \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde el HETP estará definido en primera instancia por el tipo de empaque y las variables que reporte el proveedor de diámetro de empaque, factor de empaquetamiento, área superficial específica y fracción porosa vistas en la sección de modelado del absorbedor (Ecuación 31 - Ecuación 34).

6.7.2 Bombas.

Los criterios de diseño para equipos de cambio de presión tienen que ver con la característica de líquido, la cabeza de presión deseada y la capacidad de la bomba, esto se traduce a la potencia real requerida. Para hacer una elección correcta se deben tener en cuenta los tipos de bombas disponible las cuales se clasifican en dos grupos: las bombas dinámicas en las que se encuentran las centrífugas y las de desplazamiento positivo donde se encuentran bombas reciprocantes y de diafragma [33].

6.7.2.1 Eficiencia.

En el proceso de compresión $h_2 > h_{2s}$, por lo tanto, se realiza más trabajo del requerido. La eficiencia isoentrópica se calcula como:

$$\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad \text{Ecuación 47}$$

El valor de η típicamente es entre 75-85% [37].

6.7.2.2 Potencia real.

Una vez determinada la eficiencia de la bomba la potencia real estará definida como:

$$\dot{W}_{real} = \frac{\dot{W}}{\eta} \quad \text{Ecuación 48}$$

En base a esto se determinan los criterios de selección de bomba.

6.7.2.3 Cabeza de bomba.

La cabeza de la bomba está directamente relacionada con la presión. Partiendo de un medidor en el fondo de un recipiente se mide la presión que genera el peso de determinada cantidad de líquido, la distancia entre la línea central del medido y la superficie del líquido se denomina la cabeza de la bomba [33]. La cabeza entonces se puede determinar cómo:

$$h = \frac{\dot{W}_{real}}{g} \quad \text{Ecuación 49}$$

6.7.3 Ventiladores.

Las condiciones de diseño de los ventiladores normalmente no son tan rigurosas para los compresores ya que sus demandas energéticas no son tan elevadas.

6.7.3.1 Eficiencia.

La eficiencia de los ventiladores está clasificada por los grados de eficiencia (FEG) los cuales son indicadores de la habilidad aerodinámica de convertir la potencia del *impeler* en movimiento directo del aire. Estas eficiencias están en función de la curva en el punto de operación del ventilador y se encuentran divididas en diferentes categorías dependiendo de la velocidad y tamaño del ventilador [38].

La relación de la eficiencia y el área se muestra en la Figura 23:

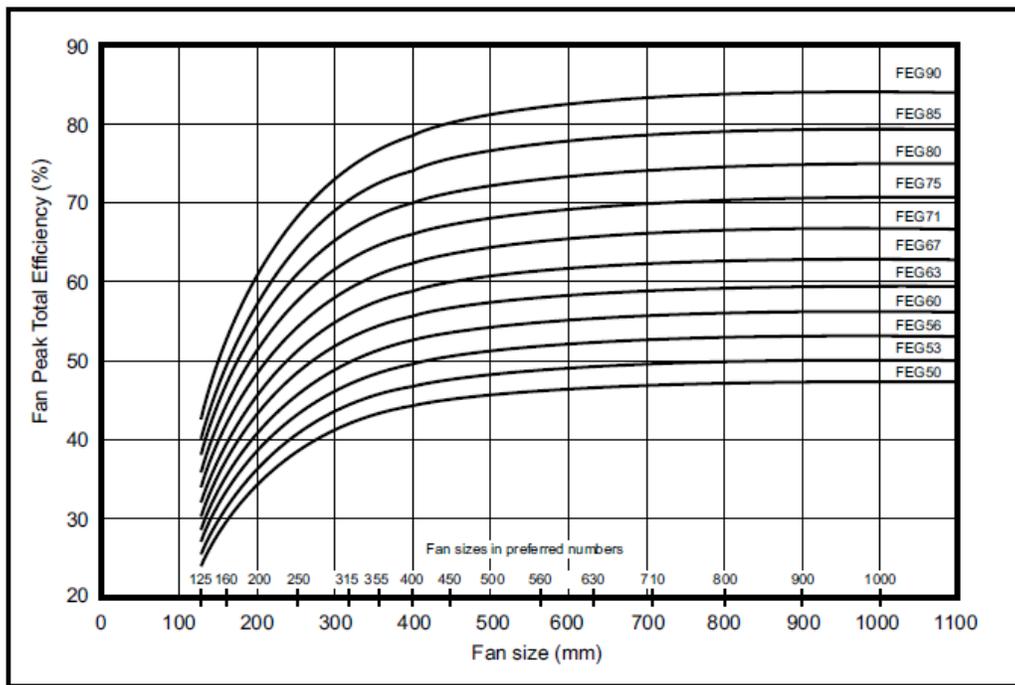


Figura 23. Eficiencia total del ventilador según el grado FEG y el tamaño [38].

6.7.3.2 Potencia real.

Una vez determinados el tamaño y eficiencia del ventilador la potencia real cumple la misma relación presentada en la Ecuación 48.

6.7.4 Colector solar.

El diseño riguroso de los colectores solares por lo general es un proceso iterativo que involucra conceptos que van más allá del propósito del contenido de este trabajo, sin embargo, es posible estimar un área de colector a partir de la eficiencia la cual está basada en distintas configuraciones y experiencias de estudios previos.

6.7.4.1 Eficiencia y área de colector.

El desempeño de un colector solar estará determinado por la eficiencia que se define como la relación entre la ganancia de energía en un periodo de tiempo específico sobre la energía solar incidente en el mismo periodo de tiempo. Si las condiciones del medio son constantes en el mismo periodo de tiempo, la eficiencia estará definida por [30]:

$$\eta = \frac{Q_U}{I_T A_c} \quad \text{Ecuación 50}$$

Por lo general las eficiencias de estos equipos no suele ser muy alta, y solamente es posible alcanzar buenas eficiencias en configuraciones particulares y dependiendo del fluido de trabajo [39]. La Figura 24 muestra algunas eficiencias alcanzadas por el colector.

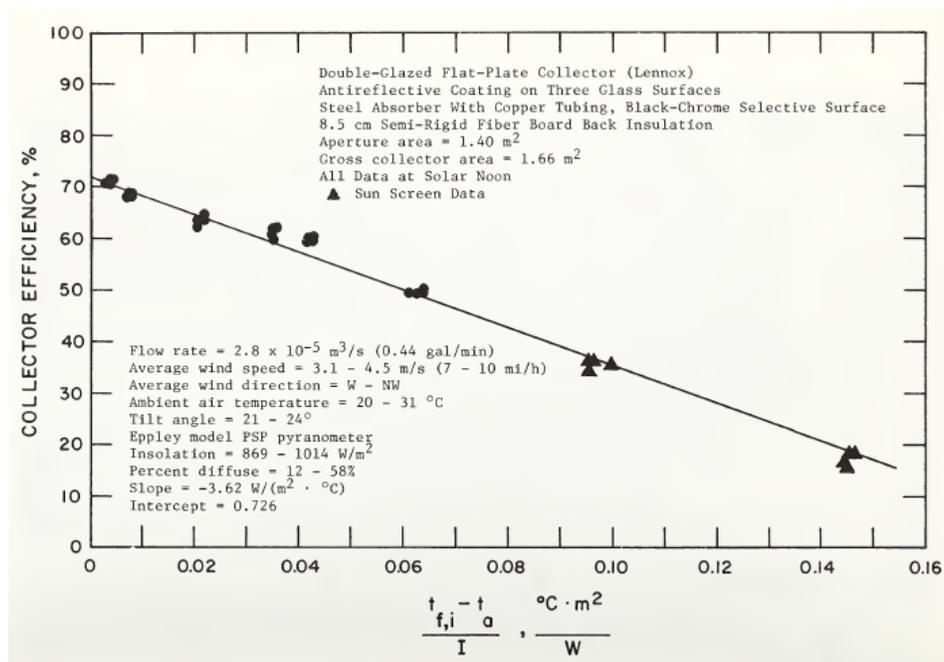


Figura 24. Resultados experimentales para la eficiencia en un colector para calentamiento de agua [39].

Según el tipo de configurar también es posible definir la eficiencia (Figura 25).

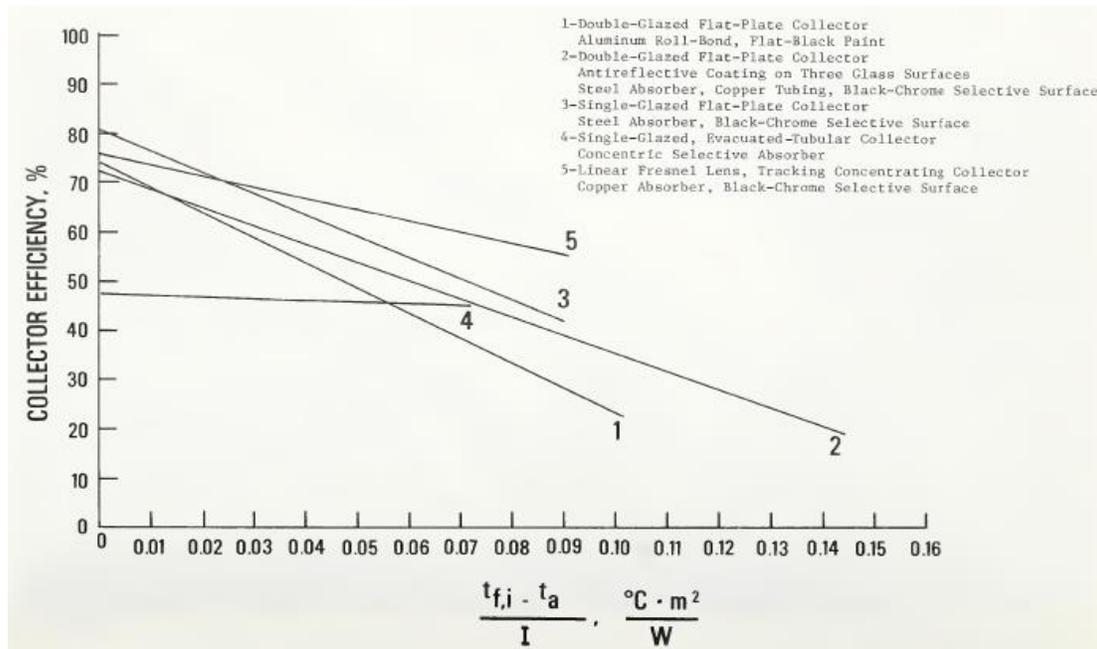


Figura 25. Eficiencia de colector basada en la configuración para calentamiento de agua [39].

Una vez definida la eficiencia y la configuración, teniendo en cuenta los datos de energía de radiación, se puede determinar el área del colector despejando de la Ecuación 50.

6.7.5 Enfriador.

Al igual que el colector para el diseño del enfriador, que es un sistema de intercambio de calor, consta de cálculos rigurosos e iterativos para definir dichos intercambiadores de calor ya sean de doble tubo o de tubo y coraza.

6.7.5.1 Área del enfriador.

Un método para estimar el área inicial de intercambio se basa en la ecuación general de balance de energía para intercambiadores de calor, el cual se define como [40]:

$$Q = UxAxF_TxLMTD \quad \text{Ecuación 51}$$

El coeficiente de transferencia global U depende de la combinación de los tipos de fluido de proceso y de servicio, por lo cual se debe definir el rango de temperatura de las terminales de cada corriente. Dependiendo de la carga térmica se escoge un fluido de servicio el cual se ajuste a dicho rango de temperaturas como se observa en la Figura 26:

Medium	Typical Temperature Range (°F)	Mode
<i>Coolants:</i>		
Ethylene	-150 to -100	Vaporizing
Propylene	-50 to 10	Vaporizing
Propane	-40 to 20	Vaporizing
Ammonia	-30 to 30	Vaporizing
Tetrafluoroethane	-15 to 60	Vaporizing
Chilled brine	0 to 60	Sensible
Chilled water	45 to 90	Sensible
Cooling water	90 to 120	Sensible
Boiler feedwater	220 to 450	Vaporizing
<i>Heat sources:</i>		
Hot water	100 to 200	Sensible
Steam	220 to 450	Condensing
Heating oils	30 to 600	Sensible
Dowtherm A	450 to 750	Condensing
Molten salts	300 to 1,100	Sensible
Molten metals	100 to 1,400	Sensible
Combustion gases	30 to 2,000	Sensible

Figura 26. Rangos de temperatura de operación para el fluido de servicio [34].

Una vez elegido el fluido de servicio se selecciona el rango de temperaturas tal que no supere el *approach* mínimo. Para temperaturas que estén sobre el ambiente hasta 300°F este *approach* no debe ser menor a 20°F. [34].

Para definir el flujo del fluido de servicio en base a la carga térmica de refrigeración requerido, se realiza un balance general en el sistema de intercambio tal que:

$$\dot{m}_{servicio} = \frac{Q_{enfriamiento}}{Cp_{servicio} \Delta T_{servicio}} \quad \text{Ecuación 52}$$

Para determinar el coeficiente global de transferencia, una vez definidos los dos fluidos del proceso de intercambio, se hace uso de los valores experimentales reportados para la combinación de fluidos fríos y calientes. Cuando se trabajan con sistemas que involucran soluciones acuosas como fluido caliente y agua como fluido frío, el coeficiente global de transferencia U suele estar entre 250–500 BTU/h.Ft².°F. Se recomienda utilizar valores altos de U para disminuir el área de transferencia de calor [40].

La temperatura media logarítmica ($LMTD$) se calcula en base a las temperaturas del fluido caliente (T) y la temperatura del fluido frío (t) como:

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \quad \text{Ecuación 53}$$

Para determinar el valor del F_T , se hace uso de las figuras del factor de corrección para intercambiadores según la configuración del número de pasos por la camisa y los tubos. Por ejemplo, para un intercambiador 2-4 se tiene la Figura 27.

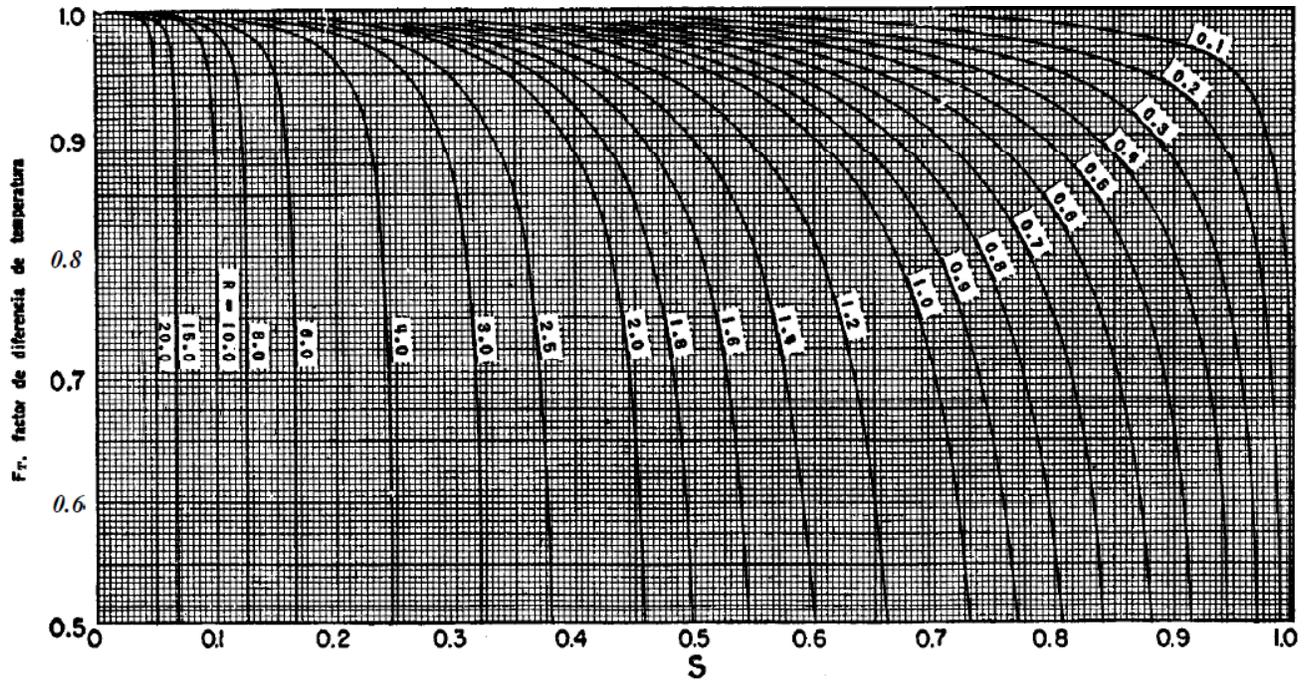


Figura 27. Factor de corrección para un intercambiador 2-4 [40].

Dónde,

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad \text{Ecuación 54}$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad \text{Ecuación 55}$$

Cruzando los valores de R y S , se determina el F_T de la gráfica y siempre se recomienda que este valor no sea inferior a 0.7 [40].

Finalmente, se puede determinar el área del enfriador despejando de la Ecuación 51.

En esta sección se presentaron los fundamentos teóricos, procedimientos y modelos matemáticos para dimensionar un sistema de refrigeración por absorción

7. METODOLOGÍA

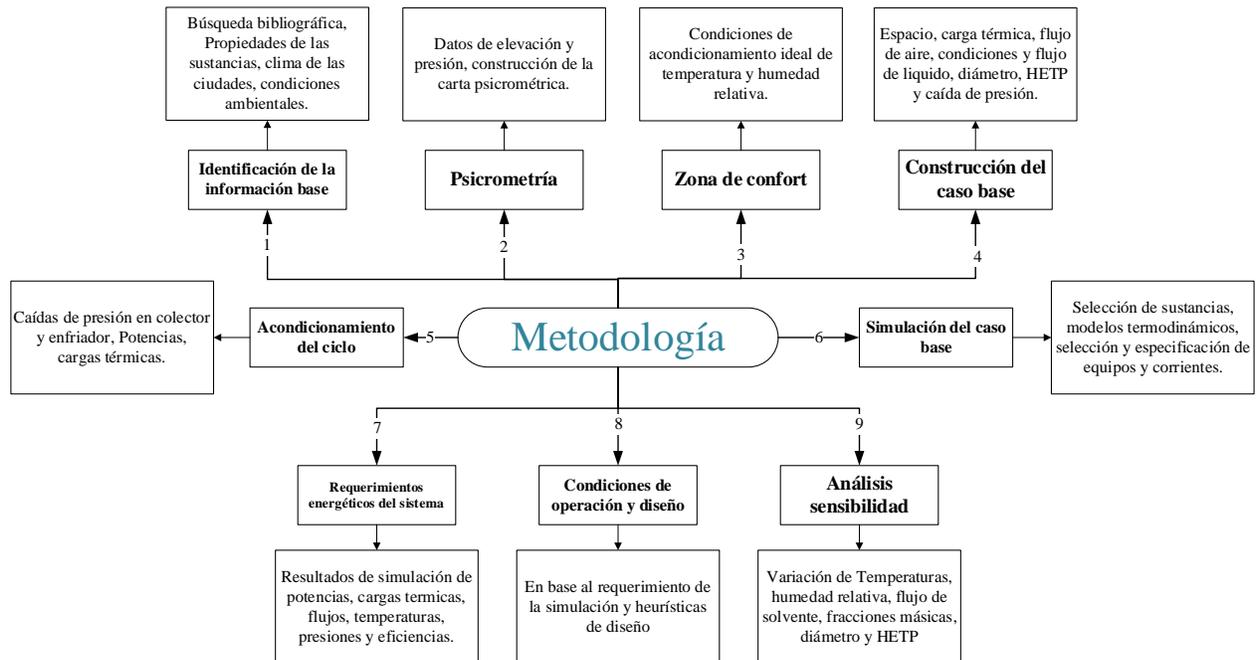


Figura 28. Diagrama estructural de la metodología.

7.1 Identificación de la información base.

7.1.1 Revisión y búsqueda bibliográfica.

Se emplean diferentes bases de datos disponibles para la consulta de información de artículos científicos, patentes, textos universitarios y materiales útiles con información disponible sobre distintos sistemas de acondicionamiento por absorción para analizar en qué estado se encuentra el desarrollo de las distintas tecnologías empleadas, mapas de irradiación solar, tasas de renovación del aire, heurísticas para equipos como ventiladores y bombas, información sobre colectores y enfriadores, características y concentración del cloruro de calcio, energía solar, entre otros.

7.1.2 Propiedades de las sustancias.

Primero se identifica la composición del aire seco y, una vez con dichas fracciones, se define para cada sustancia las propiedades termofísicas en estado gaseoso como temperatura de ebullición, capacidad calorífica, densidad, presión de vapor, viscosidad, entre otras, listadas en el Anexo A.

Tabla 3. Composición del aire seco [41].

Compuesto	Composición molar %
Nitrógeno	78
Oxígeno	21
Argón	0.93
Dióxido de carbono	0.07

Luego, se definen las distintas concentraciones de la solución de cloruro de calcio (CaCl_2) al igual que sus propiedades termofísicas en estado líquido (ver Anexo A). Para este trabajo se define una concentración del 40% en peso de CaCl_2 en agua.

Para el compuesto que se absorbe o se desorbe (agua) se definen las propiedades termofísicas para estado líquido y gaseoso listadas en el Anexo A.

7.1.3 Caracterización climática de las ciudades colombianas a estudiar.

Para las distintas zonas climáticas del territorio colombiano se tiene en cuenta las regiones del país (Andina, Orinoquía, Pacífica, Caribe, Amazonía e Insular). Se consultan los datos de temperatura y humedad relativa en base a los datos históricos reportados por el IDEAM para definir las condiciones máximas en las ciudades representativas de cada una de las regiones entre las cuales se seleccionan para su estudio Medellín, Arauca, Buenaventura, Cartagena, Inírida y San Andrés.

7.1.4 Condiciones ambientales

Para cada una de las ciudades seleccionadas se buscan los datos promedios de temperatura y humedad relativa en el IDEAM durante cada hora del día en los meses de junio, julio y/o agosto del año 2021. Ver Anexo B.

Luego, se determina la temperatura promedio, máximas y mínimas, a lo largo de un mes (ya sea junio, julio o agosto del año 2021) para encontrar la tendencia de cada ciudad en dicho periodo de tiempo. De manera análoga se realiza para la humedad relativa. Ver Anexo B.

7.2 Psicrometría.

En base a la elevación sobre el nivel del mar y presión atmosférica determinada para cada ciudad, se construye la carta psicrométrica con el fin de representar los datos de temperatura y humedad relativa en un mes sobre este diagrama. Cada diagrama se puede observar en el Anexo B.

Tabla 4. Datos de presión y elevación de cada ciudad [42].

Ciudad	Presión [mmHg]	Elevación [m]
Medellín (caso base)	640	1538
Arauca	749	119
Buenaventura	759.8	7
Cartagena	760	0
Inírida	747	95
San Andrés	760	0

7.3 Zona de confort.

De acuerdo con la teoría del confort se selecciona un área que se considera térmicamente adecuada para determinar las condiciones del acondicionamiento ideal de temperatura (20-25°C) y humedad relativa (30-70%). Esta zona se dibuja sobre la carta psicrométrica anteriormente realizada y se compara con los valores de temperatura y de humedad relativa para determinar la dispersión de los datos de la zona de confort. También se determinan las condiciones máximas de temperatura y humedad relativa para evaluar el sistema de aire acondicionado en cada ciudad seleccionada.

Tabla 5. Condiciones críticas de temperatura y humedad relativa ambiental en cada ciudad.

Ciudad	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]
Medellín (caso base)	32	98
Arauca	33	100
Buenaventura	34.6	100
Cartagena	36.6	99
Inírida	34	100
San Andrés	31.8	100

7.4 Construcción del caso base.

7.4.1 Espacio, carga térmica y flujo de aire.

Se selecciona un espacio para implementar el sistema de aire acondicionado por absorción, asignándole las dimensiones de altura, ancho y longitud. Para este caso el espacio es una oficina con las dimensiones mostrada en la Figura 29:

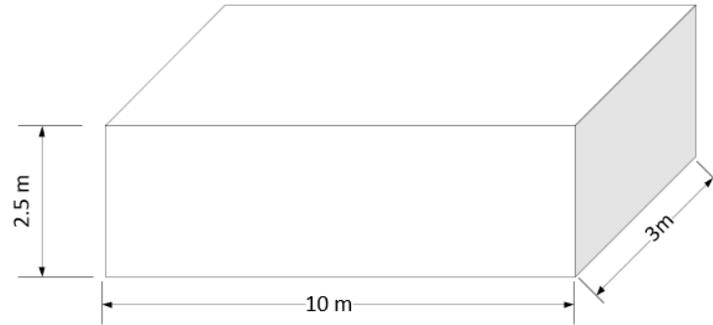


Figura 29. Dimensiones de la oficina para acondicionamiento.

Con el área calculada de este espacio (30m^2), se define el número de personas que pueden ocupar el lugar por m^2 en base a las heurísticas del Standar 62.1 que, para este caso, son 15 personas. Posteriormente, se define la renovación de aire por hora teniendo en cuenta la Norma DIN 1946, siendo para las oficinas 4 renovaciones de aire por hora. Con el volumen (75m^3) de la oficina y la Ecuación 14 se calcula el caudal de aire seco a tratar, siendo de $300\text{m}^3/\text{h}$ ($360\text{kg}/\text{h}$). Luego, se especifica la temperatura y humedad relativa de acondicionamiento para dicho lugar dónde, según la zona de confort, se selecciona una temperatura de 23°C y una humedad relativa del 60%. Las condiciones de confort de la oficina mencionada son las mismas para cada ciudad.

Para dicho espacio se debe considerar lo siguiente: el calor irradiado por los ocupantes y equipos (como sistema de cómputo o luces) son despreciables frente al calor debido a la convección natural; el material de los muros debe ser de ladrillo común de espesor de 0.2m y su conductividad térmica es $k=8.65 \times 10^{-3} \text{ kW}/\text{m}\cdot\text{K}$ y debe estar con dos capas de cemento plástico cada una de espesor de 0.02m ($k=0.77 \times 10^{-3} \text{ kW}/\text{m}\cdot\text{K}$); los coeficientes convectivos de transferencia de calor dentro y fuera de la habitación corresponden a $h_{\infty}=35 \times 10^{-3} \text{ kW}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ y $h_i=8.5 \times 10^{-3} \text{ kW}/\text{m}^2\cdot\text{K}$, respectivamente [12]; el techo es de material aislante tal que se desprecian los efectos de transferencia de calor sobre este y no se consideran ganancias térmicas por radiación del edificio.

Por último, se determina las cargas térmicas debido a las interacciones por componentes humanos (q_p) y no humanos (q_n) y se estima el flujo adecuado para llevar a cabo el acondicionamiento de la oficina empleando desde la Ecuación 15 hasta la Ecuación 21. Estos datos se encuentran en la sección de resultados en la Tabla 12.

7.4.2 Condiciones de flujo de líquido requerido.

De acuerdo con la condición de acondicionamiento, se define que la temperatura de entrada de líquido al absorbedor debe ser menor a 23°C , en este caso se elige 22°C . Con la Ecuación 24 se

determina el flujo mínimo requerido de líquido y luego se calcula el flujo de operación utilizando el rango definido anteriormente. Los resultados se muestran en la Tabla 13

Para la estimación inicial de la temperatura de salida de líquido del absorbedor, se realizan los cálculos del método short-cut descrito en el Anexo C donde, suponiendo la temperatura de entrada del líquido, se estima la separación inicial de los compuestos en el absorbedor.

Una vez definida las condiciones de operación del absorbedor se estima el diámetro y caída de presión de la torre utilizando el método de las correlaciones GPDC donde se realiza un análisis para cuatro empaques diferentes con distintas dimensiones, listados en la Tabla 6.

Tabla 6. Tipos de empaque y sus dimensiones para el absorbedor [17].

Tipo empaque	Material	Dp [in]	Fp [ft²/ft³]
Anillo Pall (Raschig)	Plástico	1	98.2960
Anillo Ralu	Plástico	1	69.7409
Anillo Raschig	Cerámica	1 ½	95
Ralupak 250YC (estructurado)	Metal	-	90.3171

Estos cuatro tipos de empaque se analizan para cada ciudad y se selecciona trabajar en la simulación con los anillos Pall (Raschig).

Finalmente se estima el HETP inicial requerido utilizando las relaciones consideradas en la Ecuación 31 hasta la Ecuación 34 y las características del interno para el absorbedor se muestran en la sección de resultados correspondiente a la Tabla 15

Con la estimación inicial de la separación en el absorbedor se determina el flujo de gas mínimo requerido por el desorbedor utilizando la Ecuación 26 y considerando una relación de flujo de operación más alta de lo permitida para obtener las condiciones adecuadas de recuperación de solvente. Dichos resultados se encuentran en la Tabla 14

Utilizando el método short-cut para el desorbedor, especificado en el Anexo C, se estima las condiciones de temperatura y flujos de salida del líquido.

De manera análoga al absorbedor se determina el diámetro, altura y caída de presión para el desorbedor donde también se seleccionan los mismos tipos de empaques, pero teniendo en cuenta las dimensiones de la Tabla 15

Tabla 7. Tipos de empaque y sus dimensiones para el desorbedor [17].

Tipo empaque	Material	Dp [in]	Fp [ft²/ft³]
Anillo Pall (Raschig)	Plástico	1 ½	62.13
Anillo Ralu	Plástico	1 ½	46.52

Anillo Raschig	Cerámica	1 ½	95
Ralupak 250YC (estructurado)	Metal	-	90.3171

7.5 Acondicionamiento del ciclo.

Después de definir las condiciones de temperatura y flujo del absorbedor y del desorbedor con el método corto, se determinan las condiciones de caída de presión en el colector solar (1psi [31]) y en el enfriador (5psi [40]) para implementar la estimación de potencia teórica requerida en las bombas dada en la Ecuación 38 y se calcula la temperatura inicial a la salida de cada bomba con la Ecuación 39. Además, se estiman las potencias teóricas de los ventiladores usando la Ecuación 37 en base al requerimiento de presión de cada una de las torres, teniendo en cuenta que el aumento de presión en los ventiladores es de 0.035psi [43] y se calcula la temperatura de salida de estos ventiladores con la Ecuación 35.

La carga térmica se calcula con la Ecuación 41. Para el colector solar en base a la temperatura de salida del líquido del sistema de absorción y el requerimiento de temperatura de entrada del sistema de desorción; y para el sistema de enfriamiento en base a la temperatura de salida del desorbedor y la temperatura de entrada al absorbedor.

7.6 Simulación caso base.

Teniendo en cuenta las condiciones de operación determinadas anteriormente, se realiza la simulación en el software Aspen Plus ® ingresando las sustancias involucradas en el proceso. Es de resaltar que el cloruro de calcio se encuentra disociado en los iones Ca^{2+} y Cl^- en presencia de agua.

Component ID	Type	Component name	Alias
N2	Conventional	NITROGEN	N2
O2	Conventional	OXYGEN	O2
AR	Conventional	ARGON	AR
CO2	Conventional	CARBON-DIOXIDE	CO2
H2O	Conventional	WATER	H2O
CACL2	Conventional	CALCIUM-CHLORIDE	CACL2
CA++	Conventional	CA++	CA+2
CL-	Conventional	CL-	CL-

Figura 30. Selección de sustancias.

Se especifica el modelo termodinámico que para este caso es ELECRTL para el líquido, debido a que tiene mayor desempeño a la hora de simular las propiedades de las sustancias con

comportamiento electrolítico y se utiliza ESRKS para el gas el cual corresponde a la ecuación de estado Soave Redlich Kwong. Los parámetros de interacción binaria se eligen para el modelo según las bases de datos disponibles en la versión del software.

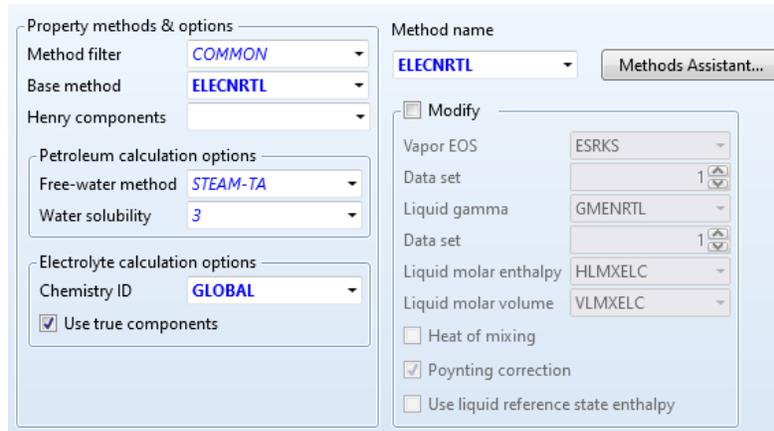


Figura 31. Modelo termodinámico para la fase líquida y gaseosa.

En el entorno de simulación se selecciona los equipos de separación *RadFrac* para el absorbedor y desorbedor definiendo las condiciones de operación calculadas, para los sistemas de cambio de presión de líquido se usan bombas *Pump*, para los cambios de presión en el gas se seleccionan equipos *Comp* y para el sistema del colector solar y el enfriador se usan equipos *Heater* (Figura 32). Ver Anexo E para la especificación de cada equipo.

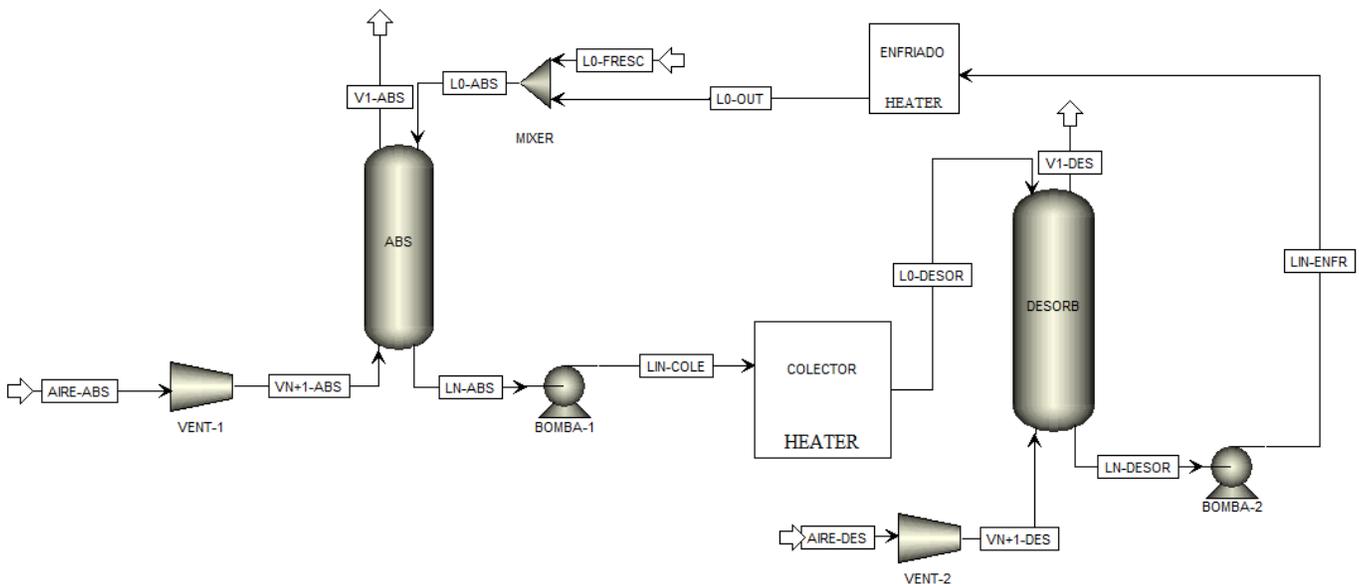


Figura 32. Diagrama de flujo del proceso.

Para la Figura 32, inicialmente se considera un sistema abierto con el objetivo de ingresar la corriente líquida al absorbedor directamente y una vez calculadas la separación en el desorbedor

se sigue un proceso iterativo ingresando una corriente fresca a un mezclador y la corriente de salida del desorbedor se combina con ésta para entrar luego al absorbedor de tal forma que el sistema se comporte como cerrado y la corriente fresca de líquido que ingresa al mezclador sea tan pequeña que su condición térmica no afecta el balance de masa y energía.

Este proceso se repite para cada una de las ciudades seleccionadas con sus respectivas condiciones. (Ver Anexo E).

7.7 Requerimiento energético del sistema.

De acuerdo con las simulaciones realizadas, se toman los resultados energéticos requeridos por las bombas, ventiladores, colector y enfriador. (Ver Anexo E).

Se listan cada uno de los flujos, temperaturas, presiones requeridas, eficiencias para cada ciudad elegida y así comparar cada una de ellas.

7.8 Condiciones de operación y diseño.

Las condiciones de operación son las condiciones finales utilizadas en las simulaciones de cada ciudad. Para las condiciones de diseño de las columnas de absorción y desorción, se utiliza el método descrito en la sección 6 correspondientes desde la Ecuación 42 hasta la Ecuación 46, para las bombas desde la Ecuación 47 hasta la Ecuación 49, para los ventiladores se emplea la Figura 23 y la Ecuación 48, para el colector solar se usa la Ecuación 50 y la Figura 24. Finalmente, para el enfriador se utiliza el método descrito desde la Ecuación 51 hasta la Ecuación 55.

7.9 Análisis de sensibilidad.

Se utiliza la herramienta *Model Analysis tools* para realizar el análisis multivariable y ver cómo afecta este cambio en las distintas variables respuesta más importantes de la simulación.

Las variables para sensibilizar se observan en la Tabla 8 y las variables respuesta en la Tabla 9.

Tabla 8. Variables para sensibilizar.

Variable	Rango
Temperatura ambiental, °C	22-31 °C
Humedad relativa, %	60 % - máxima alcanzada en cada ciudad
Temperatura del disecante, °C	15-30 °C
Flujo de solvente, kmol/h	50-300 kmol/h
Fracción másica de CaCl ₂	0.05-0.5
Diámetro del absorbedor/desorbedor, m	0.3-.05 m
HETP del absorbedor/desorbedor, m	0.2-0.8 m

Tabla 9. Variables respuesta.

Variables	Unidades
Flujo de salida del agua por el absorbedor, $V_{1,H2O}$	kg/h
Temperatura de salida del absorbedor, T_1	°C
Flujo de salida de líquida del desorbedor, L_N	kmol/h
Flujo de salida del agua por el desorbedor, $L_{N,H2O}$	Kmol/h
Fracción másica de agua a la salida del desorbedor, w_{H2O}	-
Fracción másica del CaCl ₂ a la salida del desorbedor, w_{CaCl2}	-
Potencia del ventilador 1, $W_{Ventilador1}$	Watt
Potencia del ventilador 2, $W_{Ventilador2}$	Watt
Potencia de la bomba 1, W_{Bomba1}	Watt
Potencia de la bomba 2, W_{Bomba2}	Watt
Calor del colector, $Q_{colector}$	kW
Calor del enfriador, $Q_{enfriador}$	kW

7.9.1 Temperatura y Humedad relativa.

Para distintos datos de temperatura ambiental entre 22 y 31°C se varia la humedad relativa entre 60% hasta la máxima de cada ciudad para determinar los diferentes flujos de agua en el aire en las corrientes de entrada del sistema de absorción y de desorción.

Variable	Active	Manipulated variable	Units
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Stream-Var Stream=AIRE-ABS Substream=MIXED Variable=TEMP	C
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Stream-Var Stream=AIRE-DES Substream=MIXED Variable=TEMP	C
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Mole-Flow Stream=AIRE-ABS Substream=MIXED Component=H2O	kmol/hr
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Mole-Flow Stream=AIRE-DES Substream=MIXED Component=H2O	kmol/hr

Figura 33. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad de temperatura y humedad relativa.

Se toman los datos de las siguientes variable respuesta:

Variable	Definition
TOOUT	Stream-Var Stream=L0-OUT Substream=MIXED Variable=TEMP Units=C
VHUMABS	Stream-Var Stream=AIRE-ABS Substream=MIXED Variable=MASS-FLOW Units=kg/hr
VH2OABS	Mass-Flow Stream=AIRE-ABS Substream=MIXED Component=H2O Units=kg/hr
V1H2OAB	Mass-Flow Stream=V1-ABS Substream=MIXED Component=H2O Units=kg/hr
LNH2ODES	Mole-Flow Stream=LN-DESOR Substream=MIXED Component=H2O Units=kmol/hr
TV1	Stream-Var Stream=V1-ABS Substream=MIXED Variable=TEMP Units=C
POTVEN1	Block-Var Block=VENT-1 Variable=NET-WORK Sentence=RESULTS Units=Watt
POTVEN2	Block-Var Block=VENT-2 Variable=NET-WORK Sentence=RESULTS Units=Watt
POTBOM1	Block-Var Block=BOMBA-1 Variable=NET-WORK Sentence=RESULTS Units=Watt
POTBOM2	Block-Var Block=BOMBA-2 Variable=NET-WORK Sentence=RESULTS Units=Watt
QCOLEC	Block-Var Block=COLECTOR Variable=QCALC Sentence=PARAM Units=kW
QENFRI	Block-Var Block=ENFRIADO Variable=QCALC Sentence=PARAM Units=kW

Figura 34. Variable respuesta en el análisis de sensibilidad de temperatura y humedad relativa.

7.9.2 Temperatura y flujo de solvente.

En primer lugar, se varía por separado la temperatura de entrada del solvente entre 15 y 30°C y el flujo de solvente entre 50 hasta 300kmol/h. Para cambiar la temperatura del fluido se debe cumplir que la temperatura fresca sea igual a la de salida del enfriador. Se toman los datos variable respuesta de la Figura 34.

	Variable	Active	Manipulated variable	Units
▶	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Stream-Var Stream=L0-FRESC Substream=MIXED Variable=TEMP	C
▶	2	<input checked="" type="checkbox"/>	Stream-Var Stream=L0-IN Substream=MIXED Variable=TEMP	C
▶	3	<input checked="" type="checkbox"/>	Block-Var Block=ENFRIADO Variable=TEMP Sentence=PARAM	C

Figura 35. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad de temperatura del solvente.

Para el análisis del flujo, en la simulación se abre el sistema cerrado para variar en el rango establecido.

	Variable	Active	Manipulated variable	Units
▶	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Stream-Var Stream=L0-IN Substream=MIXED Variable=MOLE-FLOW	kmol/hr

Figura 36. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad del flujo de solvente.

Se toman los datos de las siguientes variable respuesta:

	Variable	Definition
▶	VHUMABS	Stream-Var Stream=AIRE-ABS Substream=MIXED Variable=MASS-FLOW Units=kg/hr
▶	VH2OABS	Mass-Flow Stream=AIRE-ABS Substream=MIXED Component=H2O Units=kg/hr
▶	V1H2OAB	Mass-Flow Stream=V1-ABS Substream=MIXED Component=H2O Units=kg/hr
▶	L0OUT	Stream-Var Stream=L0-OUT Substream=MIXED Variable=MOLE-FLOW Units=kmol/hr
▶	LNH2ODES	Mole-Flow Stream=LN-DESOR Substream=MIXED Component=H2O Units=kmol/hr
▶	TV1	Stream-Var Stream=V1-ABS Substream=MIXED Variable=TEMP Units=C
▶	POTVEN1	Block-Var Block=VENT-1 Variable=NET-WORK Sentence=RESULTS Units=Watt
▶	POTVEN2	Block-Var Block=VENT-2 Variable=NET-WORK Sentence=RESULTS Units=Watt
▶	POTBOM1	Block-Var Block=BOMBA-1 Variable=NET-WORK Sentence=RESULTS Units=Watt
▶	POTBOM2	Block-Var Block=BOMBA-2 Variable=NET-WORK Sentence=RESULTS Units=Watt
▶	QCOLEC	Block-Var Block=COLECTOR Variable=QCALC Sentence=PARAM Units=kW
▶	QENFRI	Block-Var Block=ENFRIADO Variable=QCALC Sentence=PARAM Units=kW
▶	WH2O	Mass-Frac Stream=L0-OUT Substream=MIXED Component=H2O
▶	WCA	Mass-Frac Stream=L0-OUT Substream=MIXED Component=CA++
▶	WCL	Mass-Frac Stream=L0-OUT Substream=MIXED Component=CL-

Figura 37. Variable respuesta en el análisis de sensibilidad del flujo de solvente.

Ahora se varían simultáneamente tanto la temperatura como el flujo de solvente teniendo en cuenta los rangos de cada variable. Se toman los datos variable respuesta de la Figura 34.

	Variable	Active	Manipulated variable	Units
▶	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Block-Var Block=ENFRIADO Variable=TEMP Sentence=PARAM	C
▶	2	<input checked="" type="checkbox"/>	Stream-Var Stream=L0-IN Substream=MIXED Variable=TEMP	C
▶	3	<input checked="" type="checkbox"/>	Stream-Var Stream=L0-IN Substream=MIXED Variable=MOLE-FLOW	kmol/hr

Figura 38. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad de temperatura y flujo del solvente.

7.9.3 Concentración del solvente.

Para la concentración se varían los flujos de las corrientes de entrada de agua y del cloruro de calcio en el absorbedor de modo que el flujo total de líquido siempre sea el flujo de operación calculado y además que la composición másica de cloruro de calcio este en un rango entre 0.05 y 0.5 aproximadamente.

	Variable	Active	Manipulated variable	Units
▶	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Mole-Flow Stream=L0-IN Substream=MIXED Component=H2O	kmol/hr
▶	2	<input checked="" type="checkbox"/>	Mole-Flow Stream=L0-IN Substream=MIXED Component=CACL2	kmol/hr

Figura 39. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad de la concentración de CaCl₂.

Las variables respuesta son las siguientes:

	Variable	Definition
▶	VHUMABS	Stream-Var Stream=AIRE-ABS Substream=MIXED Variable=MASS-FLOW Units=kg/hr
▶	VH2OABS	Mass-Flow Stream=AIRE-ABS Substream=MIXED Component=H2O Units=kg/hr
▶	V1H2OAB	Mass-Flow Stream=V1-ABS Substream=MIXED Component=H2O Units=kg/hr
▶	L0OUT	Stream-Var Stream=L0-OUT Substream=MIXED Variable=MOLE-FLOW Units=kmol/hr
▶	LNH2ODES	Mole-Flow Stream=LN-DESOR Substream=MIXED Component=H2O Units=kmol/hr
▶	TV1	Stream-Var Stream=V1-ABS Substream=MIXED Variable=TEMP Units=C
▶	POTVEN1	Block-Var Block=VENT-1 Variable=NET-WORK Sentence=RESULTS Units=Watt
▶	POTVEN2	Block-Var Block=VENT-2 Variable=NET-WORK Sentence=RESULTS Units=Watt
▶	POTBOM1	Block-Var Block=BOMBA-1 Variable=NET-WORK Sentence=RESULTS Units=Watt
▶	POTBOM2	Block-Var Block=BOMBA-2 Variable=NET-WORK Sentence=RESULTS Units=Watt
▶	QCOLEC	Block-Var Block=COLECTOR Variable=QCALC Sentence=PARAM Units=kW
▶	QENFRI	Block-Var Block=ENFRIADO Variable=QCALC Sentence=PARAM Units=kW
▶	WH2O	Mass-Frac Stream=L0-OUT Substream=MIXED Component=H2O
▶	WCA	Mass-Frac Stream=L0-OUT Substream=MIXED Component=CA++
▶	WCL	Mass-Frac Stream=L0-OUT Substream=MIXED Component=CL-
▶	FTOTAL	Stream-Var Stream=L0-IN Substream=MIXED Variable=MOLE-FLOW Units=kmol/hr

Figura 40. Variable respuesta en el análisis de sensibilidad de la concentración de CaCl₂.

7.9.4 Diámetro y altura del absorbedor y desorbedor.

Se varía simultáneamente en primer lugar el diámetro del absorbedor en un rango entre 0.3 y 0.5 metros y la altura entre 0.2 y 0.8 metros.

	Variable	Active	Manipulated variable	Units
▶	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Block-Var Block=ABS Variable=CA-DIAM Sentence=INTERNALS ID1=INT-1 ID2=CS-1	meter
▶	2	<input checked="" type="checkbox"/>	Block-Var Block=ABS Variable=CA-HETP Sentence=INTERNALS ID1=INT-1 ID2=CS-1	meter

Figura 41. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad del diámetro y altura del absorbedor.

En segundo lugar, se varía el diámetro y la altura del desorbedor en los mismos rangos establecidos para el absorbedor.

	Variable	Active	Manipulated variable	Units
▶	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Block-Var Block=DESORB Variable=CA-DIAM Sentence=INTERNALS ID1=INT-1 ID2=CS-1	meter
▶	2	<input checked="" type="checkbox"/>	Block-Var Block=DESORB Variable=CA-HETP Sentence=INTERNALS ID1=INT-1 ID2=CS-1	meter

Figura 42. Variables manipuladas en el análisis de sensibilidad del diámetro y altura del desorbedor.

Las variables respuesta, tanto para el absorbedor como desorbedor, se observan en la Figura 37.

Para todos los análisis de sensibilidad mencionados anteriormente los resultados de su simulación se muestran en el Anexo E para cada una de las ciudades.

En la presente sección se mostró cómo es el proceso a seguir para desarrollar cada uno de los aspectos del trabajo.

8. RESULTADOS

A continuación, se describen los resultados obtenidos en cada apartado de la sección 7. En el apartado 8.1 se presentan los cálculos primarios requeridos para realizar la simulación en el software y el análisis de grados de libertad; en el ítem 8.2 se hace mención de los resultados basados en el método short-cut y los balances de energía en los equipos de acondicionamiento de las corrientes y se presentan los resultados más relevantes alcanzados en la simulación para cada una de las zonas climáticas seleccionadas; el ítem 8.3 muestra los resultados de los parámetros de diseño calculados para las condiciones de operación alcanzadas en la simulación y finalmente, el apartado 8.4 expone los resultados obtenidos por los análisis de sensibilidad de las variables más importantes del proceso. Todos los resultados presentados a continuación pertenecen al análisis del caso base, es decir, de la ciudad de Medellín y algunos de los resultados de las demás zonas del territorio colombiano. Los resultados ampliados para todas las ciudades se encuentran en los Anexos.

8.1 Análisis de grados de libertad y cálculos primarios para la simulación

La Tabla 10 muestra el análisis de grados de libertad para el sistema de aire acondicionado.

Tabla 10. Análisis de grados de libertad para el sistema acoplado.

Variables	Ventilador 1	Ventilador 2	Bomba 1	Bomba 2	Absorbedor	Desorbedor	Colector	Enfriador	Global	Proceso
N° Corrientes	2	2	2	2	4	4	2	2	4	12
N° Comp. Ind.	8	8	2	2	10	10	2	2	16	31
Temperaturas	2	2	2	2	4	4	2	2	4	12
Q-W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Datos										
Ec. Balance de masa	-5	-5	-2	-2	-6	-6	-2	-2	-5	-30
Balance de Energía	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-8
Corrientes conocidas	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1
Compos. Conocidas	-4	-4	0	0	0	0	0	0	-8	-8
Temp. Conocidas	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-2	-2
Q-W. Conocido	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	-4
Relaciones										
Flujo	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-8
Composición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recuperación	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	-2
Temperaturas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q-W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	1	3	3	9	9	2	2	8	0

La Tabla 10 se construyó teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El flujo de los ventiladores, bombas, el colector y enfriador son constantes, es decir, el flujo a la entrada y salida son iguales.
- El flujo de entrada al ventilador 1 es el flujo requerido por el volumen del espacio, las renovaciones de aire por hora y las cargas térmicas que se consideran.
- Las temperaturas del ventilador 1 y 2 a la entrada corresponden a la temperatura ambiente.
- Las torres operan de manera adiabática ($\dot{Q}=0$).
- El flujo de líquido a la entrada de absorbedor y el flujo de entrada de vapor al desorbedor se determinaron a partir de la relación de reflujo mínimo y el flujo de operación requerido.
- El colector y el enfriador operan de manera adiabática.
- Las trazas de N_2 , O_2 , CO_2 y Ar que se absorben o se desorben en el ciclo cerrado son tan pequeñas que se consideran despreciables y en la corriente líquida del ciclo se considera que solamente participan el $CaCl_2$ y el H_2O .
- La recuperación en el absorbedor y desorbedor corresponden al flujo de vapor de acondicionamiento y el requerimiento de flujo de agua a la entrada del absorbedor, respectivamente.

Teniendo en cuenta el estado de acondicionamiento de la oficina, con una temperatura de $23^\circ C$ y 60% de humedad relativa, la Tabla 11 muestra las condiciones necesarias de contenido de humedad determinadas a partir de la carta psicrométrica, las cuales serán objetivo para alcanzar a la hora de realizar la simulación.

Tabla 11. Condiciones de acondicionamiento para la corriente de aire en cada ciudad.

Aire ambiental (V_{N+1})						
Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$T_{ambiente}, ^\circ C$	32	33	34.6	36.6	34	31.8
$HR, \%$	98	100	100	99	100	100
$HA, kg_v/kg_{as}$	0.03596	0.03302	0.03574	0.03974	0.03513	0.03029
$\dot{m}_v, kg/h$	15.6992	14.5211	15.5339	17.0063	15.3571	13.6041
$V_{N+1,v}, kmol/h$	0.8877	0.8058	0.8620	0.9437	0.8522	0.7549
Aire acondicionado (V_1)						
$T_{ambiente}, ^\circ C$	23	23	23	23	23	23
$HR, \%$	60	60	60	60	60	60
$HA, kg_v/kg_{as}$	0.01254	0.01068	0.01053	0.01053	0.01071	0.01053

$\dot{m}_v, \text{ kg/h}$	5.5782	4.6967	4.5767	4.5062	4.6816	4.7293
$V_{N+I,v}, \text{ kmol/h}$	0.3096	0.2606	0.2540	0.2501	0.2598	0.2624

Nota: Las propiedades psicrométricas están sujetas a las condiciones de presión y elevación de cada ciudad las cuales están descritas en la Tabla 4.

En la Tabla 11 se observa que la mayoría de las ciudades, excepto Medellín y Cartagena, alcanzan una condición de humedad relativa máxima (100%) lo que significa que se debe retirar mayor cantidad de vapor de agua en el ambiente.

Los datos para el cálculo de la carga de flujo de aire se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Cargas térmicas y flujo recalculado requerido para cada ciudad.

Ciudad	q^∞ [kW/m ²]	q_p [kW/m ²]	q_n [kW/m ²]	%p	%n	\dot{m}_{as} recalculado [kg/h]
Medellín	0.0155	0.0031	0.0005	20.2	3.4	444.8335
Arauca	0.0170	0.0032		19.1	3.1	439.7661
Buenaventura	0.0179	0.0032		17.8	2.9	434.6371
Cartagena	0.0210	0.0035		16.4	2.5	427.9393
Inírida	0.0170	0.0031		18.4	3.1	437.1213
San Andrés	0.0136	0.0029		20.9	3.8	449.1286

En la Tabla 12 se logra apreciar como la carga térmica de acondicionamiento (q^∞) está relacionada directamente con la temperatura del espacio a acondicionar, donde Cartagena es la ciudad con una temperatura ambiental más elevada (36.6°C) por lo cual el flujo de calor en el espacio, debido al proceso de acondicionamiento, es mayor y para el caso de San Andrés, la ciudad con una temperatura ambiental menor (31.8°C) sufre el efecto contrario. La variación de las cargas térmicas debido a la interacción del componente humano (q_p) entre cada ciudad son relativamente pequeñas mientras que para los componentes no humanos es la misma para cada ciudad debido a que no depende de la temperatura. Al relacionar las cargas se determina que San Andrés es la ciudad que requiere un mayor flujo de aire de acondicionamiento.

La Tabla 13 especifica los datos de flujo mínimo y flujo de operación de solvente para el absorbedor.

Tabla 13. Flujos de corriente líquida en el absorbedor para cada ciudad.

Ciudad	$L_{0,min}$ [kmol/h]	L_0 [kmol/h]
Medellín (caso base)	212.6977	233.9674
Arauca	196.6606	216.3267
Buenaventura	220.4708	242.5179
Cartagena	252.2499	277.4749

Inírida	213.9651	235.3616
San Andrés	177.4162	195.1579

La cantidad de flujo de solvente requerido dado en la Tabla 13 nos indica que las ciudades con una temperatura ambiental más elevada requieren mayor flujo. Cartagena al ser la ciudad más calurosa con una temperatura de 36.6°C tiene los mayores requerimientos de solvente líquido, por el contrario, San Andrés con una temperatura de 31.8°C es la ciudad con menor requerimiento de solvente.

El flujo gaseoso mínimo requerido y de operación estimado para el desorbedor se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Flujos de corriente gaseosa en el desorbedor para cada ciudad.

Ciudad	V_{N+1min} [kmol/h]	V_{N+1} [kmol/h]
Medellín (caso base)	6.9514	24.3298
Arauca	7.8579	23.5737
Buenaventura	8.8786	36.4021
Cartagena	9.4341	38.6797
Inírida	8.5033	29.7614
San Andrés	7.1822	17.2372

La cantidad de flujo gaseoso requerido en el desorbedor es directamente proporcional al aumento de temperatura ambiental de la ciudad, por esto la Tabla 14 muestra que Cartagena es la ciudad que mayor requerimiento necesita, seguido por Buenaventura y en último lugar Medellín, la cual su temperatura ambiental es de 32°C mientras que Cartagena es de 36.6°C como se observa en la Tabla 11.

Los datos estimados para el diámetro del empaque del absorbedor y desorbedor en cada ciudad se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Dimensiones del interno anillos Pall para el absorbedor y desorbedor.

Ciudad	D_T [m]	
	Absorbedor	Desorbedor
Medellín (caso base)	0.4224	0.4261
Arauca	0.4056	0.4057
Buenaventura	0.4076	0.4938
Cartagena	0.4155	0.4900
Inírida	0.4067	0.4463
San Andrés	0.4005	0.3628

El diámetro nominal del empaque tanto para el absorbedor como desorbedor se elige en un estándar de 0.45 m por practicidad en las simulaciones. La caída de presión del empaque ($\Delta P/z$) para el absorbedor es de 0.5 inH₂O/ft y para el desorbedor es de 0.7 inH₂O/ft. La altura teórica de empaque ($HETP$) para el absorbedor es de 0.4572 m y para el desorbedor es de 0.6264 m. Lo anterior se cumple para todas las ciudades.

8.2 Resultados basados en la simulación

Los resultados basados en el método *short-cut* y los balances de energía se encuentran reportados en el Anexo C para todas las ciudades.

La Tabla 16 muestra los resultados de la simulación basados en las condiciones iniciales de L_0 y V_{N+1} para el absorbedor y la condición de flujo fresco alimentado para simular el sistema cerrado.

Se definen las corrientes de entrada y salida tanto para el aire húmedo como para el solvente.

Tabla 16. Resultados de la simulación para el absorbedor.

Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$T_{op}, ^\circ C$	32.2973	33.2550	34.8525	36.8539	34.2564	32.0505
P_{op}, atm	0.8445	0.9879	1.0021	1.0024	0.9853	1.0024
Corriente entrada gaseosa (V_{N+1})						
$T_{N+1}, ^\circ C$	32.2973	33.2550	34.8525	36.8539	34.2564	32.0505
$V_{N+1}, kmol/h$	16.2425	15.9858	15.8650	15.7155	15.9408	16.2581
$V_{N+1,H_2O}, kmol/h$	0.8877	0.8058	0.8620	0.9438	0.8522	0.7549
Corriente entrada líquido (L_0)						
$T_0, ^\circ C$	22	22	22	22	22	22
$L_{0,fresco}, kmol/h$	2.97×10^{-5}	9.86×10^{-6}	5.31×10^{-6}	6.40×10^{-6}	5.83×10^{-6}	3.28×10^{-6}
$L_0, kmol/h$	279.7375*	258.6529*	289.9705*	331.7638*	281.4122*	233.3424*
$L_{0,H_2O}, kmol/h$	211.1148	195.1971	218.8300	250.3726	212.3727	176.0959
Corriente salida gaseosa (V_1)						
$T_1, ^\circ C$	23.3681	23.4715	23.4740	23.4754	23.4685	23.4760
$V_1, kmol/h$	15.6092	15.3864	15.1979	14.9533	15.2908	15.7141
$V_{1,H_2O}, kmol/h$	0.2962	0.2537	0.2478	0.2443	0.2531	0.2552
Corriente salida líquido (L_N)						
$T_N, ^\circ C$	24.4772	24.5565	24.5523	24.5513	24.5553	24.5589
$L_N, kmol/h$	280.3708*	259.2523*	290.6376*	332.5260*	282.0622*	233.8863*
$L_{N,H_2O}, kmol/h$	211.7062	195.7492	219.4443	251.0720	212.9718	176.5956

* L_0 y L_N tienen en cuenta el flujo disociado del CaCl₂.

La tendencia de temperaturas de operación no varía significativamente respecto a la temperatura ambiental de cada una de las ciudades al igual que con la presión. La temperatura más alta registrada corresponde a la ciudad de Cartagena con 36.85°C mientras que la menor es de 32.05°C correspondiente a la ciudad de San Andrés. Los flujos de líquido del solvente están representados por el flujo disociado del CaCl_2 , esto quiere decir que por cada mol de calcio Ca^+ hay dos de cloro Cl^- , por lo tanto, estos flujos representan un valor mayor que los calculados mediante el método *short-cut* ya que en este no se contempla dicha disociación.

La Tabla 17 muestra los resultados de las condiciones de operación del desorbedor.

Tabla 17. Resultados de la simulación para el desorbedor.

Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$T_{op}, ^\circ\text{C}$	51.63	53.52	53.39	55.12	53.55	54.04
P_{op}, atm	0.8445	0.9897	1.0021	1.0024	0.9853	1.0024
Corriente entrada gaseosa (V_{N+1})						
$T_{N+1}, ^\circ\text{C}$	32.2973	33.2550	34.8525	36.8539	34.2564	32.0505
$V_{N+1}, kmol/h$	24.3298	23.5737	36.4021	38.6797	29.7614	17.2372
$V_{N+1,H_2O}, kmol/h$	1.3297	1.1883	1.9779	2.3228	1.5910	0.8004
Corriente entrada líquido (L_0)						
$T_0, ^\circ\text{C}$	51.63	53.52	53.39	55.12	53.55	54.04
$L_0, kmol/h$	280.3708*	259.2523*	290.6376*	332.5260*	282.0622*	233.8863*
$L_{0,H_2O}, kmol/h$	211.7062	195.7492	219.4443	251.0720	212.9718	176.5956
Corriente salida gaseosa (V_1)						
$T_1, ^\circ\text{C}$	49.5307	51.3085	50.9999	52.9948	51.2496	51.9256
$V_1, kmol/h$	24.9632	24.1734	37.0689	39.4412	30.4116	17.7815
$V_{1,H_2O}, kmol/h$	1.9213	1.7408	2.5919	3.0215	2.1902	1.3005
Corriente salida líquido (L_N)						
$T_N, ^\circ\text{C}$	48.7014	50.4938	50.1344	51.9822	50.4324	51.1285
$L_N, kmol/h$	279.7374*	258.6526*	289.9708*	331.7646*	281.4120*	233.3420*
$L_{N,H_2O}, kmol/h$	211.1146	195.1967	218.8303	250.3733	212.3726	176.0955

* L_0 y L_N tienen en cuenta el flujo disociado del CaCl_2 , ver Anexo E para los resultados detallados.

Análogamente al absorbedor, la temperatura muestra el mismo comportamiento al igual que la presión y el flujo de solvente en el desorbedor, siendo Cartagena la de mayor temperatura de operación con 55.12°C y Medellín la de menor temperatura con 51.63°C.

Los requerimientos energéticos de los equipos como ventiladores (Tabla 18), bombas (Tabla 19), colector y enfriador (Tabla 20) se muestran a continuación.

Tabla 18. Resultados de la simulación para los ventiladores.

	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
Propiedades	Ventilador 1					
THp, W	32.3306	27.2818	26.8302	26.7427	27.3667	27.2384
\dot{W}_{neta} , W	39.4275	33.2705	32.7198	32.613	33.374	33.2175
	Ventilador 2					
THp, W	48.4283	40.2315	61.5617	65.8202	51.0934	28.8787
\dot{W}_{neta} , W	59.0589	49.0628	75.0752	80.2685	62.309	35.2179

El incremento de presión en los ventiladores es de 0.035psi y las eficiencias para ambos ventiladores son de 82% para todas las ciudades. A excepción de Medellín, las potencias del ventilador 1 se mantienen en un rango similar de 32.6-33.4 W, mientras que Medellín alcanza el valor máximo de potencia de 39.43 W para el ventilador 1 y de 59.06 W para el ventilador 2.

Tabla 19. Resultados de la simulación para las bombas.

	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
Propiedades	Bomba 1					
THp, W	8.3281	7.7030	8.6358	9.8802	8.3807	6.9496
\dot{W}_{neta} , W	11.1041	10.2707	11.5144	13.1736	11.1743	9.2661
	Bomba 2					
THp, W	41.8685	38.7495	43.4352	49.7374	42.1579	34.9680
\dot{W}_{neta} , W	55.8247	51.6660	57.9136	66.3165	56.2105	46.6240

El incremento de presión en la bomba 1 es de 1psi mientras que para la bomba 2 es de 5psi y las eficiencias para las dos bombas son de 75% para todas las ciudades. A excepción de San Andrés, las potencias de la bomba 1 se mantienen en un rango similar entre 10-13 W, mientras que en Cartagena se alcanza el valor máximo de potencia de 13.17 W para la bomba 1 y 66.32 W para la bomba 2. La bomba 2 se requiera mayor potencia debido que la caída de presión en el enfriador es más grande que el en colector.

La potencia eléctrica neta total requerida es la suma de las potencias individuales de cada bomba y ventilador. La Tabla 20 muestra dichos resultados,

Tabla 20. Consumo eléctrico neto por el sistema de aire acondicionado.

Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
\dot{W}_{total} , W	165.42	144.27	177.22	192.37	163.07	124.33
\dot{W}_{total} , kW	0.1654	0.1443	0.1772	0.1924	0.1631	0.1243

La ciudad que mayor consumo eléctrico requiere es Cartagena con 0.1924kW mientras el de menor es San Andrés con un consumo total de 0.1243kW.

La Tabla 21 muestra los resultados de las cargas térmicas de calentamiento y enfriamiento del colector y enfriador, respectivamente.

Tabla 21. Requerimientos energéticos para el colector y el enfriador.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$\dot{Q}_{colector}, kW$	95.2966	94.1578	105.0835	127.6445	102.5544	86.5041
$\dot{Q}_{enfriador}, kW$	92.9919	91.8864	101.6819	124.1707	99.7512	84.7776

Tanto para el colector como el enfriador el calor requerido para calentar y enfriar es similar entre sí. Cartagena tiene mayor requerimiento debido a que es la ciudad más caliente.

Según los resultados de la simulación, la Tabla 22 muestra los datos de acondicionamiento alcanzados en el sistema planteado para cada una de las ciudades.

Tabla 22. Datos de acondicionamiento del sistema.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$T_{acond}, ^\circ C$	23.37	23.47	23.47	23.47	23.47	23.48
$HR_{acond}, \%$	54.3	55	55	54.9	54.9	55.1

Se puede apreciar en la Tabla 22 que la temperatura de acondicionamiento está por encima de lo esperado, caso contrario ocurre con la humedad relativa de acondicionamiento donde se alcanzan resultados menores a los esperados, pero, aun así, siguen siendo valores que se encuentran dentro de la zona de confort. Las temperaturas de acondicionamiento para todas las ciudades, excepto Medellín, están cerca de 23.47°C y la humedad relativa del 55%.

8.3 Condiciones de diseño

A partir de los resultados de la simulación se presentan las condiciones de diseño para cada uno de los equipos del proceso (absorbedor, desorbedor, bombas, ventiladores, colector y enfriador) en cada ciudad.

En el caso del absorbedor las dimensiones del empaque son iguales para todas las ciudades, siendo el empaque elegido Anillo Pall de plástico de la marca Raschig con diámetro de empaque (D_p) de 1in, un factor de empaque (F_p) de 171 m^{-1} , con un área específica de empaque (a) de 2.2 cm^2/cm^3 y fracción porosa de 0.91.

Tabla 23. Condiciones de diseño para el absorbedor.

Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$T_{diseño}, ^\circ C$	60.0751	61.0328	62.6303	64.6317	62.0342	59.8283
$P_{diseño}, psi$	23.5518	25.8699	26.0994	26.1043	25.8279	26.1043

Dado que las características del empaque del absorbedor para cada una de las ciudades son las mismas, el diámetro de diseño es de 0.45m y el HETP (0.4572m) multiplicado por el número de etapas que, para este caso son 2 etapas, nos indica que la altura de empaque requerida es de 0.91m y como medida de seguridad la altura de diseño se fija en 1 m. Como es de esperar, las condiciones de diseño más altas corresponden a la ciudad con la mayor temperatura ambiental y mayor presión de operación, en este caso siendo Cartagena con 64.6°C y 24.1 psi.

En el caso de desorbedor el empaque elegido es el mismo que en el absorbedor y las dimensiones del empaque son iguales para todas las ciudades. El diámetro de empaque (D_p) es de $1^{3/8}$ in, tiene un factor de empaque (F_p) de $140 m^{-1}$, con un área específica de empaque (a) de $1.6 cm^2/cm^3$ y una fracción porosa de 0.93.

Tabla 24. Condiciones de diseño para el desorbedor.

Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$T_{op}, ^\circ C$	79.4078	81.2978	81.1678	82.8978	81.3278	81.8221
$P_{diseño}, psi$	23.5518	25.8699	23.0994	26.1043	25.8279	26.1043

Al igual que el absorbedor, las características del empaque del desorbedor son las mismas para todas las ciudades, dónde el diámetro de diseño es de 0.45m y la altura de diseño es de 1.3m. Se espera que las condiciones de diseño más bajas correspondan a la ciudad con la menor temperatura ambiental y presión de operación, en este caso es Medellín con 79.4°C y 23.5 psi.

Tabla 25. Condiciones de diseño para las bombas y ventiladores.

Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
Bomba 1						
Pot _{diseño} , W	15	15	15	15	15	10
Cabeza, m	0.6415	0.6417	0.6418	0.6403	0.6418	0.6418
Bomba 2						
Pot _{diseño} , W	60	55	60	70	60	50
Cabeza, m	3.2316	3.2346	3.2342	3.2368	3.2345	3.2356
Ventilador 1						
Pot _{diseño} , W	40	35	35	35	35	35
Ventilador 2						
Pot _{diseño} , W	60	50	65	85	65	40

De acuerdo con los resultados de la Tabla 25 la potencia de diseño de la bomba 1 es un valor estándar de $15W$ excepto para San Andrés el cual requiere una potencia de diseño menor de $10W$. Para el resto de los equipos de cambio de presión la variación en el valor de diseño es más notoria, en el caso de la bomba 2 la de mayor requerimiento es Cartagena con $70W$ y San Andrés la menor con $50W$. Para el ventilador 1 ocurre un fenómeno similar a la bomba 1, ya que para Medellín la potencia de diseño es de $40W$ y para el resto de las ciudades el requerimiento es menor siendo de $35W$. En el caso del ventilador 2 es recurrente que Cartagena sea la ciudad con mayor requerimiento de potencia con un valor de $85W$ y la ciudad de San Andrés la de menor con un valor de $40W$.

Tabla 26. Condiciones de diseño para el colector.

Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
\dot{Q} , W	95296.6	94157.8	105083.5	127644.5	102554.4	86504.1
I_T , W/m^2	683.3	697.1	682.0	896.0	558.6	728.8
A , m^2	185.9537	180.0943	205.4418	189.9472	244.79	158.26

Eligiendo la configuración más favorable para obtener la mayor eficiencia del colector, siendo de 75% basados en la Figura 24 para todas las ciudades dónde el colector es de placa plana, de doble vidrio antirreflector, con superficie de acero absorbente, con tubos de cobre y un cromado negro. Se puede notar en la Tabla 26 que las áreas del colector son considerablemente grandes para todas las ciudades, Inírida ocupa el área de colector más grande con $244.79 m^2$ y San Andrés la de menor con $158.26m^2$.

Tabla 27. Condiciones de diseño para el enfriador.

Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
T_1 , $^{\circ}F$	119.67	122.90	122.25	152.58	122.79	124.04
T_2 , $^{\circ}F$	71.60	71.60	71.60	71.60	71.60	71.60
t_1 , $^{\circ}F$	51.93	48.70	49.35	46.02	48.81	47.56
t_2 , $^{\circ}F$	90	90	90	90	90	90
$\dot{m}_{proceso}$, lb/h	13980.6	12926.9	14492.2	16580.9	14064.4	11661.99
$\dot{m}_{servicio}$, lb/h	8334.6	7590.3	8534.2	9630.1	8262.0	6814.3
\dot{Q} , BTU/h	317318.3	313546.0	346971.4	423710.5	340383.2	289288.5
A , m^2	3.0289	2.5743	2.9541	3.0926	2.8059	2.2800

Para un intercambiador de calor de tubos y coraza de configuración 2-4, usando como fluido de servicio agua de enfriamiento, es posible lograr áreas pequeñas de intercambio de calor para el

acondicionamiento del enfriador. En la ciudad de Inírida es posible conseguir el área más pequeña siendo de 2.28m^2 y en Cartagena un área máxima de 3.1m^2 .

8.4 Resultados del análisis de sensibilidad

8.4.1 Temperatura y humedad relativa

La Figura 43 muestra la humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura ambiente y la humedad relativa ambiente en la ciudad de Medellín.

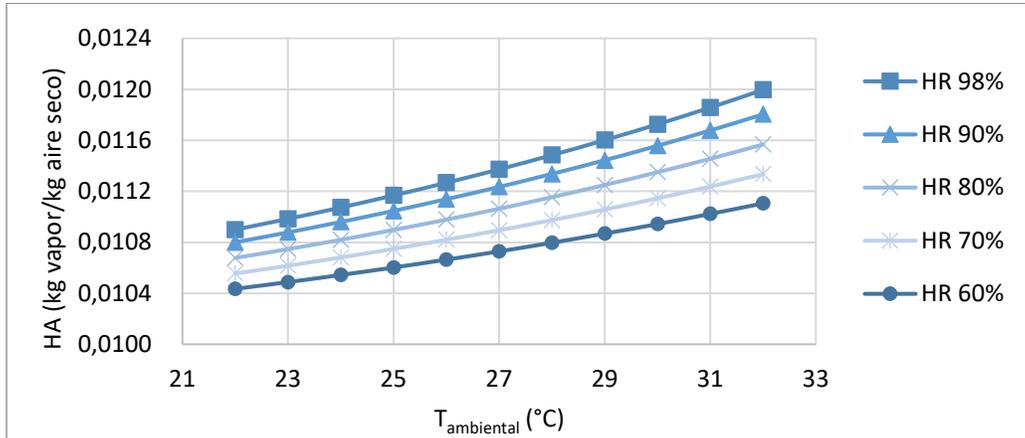


Figura 43. Temperatura vs humedad absoluta de acondicionamiento de la ciudad de Medellín.

Se puede notar de la Figura 43 que para lograr humedades absolutas de acondicionamiento más bajas se requieren temperaturas y humedades relativas ambientales menores, ya que la combinación de estas dos variables se traduce en menores contenidos de humedad en el ambiente. Valores entre el 30-70% de humedad relativa y temperaturas entre 20- 25°C se consideran dentro de la zona de confort.

La Figura 44 muestra la variación de la temperatura de acondicionamiento (T_{V1}) en función de la temperatura y la humedad relativa ambiental en la ciudad de Medellín.

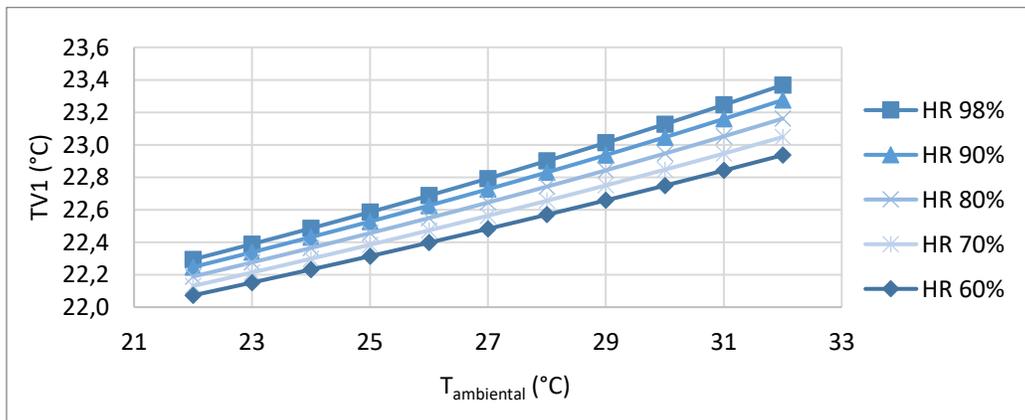


Figura 44. Temperatura del aire vs temperatura de acondicionamiento para la ciudad de Medellín.

El comportamiento de la temperatura de acondicionamiento en la Figura 44 es análogo a la humedad relativa de acondicionamiento, ya que se requieren bajas condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa para alcanzar la zona de confort e incluso lograr temperaturas menores a los 23°C, valor asignado para el caso base.

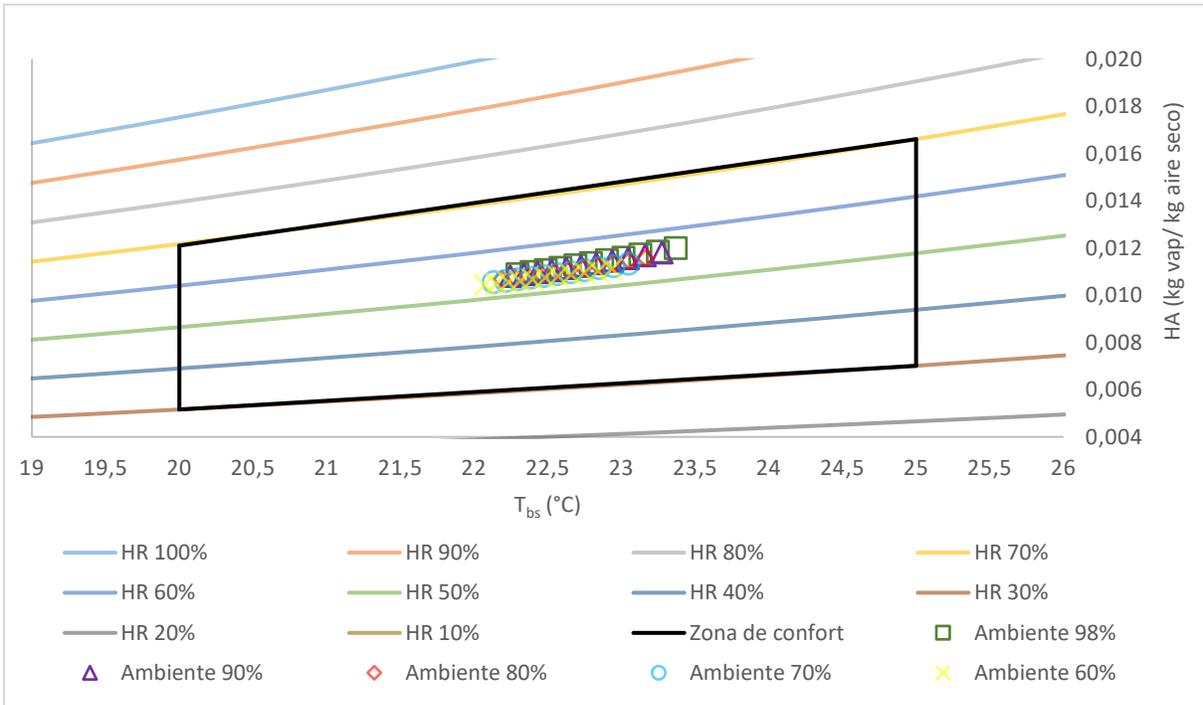


Figura 45. Condiciones de acondicionamiento en la zona de confort para ciudad de Medellín.

Los resultados en conjunto de temperatura y humedad absoluta de acondicionamiento en la ciudad de Medellín se muestran en la carta psicrométrica y la zona de confort de la Figura 45.

En la Figura 46 se muestra el resultado de la potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental en la ciudad de Medellín.

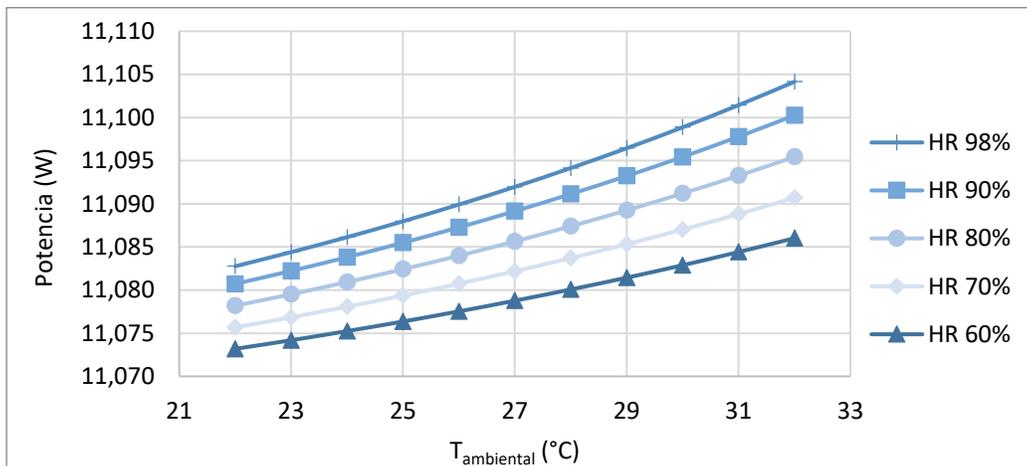


Figura 46. Potencia neta requerida para la bomba 1, ciudad de Medellín.

Las potencias de las bombas y ventiladores aumentan directamente con la temperatura y humedad relativa ambiental. En la Figura 46 puede observarse que el requerimiento de la potencia de la bomba 1 para la ciudad de Medellín no varía de manera considerable manteniéndose casi en un valor de 11W. Esto ocurre de manera análoga para la bomba 2 cuyo requerimiento energético es alrededor de 55.5W a 55.8W. La potencia requerida por los ventiladores tiene un comportamiento similar variando ligeramente un poco más que las bombas, siendo para el ventilador 1 entre 36.5W y 39.5W y en el ventilador 2 entre 55W y 59W. Todos los resultados se pueden observar en el Anexo F de manera más amplia para cada una de las ciudades.

En la Figura 47 y Figura 48 se muestra, respectivamente, los resultados de las cargas térmicas para el colector y el enfriador en función de la temperatura ambiental en la ciudad de Medellín.

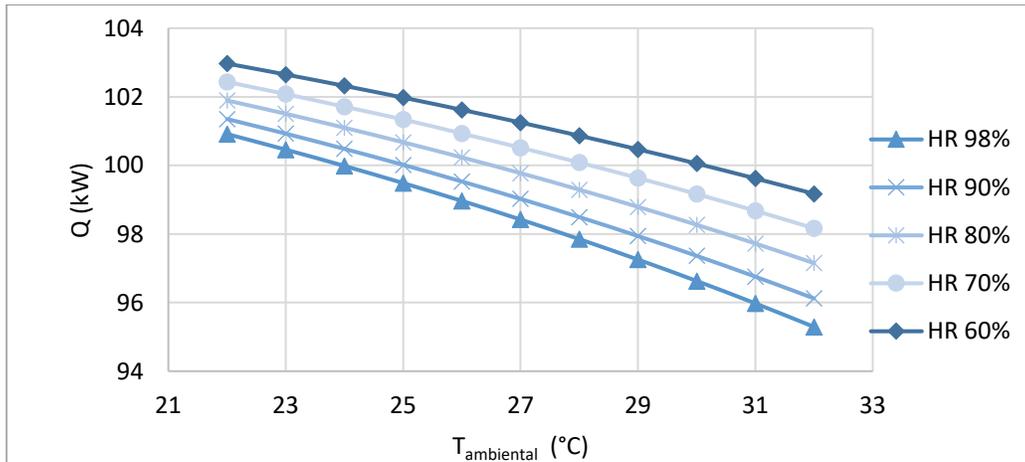


Figura 47. Carga térmica requerida en el colector, ciudad de Medellín.

El calor neto requerido por el colector en la Figura 47 es inverso a la temperatura y humedad relativa ambiental. Para la humedad máxima de 98% es posible alcanzar la menor carga térmica de calentamiento (95kW) cuando se tiene la mayor temperatura ambiental de 32°C. Por el contrario, para una humedad relativa de 60% y la temperatura más baja de 22°C la carga térmica de calentamiento alcanza su punto máximo siendo de aproximadamente 103kW.

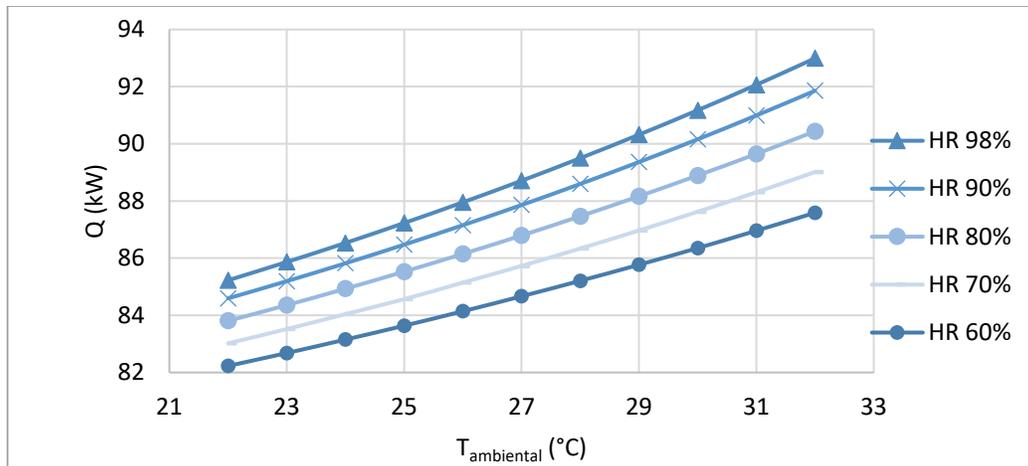


Figura 48. Carga térmica requerida en el enfriador, ciudad de Medellín.

En el caso de la carga térmica para el enfriador en la Figura 48 ocurre el fenómeno contrario al colector. Para una humedad relativa ambiental del 60% se alcanza el punto mínimo de carga de enfriamiento (82.1kW) con una temperatura de 22°C, mientras que para la humedad relativa ambiental de 98% se tiene el punto máximo de carga de enfriamiento posible (93kW) a una temperatura máxima de 32°C.

8.4.2 Temperatura, flujo y fracción másica de solvente.

La Figura 49 muestra la variación de la humedad absoluta respecto a la temperatura y flujo del solvente y la línea de humedad absoluta máxima en la zona de confort en la ciudad de Medellín.

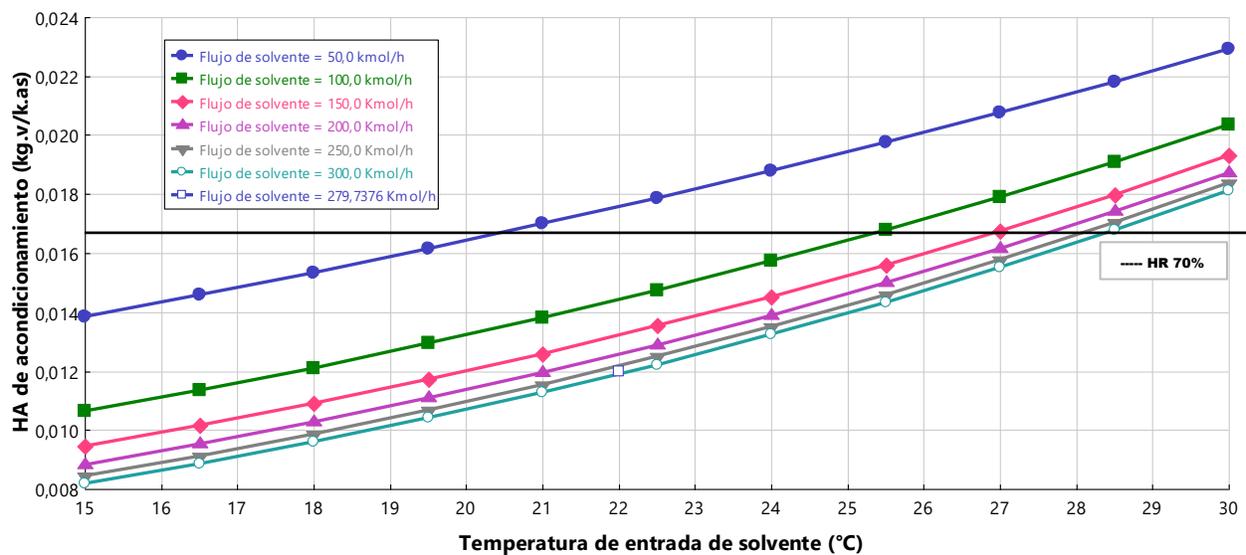


Figura 49. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo del solvente de Medellín.

En la Figura 49 la humedad relativa de acondicionamiento varía de manera directa con la temperatura de solvente, pero es inversa al flujo de solvente. Para el flujo mínimo de 50 kmol/h a una temperatura de 15°C, es posible alcanzar un contenido de humedad de 0.014 kg_v/kg_{as} mientras que a una temperatura de 30°C alcanzar un valor de 0.023 kg_v/kg_{as} y de manera análoga para cada uno de los flujos mostrados en la gráfica.

La Figura 50 muestra la variación de la temperatura de acondicionamiento con respecto a la temperatura y flujo del solvente y las líneas de temperatura máxima y mínima en la zona de confort en la ciudad de Medellín.

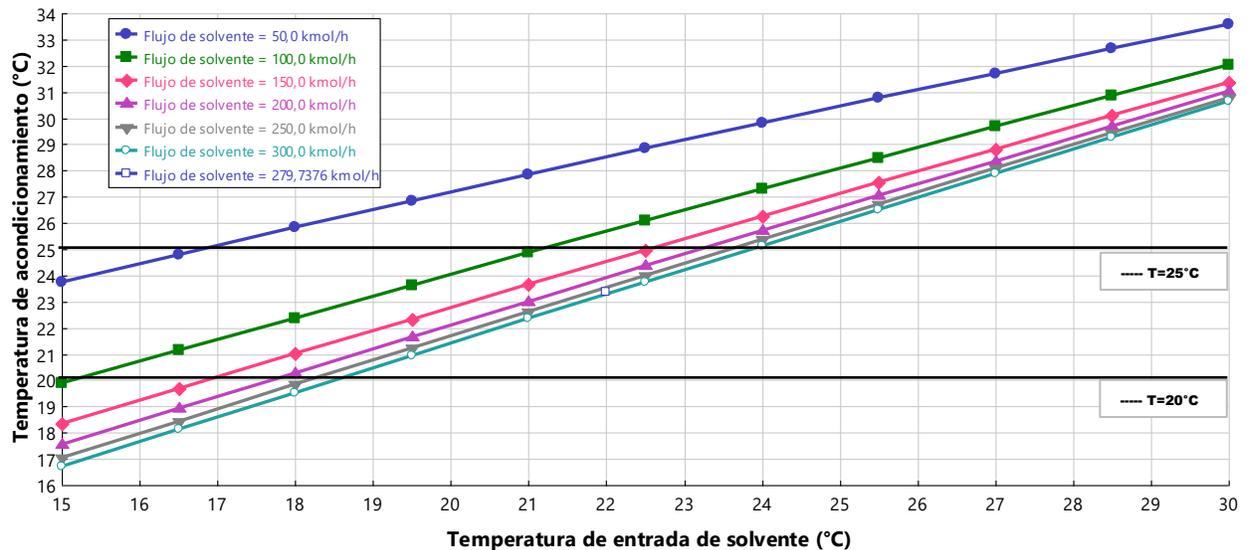


Figura 50. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura del solvente y flujo del solvente.

En la Figura 50 para la temperatura de acondicionamiento respecto al flujo y la temperatura del solvente tiene un comportamiento análogo a la Figura 49 en donde a mayor flujo de solvente menor temperatura de acondicionamiento mientras que a mayor temperatura de solvente, mayor es la temperatura de acondicionamiento.

La Figura 51 muestra la variación de la potencia neta requerida de la bomba 1 con respecto a la temperatura y flujo del solvente en la ciudad de Medellín.

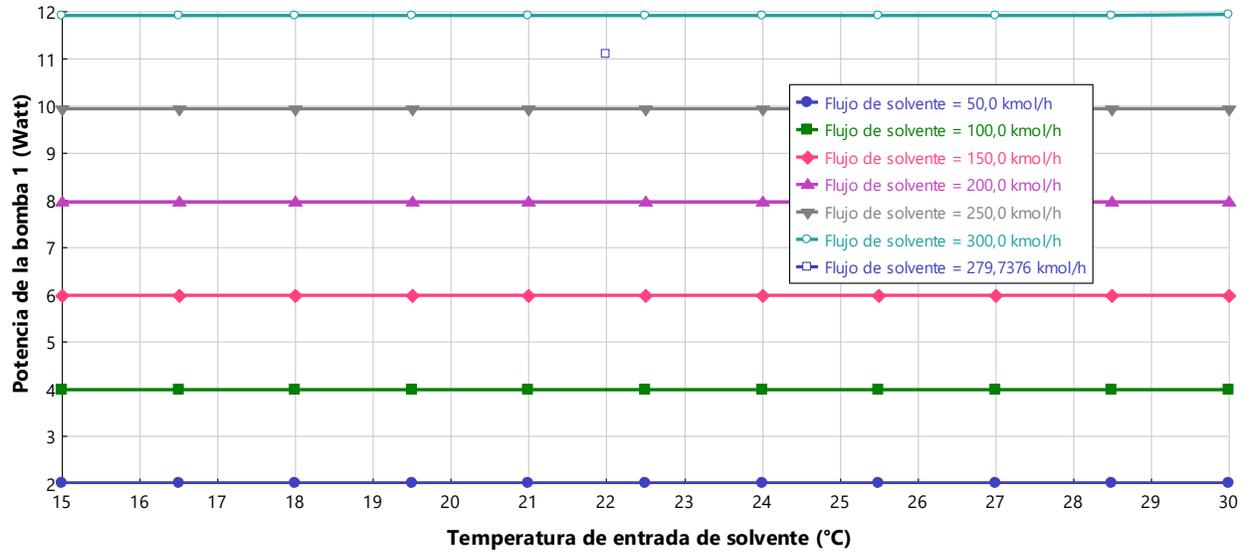


Figura 51. Potencia neta requerida de la bomba 1, ciudad de Medellín.

En la Figura 51 para un flujo de solvente constante, se observa que la potencia requerida por la bomba 1 no depende de la temperatura del solvente. A mayor cantidad de flujo mayor será la potencia neta requerida siendo el máximo alcanzado (11.9W) con 300 kmol/h. La bomba 2 presenta un comportamiento igual, pero para un flujo de 50kmol/h la potencia neta requerida es mínima (10W) y para 300kmol/h será máxima (60W).

La Figura 52 muestra la variación de la carga térmica del colector con respecto a la temperatura y flujo del solvente en la ciudad de Medellín.

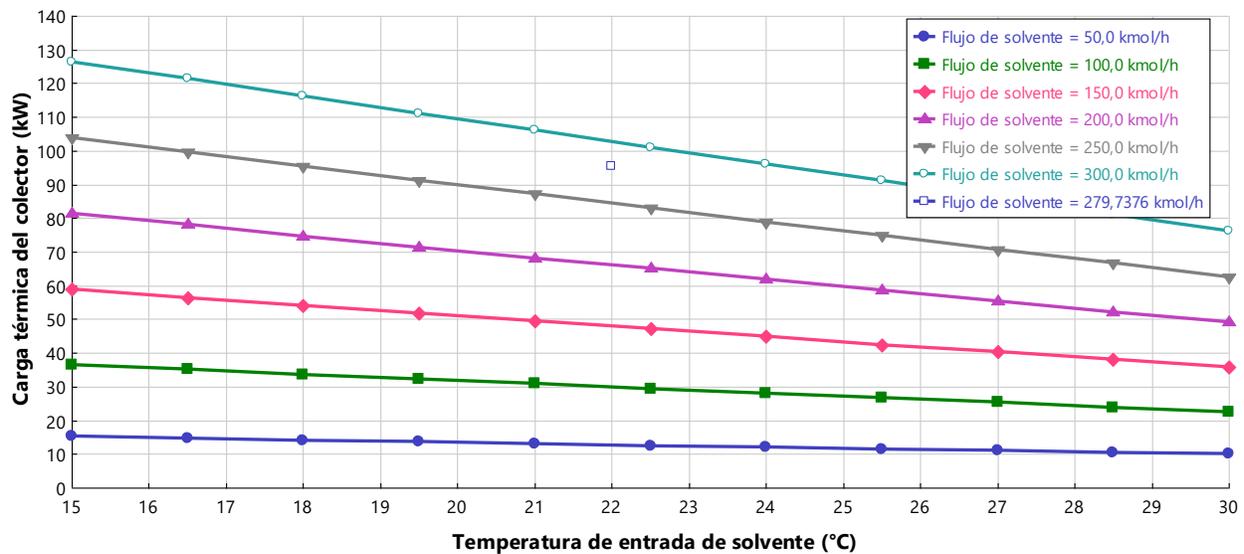


Figura 52. Carga térmica del colector, ciudad de Medellín

En la Figura 52 la carga térmica del colector aumenta con el incremento del flujo del solvente, pero disminuye con el aumento de temperatura. En el enfriador ocurre un fenómeno similar para la carga térmica de enfriamiento respecto a la temperatura y flujo de solvente. En ambos casos, para un flujo de 50 kmol/h y una temperatura de 30°C se alcanza un valor mínimo de 10kW y para un flujo de 300kmol/h y 15°C se alcanza un valor máximo de 125kW.

La Figura 53 muestra la variación de la humedad absoluta de acondicionamiento con respecto a la fracción másica de CaCl_2 para todas las ciudades analizadas.

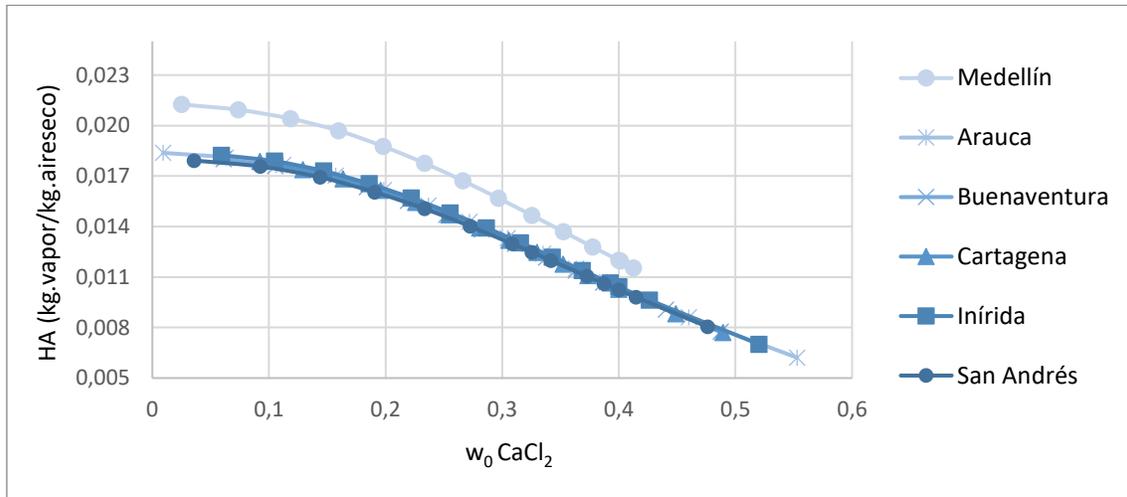


Figura 53. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la fracción másica de CaCl_2 .

La Figura 53 muestra que todas las ciudades excepto Medellín tienen un valor igual de humedad absoluta de acondicionamiento la cual disminuye con el aumento de la fracción másica de CaCl_2 . Para Medellín una fracción de 0,4 equivale a una humedad de $0,012 \text{ kg}_v/\text{kg}_{as}$ y para el resto de las ciudades la misma fracción equivale a una humedad de $0,010 \text{ kg}_v/\text{kg}_{as}$.

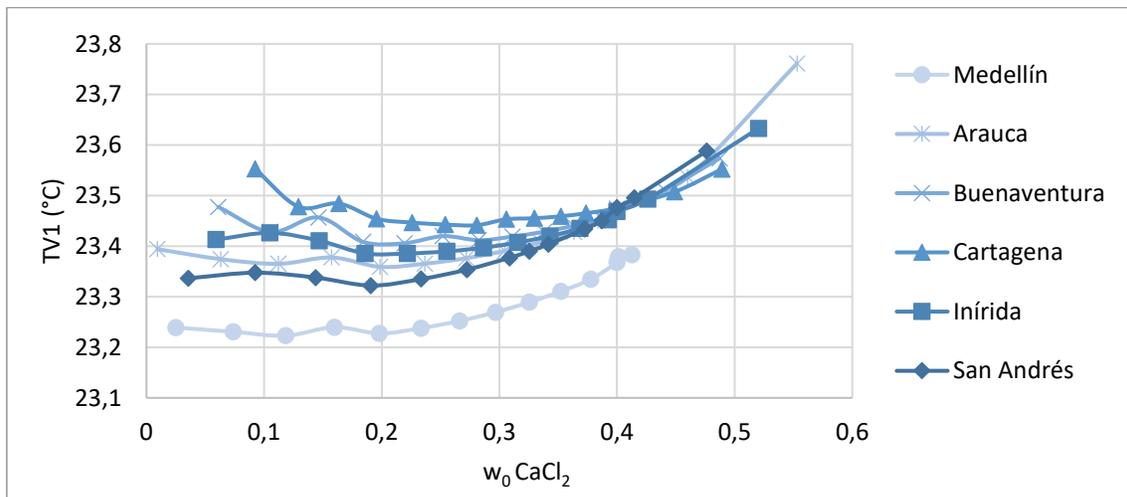


Figura 54. Temperatura de acondicionamiento en función de la fracción másica de CaCl_2 .

La Figura 54 muestra que la temperatura de acondicionamiento no varía de manera considerable con la fracción másica del CaCl_2 , encontrándose este valor entre 23.2°C y 23.8°C . La temperatura de acondicionamiento alcanza un valor mayor en la ciudad de Arauca mientras que Medellín alcanza valores más bajos que cualquier otra ciudad.

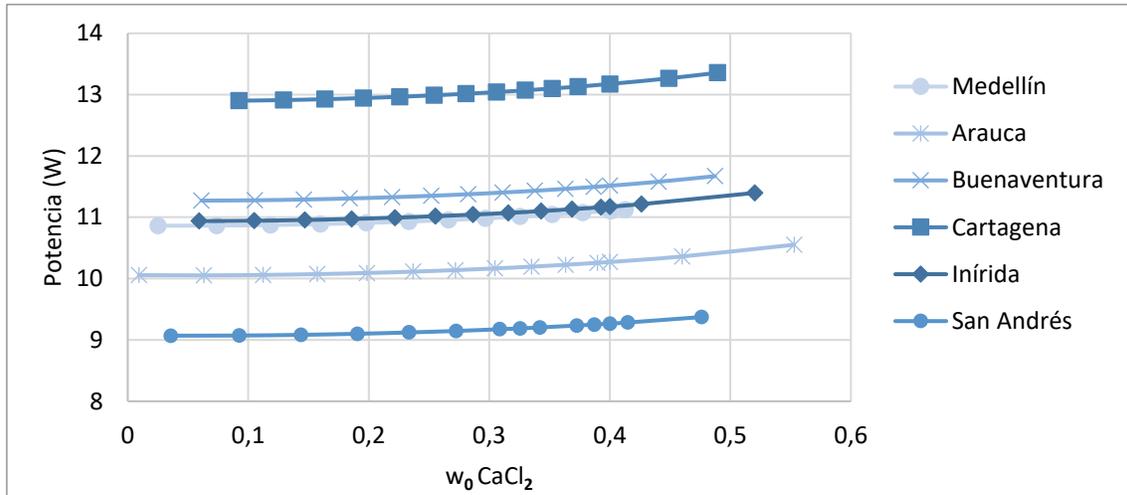


Figura 55. Potencia neta requerida por la bomba 1 en función de la fracción másica de CaCl_2 .

Para cada ciudad en la Figura 55 la potencia no representa un cambio significativo debido a la variación en la fracción másica y solo se nota un cambio a partir de fracciones mayores a 0,4. San Andrés posee los valores menores de potencia alcanzando un mínimo de 9W y Cartagena el de mayor potencia neta requerida siendo de 13,2W aproximadamente. Para la bomba 2 sucede de manera similar, pero con requerimientos mayores entre 45W hasta los 65,5W.

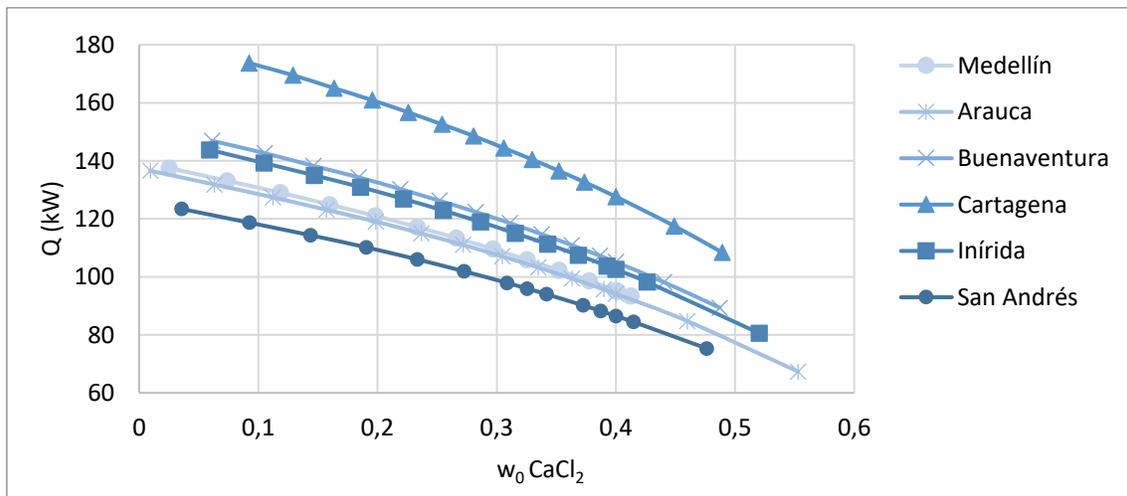


Figura 56. Carga térmica requerida por el colector en función de la fracción másica de CaCl_2 .

La carga térmica en el colector para todas las ciudades disminuye con respecto al aumento de la fracción másica de CaCl_2 como se aprecia en la Figura 56. Buenaventura requiere menor

carga térmica a una fracción de 0.56 y Cartagena la mayor a una fracción de 0.09. Para el enfriador la carga térmica tiene un comportamiento similar en cada una de las ciudades, para Buenaventura en la fracción de 0.56 requiere una carga de enfriamiento de 75kW mientras que para Cartagena a 0.09 requiere 140kW.

8.4.3. Diámetro y altura del absorbedor y desorbedor

La Figura 57 muestra la variación de la humedad absoluta de acondicionamiento con respecto al cambio del diámetro y la altura del empaque en el absorbedor en ciudad de Medellín. Para el desorbedor no hay cambio en esta variable con respecto a estos dos parámetros.

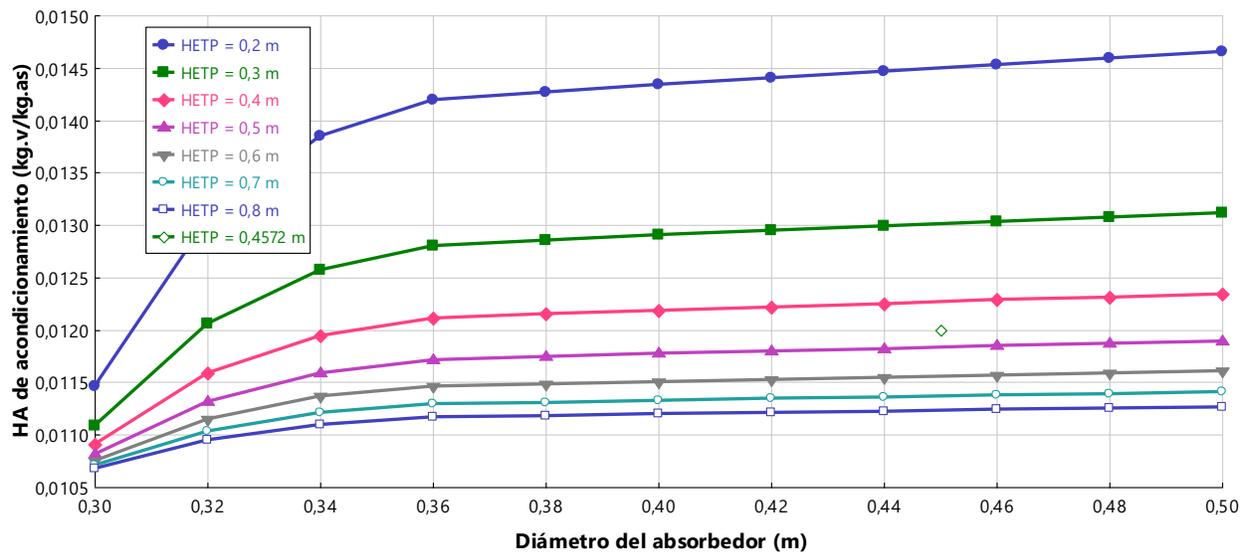


Figura 57. Humedad absoluta de acondicionamiento en función del diámetro y HETP del absorbedor, en Medellín.

La Figura 57 muestra que a medida que aumenta el diámetro aumenta la humedad absoluta de acondicionamiento y, después de aproximadamente 0.36m de diámetro, la humedad se mantiene relativamente constante. También se aprecia que al aumentar el HETP disminuye la humedad absoluta de acondicionamiento. El análisis anterior para la temperatura de acondicionamiento es análogo respecto al diámetro y HETP y el rango de variación esta entre 22.4°C y 24.6°C. Para el desorbedor no se presentan cambios en la humedad relativa y temperatura de acondicionamiento debido al diámetro y HETP.

La Figura 58 muestra la potencia neta requerida por la bomba 1 con respecto al cambio del diámetro y la altura del empaque del absorbedor en la ciudad de Medellín. Para las variables en el desorbedor no hay cambio en la bomba 1.

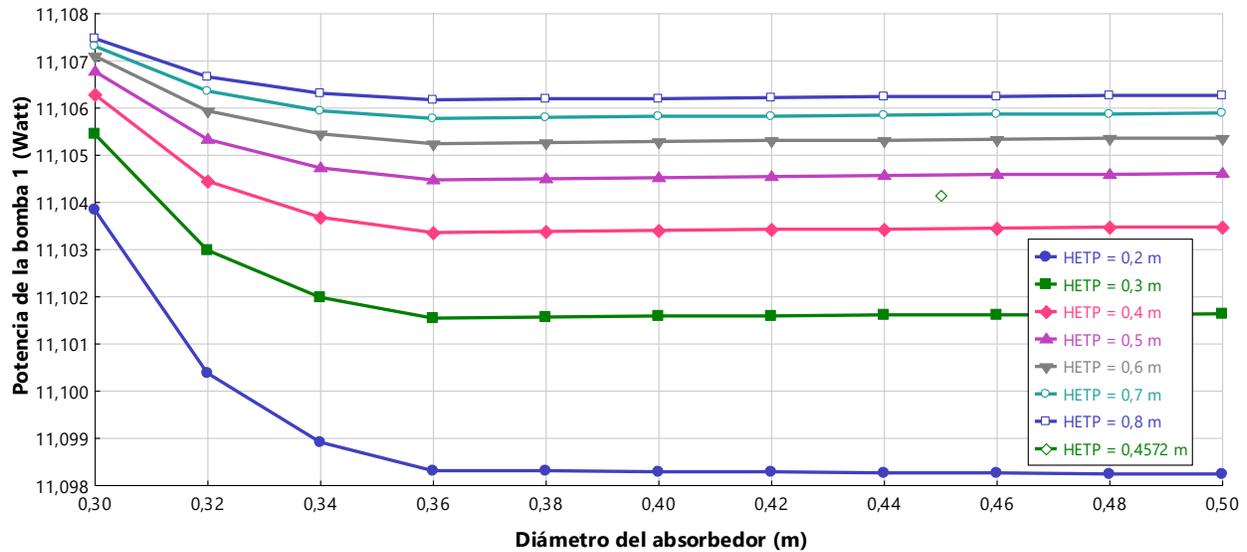


Figura 58. Potencia neta requerida en la bomba 1 en función del diámetro y HETP del absorbedor, en Medellín.

La variación de las potencias requeridas en las bombas disminuye con el aumento del diámetro hasta 0,36m y luego se mantiene constante, pero aumenta con el incremento del HETP del absorbedor. Aunque dicha variación es casi nula, como se aprecia en la Figura 58, donde la bomba 1 se mantiene en un valor de 11,1W. Para la bomba 2 el comportamiento de la gráfica es homólogo al de la bomba 1 y la potencia requerida es 55,8W para la ciudad de Medellín.

La Figura 59 muestra el cambio de la potencia requerida de la bomba 2 en función de las variables en el desorbedor.

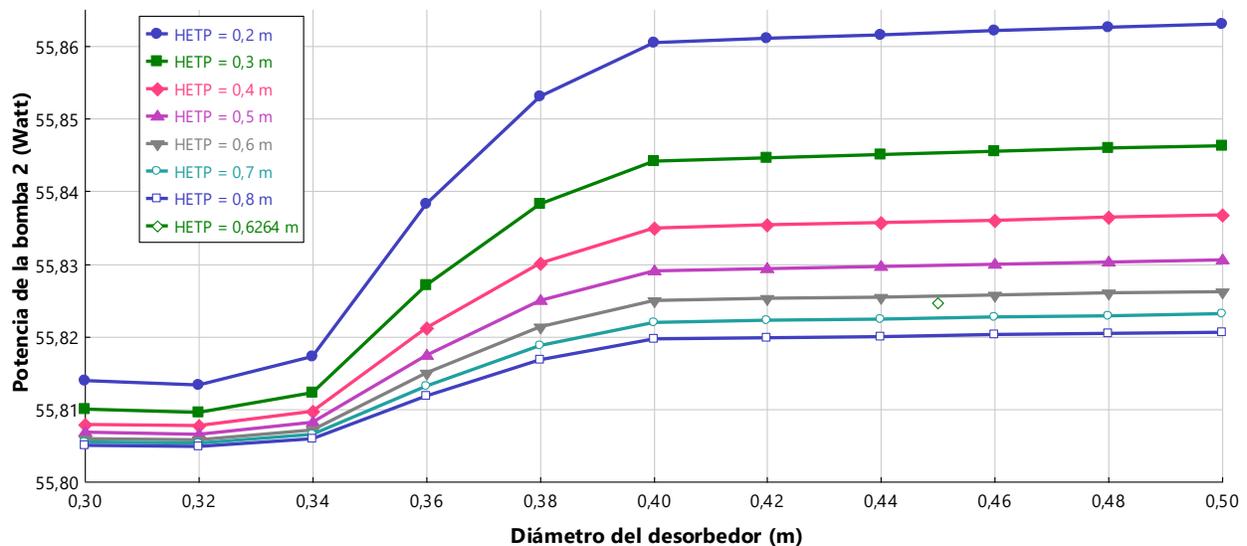


Figura 59. Potencia neta requerida en la bomba 2 en función del diámetro y HETP del desorbedor, en Medellín.

Respecto al diámetro entre 0.32-0.4m la potencia requerida aumenta, para los demás valores de diámetros se mantiene constante. Respecto al aumento de HETP la potencia disminuye. Las variaciones no son muy significativas y la potencia se mantienen en 55.8W para Medellín.

La Figura 60 y Figura 61 muestran, respectivamente, la carga térmica requerida por el colector y el enfriador con respecto al cambio del diámetro y la altura del empaque del absorbedor en la ciudad de Medellín. Para el colector no hay cambio en la carga térmica con respecto a estos dos parámetros en el desorbedor, mientras que la Figura 62 muestra la carga térmica requerida por el enfriador, en la ciudad de Medellín.

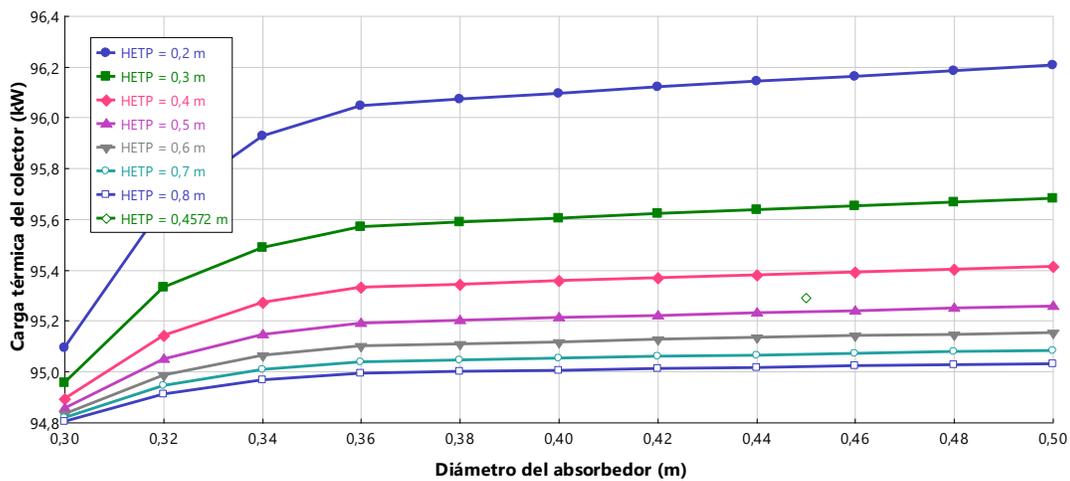


Figura 60. Carga térmica del colector en función del diámetro y HETP del absorbedor, ciudad de Medellín.

La carga térmica del colector disminuye con el aumento del HETP y aumenta con el diámetro del absorbedor como se observa en la Figura 60. Para un HETP de 0.2m y un diámetro de 0.5m, la carga térmica es máxima con 96.2kW.

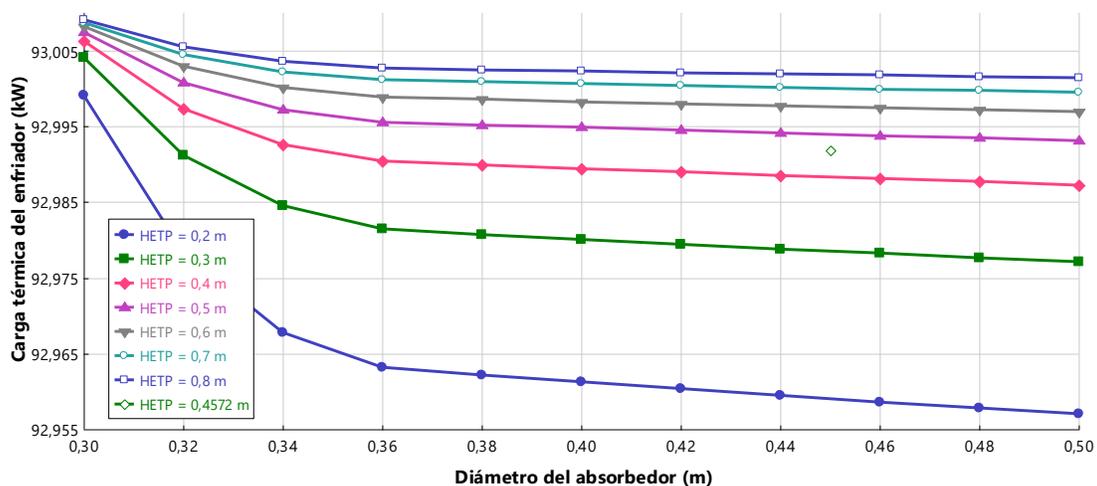


Figura 61. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y HETP del absorbedor, ciudad de Medellín.

La carga térmica del enfriador es menor con la disminución HETP y con el incremento del diámetro del absorbedor como muestra la Figura 61. Para un HETP de 0.2m y un diámetro del absorbedor de 0.5m, la carga térmica mínima es de 92.9kW.

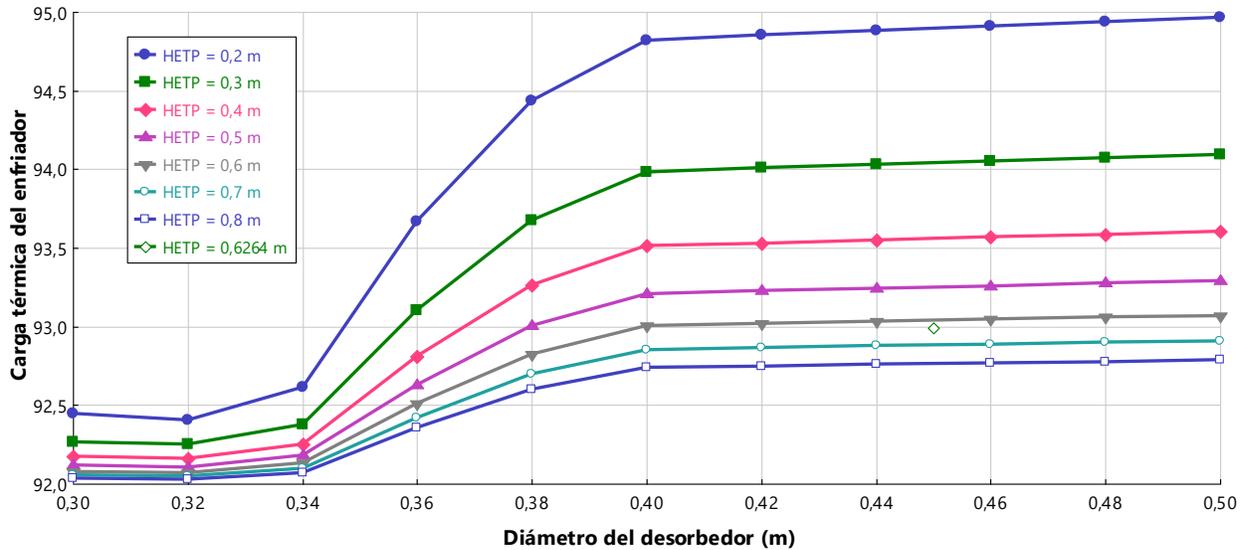


Figura 62. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y HETP del desorbedor, ciudad de Medellín.

La carga térmica del enfriador disminuye con el aumento del HETP y aumenta con el incremento del diámetro del desorbedor como se observa en la Figura 62. Respecto al diámetro entre 0.32-0.4m la carga térmica aumenta considerablemente mientras que para los otros diámetros se comporta de manera constante. Para un HETP de 0.2m y un diámetro de 0.5m, la carga térmica es máximo con 95kW.

En esta sección se presentaron los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo.

9. DISCUSIÓN

A continuación, se discutirán los principales resultados presentados en el trabajo de acuerdo con lo obtenido en la sección 8. En este apartado, se analiza el acondicionamiento del espacio y las condiciones logradas en este, se discute si el desorbedor cumple o no con los requisitos para la recuperación del solvente en el ciclo, se habla sobre las potencias netas requeridas por los equipos, las cargas terminas, las diferencias y ventajas del sistema de aire acondicionado por absorción frente al sistema tradicional, se discuten las condiciones de diseño alcanzadas por los distintos equipos y cómo se comportan los análisis de sensibilidad frente a las variables más importantes.

9.1 Acondicionamiento del aire y recuperación de solvente basado en la simulación

En primer lugar, se analiza si fue posible alcanzar la temperatura y el flujo de agua en la corriente de aire requeridos para el acondicionamiento del espacio en el absorbedor. Según la Tabla 11 por la psicometría de Medellín para obtener una temperatura de 23°C con un 60% de humedad relativa el flujo de agua en la corriente de aire requerido es de 0.3096 kmol/h. Según los resultados del método short-cut presentados en el Anexo C, para Medellín, se alcanza una temperatura menor a la requerida siendo esta de 22.66°C, pero no se alcanza la separación deseada obteniendo simplemente un flujo de agua de 0.4533 kmol/h que corresponde a una humedad relativa de acondicionamiento de 88%. Dado que en el short cut no se tienen en cuenta parámetros como diámetro, altura y características de empaque, no es posible llegar a la separación deseada con los datos inicialmente planteados. Introduciendo estas características a la simulación, las cuales están descritas en la sección 8.3, se logra llegar a un estado aceptable de acondicionamiento obteniendo una temperatura de 23.37°C que es un poco mayor a lo requerido con un flujo de 0.2962 kmol/h, siendo menor a lo esperado según la psicometría. Lo anterior es positivo ya que al ubicar estos resultados en la zona de confort se obtiene una humedad relativa de acondicionamiento de 54.3% lo que nos indica que con las condiciones iniciales de entrada es posible adecuar el espacio de manera satisfactoria. Estos resultados son similares para las demás ciudades, alcanzando una temperatura y humedad relativa de acondicionamiento de 23.47°C y 55% como se observa en la Tabla 22.

En segundo lugar, se analiza si el desorbedor cumple con los requisitos de flujo de líquido a la salida (L_N) el cual es fundamental a la hora de determinar si se logra recuperar el solvente. Se tiene en cuenta que el CaCl_2 es un compuesto que siempre estará en la corriente líquida ya que no

se absorbe ni se desorbe durante el proceso, por lo cual el flujo de H_2O en la corriente L_N del desorbedor debe ser el mismo que el que ingrese a la corriente L_0 del absorbedor. De acuerdo con los resultados de la simulación del desorbedor en la Tabla 17 se tiene un flujo total de líquido de 279.7374 kmol/h y un flujo de H_2O de 211.1146 kmol/h para la ciudad de Medellín que, comparado con los resultados de la Tabla 16 correspondiente al absorbedor, no presentan diferencia, es decir, se tiene que el flujo de solvente a la entrada del absorbedor (L_0) es 279.7375 kmol/h y el flujo de H_2O es 211.1148 kmol/h, esto es de esperar ya que para poder simular el sistema cerrado se sigue el proceso iterativo donde se determina el flujo fresco alimentado al proceso y además se deben tener en cuenta algunas pequeñas trazas de aire que son desorbidos. Por otro lado, cuando se analiza energética y másicamente dichas corrientes, estas son iguales entre sí cumpliéndose el balance de masa, donde la fracción másica del H_2O es 0.6, la del $CaCl_2$ es 0.4 y las trazas de las impurezas desorbidas el aire (N_2, O_2, CO_2, Ar) no afectan la separación. Estos resultados se pueden observar con mayor detalle en el Anexo E y dicho análisis aplica de manera análoga para las demás ciudades.

Puesto que la condición de entrada del solvente líquido al absorbedor tiene una temperatura fija de $22^\circ C$, la condición de temperatura de operación en el absorbedor va a estar únicamente dada por la temperatura de entrada de aire al equipo (T_{N+1}). Aunque las condiciones de temperatura en las ciudades son distintas, se puede determinar un rango de operación de este equipo el cual puede ser estandarizado entre $32-37^\circ C$ como temperatura y presiones entre 0.8-1.03atm de operación máximas, con el fin de implementar este equipo no solo con las condiciones de las ciudades seleccionadas sino para cualquier otra zona climática del territorio colombiano. Lo anterior se puede realizar de manera similar para el desorbedor, donde las condiciones máximas de operación son $51-56^\circ C$ y 0.8-1.03atm.

9.2 Requerimientos energéticos basados en la simulación

Las potencias netas requeridas por las bombas y los ventiladores representan el gasto eléctrico del sistema de aire acondicionado por absorción, las cuales son fundamentales ya que el objetivo del trabajo es disminuir el requerimiento energético que necesitan los sistemas de aire acondicionado tradicionales. El ventilador 1 tiene la función de mover el flujo de aire a tratar en el proceso de acondicionamiento mientras que el ventilador 2 es el encargado de suministrar el flujo de aire requerido para la recuperación del solvente en el desorbedor, en el caso de la ciudad de Medellín, los flujos molares son 16.2425kmol/h y 24.3298kmol/h, respectivamente. Tanto el absorbedor como el desorbedor operan a la misma presión por lo cual ambos ventiladores poseen

el mismo incremento de presión (0.035psi) en las corrientes, por ende, la diferencia en la potencia radica principalmente en la cantidad de flujo que mueven estos equipos y es de esperar que para el ventilador 2 demande mayor potencia ya que el flujo de aire requerido es mayor en el desorbedor (24.3298kmol/h). Las interacciones energéticas de la oficina mostradas en la Tabla 12, indican que Medellín es la ciudad con mayor flujo de aire requerido a tratar por lo tanto la potencia neta del ventilador 1 será mayor (39.43W) que en el resto de las ciudades. Por el contrario, en el ventilador 2 la carga de Cartagena es la mayor (80.87W) debido a que el flujo ya no depende de las interacciones energéticas sino del flujo requerido para la separación del solvente que a su vez depende de la temperatura de operación del equipo que, para Cartagena es de 55.12°C con un flujo aire de operación de 38.6797kmol/h.

La bomba 1 se encarga de mover el líquido de la salida del absorbedor pasando por el colector y desembocando en el tope del desorbedor la cual debe suplir una caída de presión de 1 psi en el colector; la bomba 2 se encarga de llevar el líquido a la salida del desorbedor pasando por el enfriador y terminado en el tope de la torre de absorción supliendo la caída de presión de 5psi en el enfriador. Puesto que la caída de presión en el colector es menor que en el enfriador, la potencia neta requerida por la bomba 2 será mayor. En el caso de Medellín, el flujo de salida tanto del absorbedor como en el desorbedor no difiere mucho ya que la cantidad de agua que se absorbe y desorbe es mínima, el flujo de salida (L_N) del absorbedor tiene un valor de 280.3708kmol/h mientras que el valor del desorbedor es 279.7374kmol/h. La potencia neta requerida por la bomba 2 es aproximadamente 5 veces la de la bomba 1, para Medellín es de 55.82W y 11.10W respectivamente. Lo anterior nos confirma que la potencia de las bombas está condicionada a la caída de presión en el colector y el enfriador y no al flujo de trabajo.

La potencia neta requerida por el sistema de absorción debido a los ventiladores y bombas depende de la condición de temperatura ambiental de cada ciudad porque a mayor temperatura, mayor es el gasto eléctrico requerido, tal como se observa en la Figura 46 para la bomba 1, y para los demás equipos en el Anexo F. La ciudad más calurosa es Cartagena con una temperatura de 36.6°C y el sistema necesita una potencia de 0.1924kW para operar mientras que en el caso de Medellín es de 0.1654kW al presentarse una temperatura de 32°C.

El sistema de aire acondicionado tradicional, dependiendo de la capacidad de enfriamiento que posea, puede tener un requerimiento eléctrico entre 1.24-3.6kW para sistemas que funcionan con una tensión de 220V y una frecuencia de 50Hz [14]. La mayor parte de consumo energético de

estos aires acondicionados es debido al sistema de compresión del refrigerante. Se puede notar, entre el sistema de acondicionamiento tradicional y el sistema por absorción del caso base, un ahorro energético considerable para este último sistema. Para una comparación más precisa de la potencia eléctrica se realiza un cálculo de los requerimientos energéticos del sistema de aire acondicionado tradicional en base a la carga de flujo de aire seco en cada una de las zonas climáticas y se determina la potencia requerida por el compresor para el refrigerante. Según los resultados del cálculo reportado en el Anexo C, la potencia requerida en el compresor del sistema de aire acondicionado tradicional utilizando refrigerante 134a se muestra en la Tabla 28 junto con el cálculo de la diferencia relativa de las potencias totales requeridas por el sistema de aire acondicionado por absorción indicadas en la Tabla 20.

Tabla 28. Potencia neta requerida por el compresor y diferencia con el sistema tradicional.

Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
\dot{W}_{comp}, kW	1.6088	1.5500	1.7341	1.9786	1.6841	1.4007
Diferencia, %	89.72	90.69	89.78	90.28	90.31	91.13

Como se observa en la Tabla 28 hay una diferencia sustancial entre la potencia en el compresor del sistema tradicional y la potencia total en el sistema de absorción alcanzándose un ahorro energético entre el 89-91% para todas las ciudades; es de resaltar que esto solo contempla el requerimiento en el compresor pero los sistemas de aire acondicionado tradicional poseen sistemas de ventilación que permiten el flujo de aire y estos también representan un gasto eléctrico que pueden elevar el consumo total de energía. La principal razón de este fenómeno es el cambio en el fluido de trabajo que, en el caso del sistema tradicional es un gas y para el de absorción es un líquido. Basados en la mecánica de fluidos y partiendo del balance de energía para un sistema en estado estacionario se cumple la siguiente igualdad [44].

$$W = H_1 - H_2 = \frac{P_1}{\rho_1} - \frac{P_2}{\rho_2} + g(z_1 - z_2) + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} \quad \text{Ecuación 56}$$

Suponiendo que el efecto en los cambios de energía cinética y potencial son despreciables en la Ecuación 56, el trabajo realizado por un equipo de cambio de presión está inversamente relacionado con la densidad del fluido y, debido a que los fluidos gaseosos poseen menor densidad que los líquidos, los trabajos de compresión son mayores en este caso. Además, en el proceso de compresión del sistema tradicional el gas se lleva a un estado de sobrecalentamiento, así el cambio de temperatura produce una disminución en la densidad del fluido, por lo cual una de las desventajas

del sistema tradicional es que la compresión genera un aumento de temperatura significativo lo que provoca la disminución en la densidad aumentando el trabajo de compresión. Lo anterior no ocurre cuando se trabaja con líquidos ya que por lo general en el bombeo de dicho fluido no hay cambios significativos de temperatura y por ende la densidad se puede considerar constante y además al ser mayor la densidad de un líquido que para un gas, el trabajo realizado por la bomba es mucho menor como se evidencia en los resultados de la Tabla 28.

Este ahorro energético se ve reflejado principalmente en los gastos monetarios eléctricos debido al uso del aire acondicionado. Para una oficina ubicada en la ciudad de Medellín, el costo de la tarifa de energía para el sector industrial y comercial es de 669.36COP/kWh [45] y, suponiendo que el horario laboral es de 8 horas diarias, el costo mensual en COP (pesos colombianos) para los distintos sistemas de aire acondicionado son:

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{tradicional}} &= 1.6088kW * \frac{8h}{\text{día}} * \frac{26\text{días}}{\text{mes}} * 669.36 \frac{\text{COP}}{\text{kWh}} = 223288.2 \frac{\text{COP}}{\text{mes}} \\ \text{Costo}_{\text{absorción}} &= 0.1654kW * \frac{8h}{\text{día}} * \frac{26\text{días}}{\text{mes}} * 669.36 \frac{\text{COP}}{\text{kWh}} = 23028.1 \frac{\text{COP}}{\text{mes}} \end{aligned}$$

De los cálculos anteriores el ahorro que se puede alcanzar utilizando el aire acondicionado por absorción es de 200260COP al mes, lo que significa un 89.7% de ahorro monetario debido al gasto eléctrico frente al sistema tradicional.

Las cargas térmicas requeridas por el colector y el enfriador dependen de las temperaturas de acondicionamiento de las ciudades, las cuales no varían significativamente entre ellas, además, la dependencia de la carga térmica de calentamiento o enfriamiento también está ligada a la carga de flujo con la que opere el equipo. En el caso de las temperaturas del líquido en el colector a la entrada y a la salida, en Medellín son 24.48°C y 51.63°C mientras que en Cartagena son 24.55°C y 55.12°C, respectivamente (Anexo C) y se puede notar que la diferencia entre las temperaturas mayores no supera los 4°C; por otro lado, las cargas de flujo de líquido para Medellín y Cartagena son de 1.76 y 2.1kg/h respectivamente, así es de esperar que Cartagena sea la ciudad con mayor requerimiento energético en el colector. Este mismo análisis aplica para el enfriador donde la diferencia principal radica en la temperatura de entrada a este equipo, siendo para Medellín de 48.7°C y Cartagena de 52°C, además la temperatura de salida del enfriador se fija en 22°C para todas las ciudades y, en cuanto al flujo es aproximadamente igual al trabajado en el colector. Por lo anterior, Cartagena es la ciudad con mayores requerimientos energéticos de calentamiento y enfriamiento como se observa en la Tabla 21.

Un símil entre el colector y enfriador del sistema por absorción frente al de acondicionamiento tradicional corresponde al evaporador y al condensador ya que dichos equipos acondicionan las corrientes del ciclo. Nuevamente para comparar estos valores con la misma carga de flujo de aire en cada ciudad se calculan los requerimientos energéticos del evaporador y condensador como se muestra en el Anexo C y se evalúa la diferencia relativa frente al colector y enfriador respectivamente.

Tabla 29. Cargas térmicas del sistema tradicional y diferencias respecto al de absorción.

Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$\dot{Q}_{\text{evaporador}}, kW$	8.1620	7.8640	8.7980	10.0385	8.5441	7.1064
Dif.colector, %	-91.43	-91.65	-91.63	-92.13	-91.67	-91.78
$\dot{Q}_{\text{condensador}}, kW$	9.3686	9.0265	10.0985	11.5224	9.8072	8.1569
Dif.enfriador, %	-89.92	-90.18	-90.07	-90.72	-90.17	-90.38

Una de las principales desventajas del sistema de aire acondicionado por absorción es que las cargas térmicas del colector y enfriador son mucho mayores que en el sistema tradicional como se muestra en la Tabla 29. Lo anterior ocurre debido a que el sistema tradicional trabaja con un refrigerante gaseoso que, para el caso de R-134a a una referencia de 25°C, su capacidad calorífica es mucho menor siendo 0.85kJ/kg.K [46] mientras que en el caso del sistema por absorción se usa un solvente líquido, en este caso CaCl₂ en solución el cual, a una composición de 40% en peso y 25°C de referencia, posee una capacidad calorífica de 2.43kJ/kg.K [20]. Como el refrigerante gaseoso tiene una capacidad calorífica menor, el calor requerido para acondicionar la temperatura de la corriente también será menor. Otra desventaja frente al calor del colector es que el evaporador utiliza el calor de la corriente del aire a acondicionar para elevar la temperatura del refrigerante mientras que el equipo de calentamiento del sistema por absorción es un dispositivo que requiere utilidad de calentamiento ya sea por una corriente de servicio o alguna fuente externa de calor como se analiza en este trabajo siendo un colector solar; a su vez el enfriador también requiere una corriente de servicio que supla la utilidad de enfriamiento. Al ser la capacidad calorífica función de la temperatura y, como en las corrientes de proceso Cartagena tiene las temperaturas más elevadas, es de esperar que esta sea la ciudad que requiera mayor carga térmica de calentamiento y enfriamiento tanto en el sistema de aire acondicionado por absorción como el tradicional, como se observa en la Tabla 21 y la Tabla 29, respectivamente.

9.3 Características del diseño

Después de determinar las condiciones de diseño para cada uno de los equipos, el principal obstáculo que se tiene a la hora de construirlos se encuentra en el colector solar. Basados en las características del colector seleccionado, al tener una carga térmica de calentamiento tan alta, las áreas requeridas por el colector de placa plana son tan grandes que la superficie de construcción no es factible para utilizarla como dispositivo de calentamiento ya que incluso su área supera en gran proporción al de la oficina en el caso base. El principal problema radica en que los flujos de líquido tratados en el sistema son mayores que los implementados normalmente en aplicaciones de calentamiento con colectores solares de placa plana y, además los principales objetivos de estudio realizados en este campo son para aplicaciones en calentamiento de agua y no para sales en solución. Otra dificultad a la hora de construir el colector son las irradiancias que se presentan en cada ciudad, ya que al transcurrir el día estas pueden variar y afectar el rendimiento del colector solar. Las características de diseño de los otros equipos son más factibles de implementar como en el caso de las torres de absorción y desorción que no superan 1m de altura ni diámetros mayores a 0.45m lo que las convierte en equipos compactos y fáciles de implementar en cualquiera ciudad, también al no trabajar con sustancias químicas que representan un alto grado de corrosión se pueden implementar materiales que no representan un gasto elevado como acero inoxidable e incluso se puede optar por materiales como el PVC. En el caso de las bombas y ventiladores, los valores comerciales se encuentran en un rango bajo, económico y accesible respecto a un compresor tradicional. Las áreas del enfriador son tan pequeñas que, con un análisis al detalle de la longitud y del diámetro, se puede lograr construir de un tamaño compacto a la hora de implementarlo.

9.4 Variación de la temperatura y humedad relativa ambiental

La Figura 43 muestra que a mayor temperatura ambiental la humedad absoluta de acondicionamiento aumenta por lo cual la separación en el absorbedor es menor. Con respecto a la humedad relativa, mientras esta sea menor, se pueden alcanzar valores más bajos de humedad absoluta de acondicionamiento lo que implica que se alcance una mayor separación en el absorbedor. Esto indica que las condiciones de operación del equipo de absorción son versátiles y pueden utilizarse para un amplio rango de condiciones de temperatura y humedad relativa ambiental.

En la Figura 44 se puede observar que, a pesar de tener un amplio rango de temperaturas y distintas humedades relativas ambientales, las temperaturas de acondicionamiento siempre están en el rango de la zona de confort, es decir, nunca excede los 25°C ni está por debajo de 20°C lo cual es una ventaja debido a que es posible operar el sistema en distintas condiciones climáticas a lo largo del día en la ciudad de Medellín. Lo anterior ocurre también para el análisis de las demás ciudades y sus gráficas se pueden observar en el Anexo F.

En la Figura 45 se puede observar, de manera combinada, la temperatura y humedad relativa de acondicionamiento donde, para una humedad relativa en el ambiente a distintas condiciones de temperatura, se logra alcanzar un punto dentro de la zona de confort que se encuentra entre los 22-23.5°C y humedades relativas entre 50-60%. Lo anterior, comprueba que el absorbedor tiene un amplio rango de operación usando las mismas variables iniciales para distintas condiciones climáticas. El mismo análisis se obtiene para las demás ciudades.

La potencia neta requerida por las bombas es mayor cuando la temperatura y la humedad relativa en el ambiente aumentan, aunque desde el punto de vista práctico, el cambio de la potencia no tiene una variación significativa como se observa en el Figura 46 para la bomba 1. Lo anterior también es una ventaja a la hora de optar por una bomba ya que se puede seleccionar con una potencia estándar la cual se puede utilizar para distintas condiciones climáticas del ambiente.

El requerimiento de la potencia de los ventiladores es directamente proporcional al aumento de la temperatura y humedad relativa ambiental (Anexo F). A diferencia de la potencia requerida por las bombas, la variación de ésta es más considerable, por lo cual al momento de seleccionar un ventilador se debe tener muy en cuenta para cuales condiciones de acondicionamiento aplicaría o elegir un ventilador que abarque todas las condiciones posibles.

Las cargas térmicas del colector respecto a las condiciones ambientales son inversamente proporcionales, es decir, a temperatura y humedades relativas ambientales mayores, la carga térmica requerida es menor, lo cual se puede ver en la Figura 47. Lo anterior es de esperar ya que, cuando se tienen mayores temperaturas ambientales, la temperatura de operación del absorbedor es mayor al igual que la temperatura de salida de líquido (T_N) por lo cual el colector requiere menor utilidad de calentamiento. Caso contrario ocurre con los requerimientos del enfriador como se aprecia en la Figura 48 donde, la carga térmica requerida aumenta a mayores temperaturas y humedades relativas ambientales, pero no está tan relacionado a la temperatura ambiental, sino que guarda mayor relación con el flujo de vapor en el proceso debido a que a menores humedades

relativas en el ambiente, la cantidad de agua absorbida y, por ende, la cantidad de líquido dentro del proceso de recuperación del solvente, serán menores. Como el flujo de líquido disminuye la carga térmica requerida también disminuirá.

El hecho de que la carga térmica requerida por el colector aumente mientras que la del enfriador disminuya puede ser una dificultad a la hora de implementar los sistemas de calentamiento y enfriamiento, ya que su comportamiento, al ser de manera inversa respecto a estas dos variables a distintas condiciones, puede beneficiar a un equipo, pero perjudicar a otro. Lo anterior se traduce en las áreas del colector y enfriador, es decir, mientras que, a condiciones ambientales altas, la carga térmica del colector disminuye y su área también, el enfriador aumentará su área neta requerida.

9.5 Variación de la temperatura, flujo y fracción másica del solvente

La humedad absoluta de acondicionamiento aumenta directamente con la temperatura del solvente y disminuye a mayor cantidad de flujo del solvente, como se observa en la Figura 49. Además, a medida que va aumentando el flujo, la diferencia en el valor de la humedad relativa de acondicionamiento disminuye hasta llegar a un punto en el cual no varía con el aumento de la cantidad de solvente. El rango de operación de temperatura de solvente del flujo de 50kmol/h solo va hasta 20.5°C que es menor que la condición planteada en el caso base de 22°C, por lo cual no es recomendado utilizar este flujo a mayores temperaturas debido a que supera el límite de humedad absoluta de acondicionamiento señalado en la Figura 49. Por otro lado, para flujos mayores de 100kmol/h las temperaturas de trabajo del solvente pueden llegar hasta 28.5°C y aun así sigue cumpliendo con dicho límite. Por ejemplo, para el caso base, se tiene un flujo de solvente de 279.7376kmol/h y en la Figura 49 se observa que es un valor muy próximo entre 250-300mol/h contemplando la posibilidad de disminuir el flujo ya que, para el mismo rango de temperatura, el valor de la humedad relativa de acondicionamiento es similar entre estos tres flujos, incluso se podría disminuir hasta 100kmol/h ya que los valores de humedad se encuentran aún en la zona de confort al menos hasta los 25°C y al estar disminuyendo el flujo a más de la mitad, las áreas de colector y enfriador disminuirían en esta misma proporción y se podría considerar más factible el uso del colector de placa plana inicialmente contemplado.

De la Figura 50 se puede confirmar que es posible disminuir el flujo sin afectar la temperatura de acondicionamiento. Para un flujo de 50 kmol/h donde solo se puede operar a una temperatura máxima de 16.8°C la temperatura de acondicionamiento no sería óptima. Si se

considera disminuir el flujo a 100kmol/h, para alcanzar la temperatura de acondicionamiento de 23°C, se debería también considerar disminuir la temperatura del solvente al menos hasta 19°C. Si el requerimiento no es de 23°C, el rango de operación para este mismo flujo no puede exceder los 21°C de temperatura de solvente, por lo cual se considera mejor utilizar un flujo de 150kmol/h ya que puede ampliar el rango de operación hasta los 22.5°C sin exceder la temperatura de acondicionamiento máxima.

Puesto que en la Figura 51 se observa que la potencia no depende de la variación de la temperatura de entrada del solvente, nuevamente se confirma que es posible disminuir el flujo de solvente para obtener menores requerimientos de potencia en las bombas, considerando incluso disminuirlo hasta la mitad de su valor inicial. Partiendo del flujo de 279.7376kmol/h a 22°C se tienen una potencia de 11.1W para la bomba 1 y disminuyéndolo hasta un flujo de 100kmol/h en cualquiera de las condiciones de temperatura de solvente, su nuevo requerimiento de potencia disminuye hasta los 4W, lo que representa un ahorro energético y económico. Lo anterior aplica también para las condiciones de la bomba 2 y las bombas de las demás zonas climáticas seleccionadas como lo muestran los resultados del Anexo F.

Respecto a la condición térmica observada en la Figura 52 para el colector y lo reportado en el Anexo F para el enfriador, disminuir el flujo de solvente sigue siendo recomendable debido a que reducirá considerablemente las cargas térmicas en dichos equipos. En cuanto a las temperaturas del solvente, el efecto sobre la carga térmica es más notorio para flujos más grandes que para flujos más pequeños. Por ejemplo, para un flujo de solvente de 100kmol/h, la carga térmica del colector y el enfriador disminuye a más de la mitad teniendo en cuenta la misma condición de temperatura de solvente de 22°C, en el caso del colector pasa de 95.3kW hasta 30kW con la disminución del solvente. Al disminuir las cargas térmicas, disminuye en gran parte el área del colector y se podría considerar implementar, en ciudades con irradiación más alta, colectores de placa plana más compactos. Lo anterior aplica también para el enfriador y las demás ciudades mostrados en el Anexo F.

La Figura 53 indica que un aumento en la fracción másica de CaCl_2 disminuye la humedad absoluta de acondicionamiento, lo anterior debido a que mayor cantidad de CaCl_2 la corriente tendrá mayor capacidad absorbente. Teniendo en cuenta el diagrama de equilibrio sólido-líquido del CaCl_2 en solución, trabajar con fracciones másicas mayores del 45% puede acarrear la formación de sales hidratadas. En el caso de Medellín la humedad absoluta de acondicionamiento

es de $0.0125 \text{ kg}_v/\text{kg}_{as}$ por lo cual trabajar con fracciones másicas por debajo de 40% de CaCl_2 no es conveniente, lo mismo aplicaría para el resto de las ciudades. De la Figura 54, la variación de temperatura de acondicionamiento no es muy considerable frente a cambios en la concentración de la solución absorbente, manteniéndose entre 23.2°C y 23.4°C en el caso de Medellín y, dado el caso que se requiera disminuir la concentración para ahorrar absorbente, la fracción másica no es una variable para tener en cuenta debido a que la temperatura de acondicionamiento siempre estará en la zona de confort. Respecto a la variación de las potencias de las bombas, no hay un cambio significativo como se observa en la Figura 55, debido a que a la hora de seleccionar las potencias de diseño la disminución o aumento de la concentración de CaCl_2 en cualquiera de los valores tendrá la misma potencia, por ejemplo, en el caso de Medellín la bomba 1 requiere una potencia de 15W; de igual manera ocurre para la bomba 2 y las bombas de las demás ciudades como se puede observar en el Anexo F. Para el colector, de la Figura 56, el efecto de la disminución de la fracción másica si representa un cambio drástico aumentando la carga térmica del colector al igual que en el enfriador (Figura 56 y Anexo F) y utilizando valores altos de fracción másica de CaCl_2 se pueden lograr disminuir las cargas térmicas requeridas por estos equipos pero el problema radica, como ya se mencionó, en que a mayores fracciones másicas la posibilidad de formación de sales es más alta lo que puede provocar formación de sólidos obstruyendo algunos equipos y afectando la operación en las torres de absorción y desorción.

9.6 Variación del diámetro y altura de empaque

El efecto de utilizar mayores diámetros de empaque no es considerable a partir de los 0.36m como se muestra en la Figura 57 para el absorbedor, ya que el contenido de humedad no varía significativamente por lo cual el diámetro se podría fijar en este valor y podría seguir operando a distintas condiciones. Por el contrario, para la altura de empaque siempre es más favorable utilizar valores mayores de HETP, pero nunca excederse de 0.5m porque las diferencias entre una altura y otra empieza a ser menores y no es conveniente diseñar una torre más alta si no presenta una separación mejor que en una torre con una altura menor. El mismo análisis se presenta para cada una de las ciudades seleccionadas como se muestra en el Anexo F, además aplica para el análisis de la temperatura de acondicionamiento con la ventaja que en este caso la temperatura siempre estará en la zona de confort independientemente de la altura o del diámetro de empaque, en el desorbedor todos los cambios de diámetro y altura presentan el mismo valor para la temperatura y

humedad de acondicionamiento. Lo anterior es de esperar debido a que el estado de acondicionamiento esta mayormente ligado a la separación en el absorbedor.

Con respecto a la bomba 1, el aumento del diámetro y HETP en el absorbedor no afecta de manera significativa la variación de la potencia, manteniéndose en un valor de 11W como se observa en la Figura 58. Por lo anterior, al elegir la potencia de diseño de 15W en el caso de Medellín (Tabla 25), las variables diámetro y altura no son importantes en este caso al igual que en la bomba 2, donde la potencia de diseño es de 60W (Tabla 15). El análisis anterior aplica para la bomba 2 respecto al diámetro y HETP en el desorbedor como se observa en la Figura 59. Además, la carga térmica en el colector y enfriador respecto a estas variables en el absorbedor no representan un cambio significativo como se muestran en la Figura 60 y en la Figura 61. Para el desorbedor con respecto a la carga térmica del enfriador siempre va a ser preferible usar HETP mayores debido a que reducen dichas cargas, aunque no sea muy significativo como se observa en la Figura 62.

En la presente sección se analizaron los resultados más relevantes obtenidos a lo largo de desarrollo del trabajo.

10. CONCLUSIONES

En este apartado se muestran las conclusiones a las que se llegaron mediante la realización de todos los aspectos del trabajo, y se determina el cumplimiento de los objetivos establecidos en base al análisis energético del sistema de aire acondicionado por absorción empleando una solución de CaCl_2 . Apoyado en todas las secciones anteriormente desarrolladas se concluye que:

- Mediante el uso del software Aspen Plus ® fue posible simular de manera satisfactoria, en cada una de las zonas climáticas seleccionadas, el comportamiento en estado estacionario de un sistema de aire acondicionado por absorción empleando CaCl_2 y con un ciclo cerrado para recuperación del solvente.
- Se logró cuantificar los requerimientos energéticos del sistema de aire acondicionado en función de las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente para 6 ciudades en las diferentes zonas climáticas del territorio colombiano. Para el caso base se requiere una carga térmica de 95.30kW en el colector solar y 92.99kW para el enfriador. Como requerimiento eléctrico en las bombas son de 11.10W y 55.82W y en ventiladores es de 39.43W y 59.06W. La zona climática con mayor requerimiento energético es Cartagena con una potencia eléctrica neta requerida de 0.19kW y cargas térmicas en el colector y en el enfriador de 127.64kW y 124.17kW, respectivamente.
- Se determinaron de manera satisfactoria las condiciones de operación y de diseño de los distintos equipos involucrados en el funcionamiento del sistema de aire acondicionado por absorción basados en la temperatura y humedad relativa ambiental para cada una de las ciudades seleccionadas. En el caso base, para la torre de absorción, la temperatura y presión de operación son de 32.30°C y 0.8445atm, con una carga de líquido de 279.7375kmol/h y una carga de vapor de 16.2425kmol/h; sus condiciones de diseño alcanzadas son 60.07°C y 1.6025atm. El desorbedor opera a 51.63°C y 0.8445atm; sus condiciones de diseño son 79.41°C y 1.6025atm. Para todas las ciudades, tanto en el absorbedor como en el desorbedor, el diámetro de diseño es de 0.45m, el empaque es tipo anillo Pall en plástico y su altura es 1m y 1.3m, respectivamente. Para Medellín, las potencias de diseño para las bombas son de 15W y 60W y para los ventiladores son de 40W y 60W. El área requerida del colector, para el caso base, es de 185.96m² y para el enfriador operando con agua de enfriamiento es de 3.03m².

- Se realizó adecuadamente un análisis de sensibilidad de las variables más importantes que afectan el funcionamiento del sistema de aire acondicionado por absorción en todas las zonas climáticas colombianas seleccionadas. Las variables que representan un mayor cambio para los requerimientos energéticos de todos los equipos son la temperatura y flujo de solvente requerido. Para el caso base, disminuyendo el flujo de solvente desde 279.74kmol/h hasta 100kmol/h es posible disminuir los gastos energéticos a más del 50% de su valor inicial para todos los equipos.
- Se alcanzaron las condiciones de acondicionamiento dentro de la zona de confort para una oficina de 75m³ con las condiciones de operación implementadas en el equipo de absorción del sistema de aire acondicionado para cada una de las zonas del territorio colombiano. Se pueden alcanzar temperaturas de acondicionamiento entre 23.37°C - 23.48°C, y humedades relativas de acondicionamiento entre 54.3% - 51.36% logrando alcanzar, para cada una de las ciudades, la zona de confort.
- Se probó, para todas las ciudades, que es posible realizar una recuperación del solvente líquido con las condiciones de operación del equipo de desorción para que el sistema opere en un ciclo cerrado en cada ciudad seleccionada. Para el caso base, el absorbedor requiere un flujo de solvente de 211.1148kmol/h y el desorbedor alcanza un flujo de líquido de 211.1146kmol/h.
- Se demostró que hay una disminución considerable en la demanda de potencia eléctrica del sistema de aire acondicionado por absorción al implementar equipos de ventilación y bombas frente al sistema de aire tradicional que emplea compresores y esto a su vez se ve reflejado en un ahorro monetario sustancial debido al uso del sistema de aire acondicionado. Lo anterior se cumple para todas las zonas climáticas del territorio colombiano. En Medellín, para un uso del equipo de 8 horas diarias, el ahorro monetario es del 89.7% con respecto al sistema tradicional.
- Las altas demandas energéticas de los sistemas de calentamiento y enfriamiento son un punto negativo a la hora de implementar el sistema de aire acondicionado por absorción frente a un equipo tradicional, debido a que la carga térmica requerida por el colector y el enfriador supera a las del evaporador y condensador de un sistema de aire por compresión además, las áreas requeridas por el colector de placa plana son tan grandes que su

construcción no justifica la inversión para el funcionamiento del sistema de aire acondicionado.

- Es viable seleccionar un único empaque con dimensiones y características iguales para el funcionamiento de los equipos de absorción y desorción del sistema de aire acondicionado para todas las condiciones climáticas de las ciudades estudiadas. Para los absorbedores se requiere un anillo Pall de 1in, con factor de empaque de 171 m^{-1} , área específica de empaque de $2.2 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ y fracción poroso de 0.91. En el caso del desorbedor el diámetro de empaque es de $1^{3/8}$ in, con factor de empaque de 140 m^{-1} , área específica de empaque de $1.6 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ y fracción poroso de 0.93. Lo anterior se cumple para cada una de las ciudades.
- Se probó que la temperatura y la humedad absoluta de acondicionamiento, así como el requerimiento de la potencia de las bombas, ventiladores y la carga térmica del enfriador, tienen una relación directa con la variación de la temperatura y humedad relativa ambiental. En el caso base, a 32°C y 60% humedad relativa ambiental la condición de temperatura y humedad absoluta de acondicionamiento es de 22.85°C y $0.0111 \text{ kg}_v/\text{kg}_{as}$. Para la misma condición de temperatura, pero a 98% de humedad relativa ambiente, las condiciones son 23.4°C y $0.0120 \text{ kg}_v/\text{kg}_{as}$. El mismo fenómeno ocurre en las demás ciudades.
- Se determinó que la carga térmica del colector tiene una relación inversa con la variación de la temperatura y humedad relativa ambiental.
- Se comprobó que la temperatura y la humedad absoluta de acondicionamiento aumentan con el incremento de la temperatura de solvente además la temperatura de acondicionamiento no se ve afectada por el incremento del flujo del solvente.
- Se cumple que el requerimiento de las potencias netas de las bombas no depende de la variación de la temperatura de entrada de solvente y son independientes de la altura y el diámetro del empaque del absorbedor y desorbedor. Por el contrario, si dependen de la cantidad de flujo de solvente implementado.
- Se validó que la carga térmica del colector y el enfriador dependen fuertemente del flujo del solvente y no significativamente de la temperatura.
- Un aumento en la fracción másica de CaCl_2 aumenta la capacidad de absorción del solvente disminuyendo la humedad absoluta de acondicionamiento. Además, se comprobó que es más favorable utilizar una fracción másica de CaCl_2 menor al 40% para evitar formar sales y posibles daños los equipos.

11. RECOMENDACIONES

En la presente sección se especifican algunas recomendaciones finales basadas en los resultados obtenidos y el análisis realizado en secciones anteriores.

Se recomienda realizar un diseño a detalle de todos los equipos del sistema de aire acondicionado el cual pueda operar en los rangos de temperatura de 32.05–36.85°C y presión 0.8445–1.0021atm para el absorbedor. En el desorbedor, la temperatura entre 51.63-55.12°C en el mismo rango de presión. Para los ventiladores, un rango de 35-65W y en las bombas entre 10-70W.

Puesto que la principal desventaja del sistema radica en el área requerida por el colector de placa plana, se recomienda analizar otros tipos de colectores como el de concentración o implementar otro dispositivo de calentamiento como lo puede ser un intercambiador de tubo y camisa que implemente vapor como utilidad de calentamiento.

Se recomienda optimizar el flujo de solvente con el fin de reducir el área del colector solar, las potencias de las bombas y las cargas térmicas del enfriador, esto también influye en ahorros de costos de operación del sistema de aire acondicionado, sin afectar significativamente el resultado de confort deseado.

Se recomienda seguir implementando soluciones de CaCl_2 como absorbente ya que además de los buenos resultados en el acondicionamiento del ciclo, este compuesto es una sustancia refrigerante amigables con el medio ambiente, no es tóxico, tiene un tiempo de uso prolongado y capacidad de ser reutilizado además, su implementación no contribuye a la destrucción de la capa de ozono ya que no contiene CFCs (clorofluorocarbonado) ni HFCs (hidrofluorocarbonos) que se implementa en refrigerantes comerciales actuales [7].

En este trabajo se usa CaCl_2 como solvente, sin embargo, es importante analizar otro tipo de solvente con respecto a los efectos de corrosión y erosión principalmente en el colector solar.

En el caso de ser utilizado este estudio para una posible fase de diseño de los equipos, para el absorbedor y desorbedor es posible utilizar materiales de construcción económicos y se recomienda la posibilidad de implementar PVC como material de construcción.

REFERENCIAS

- [1] L. Ojea, “El uso del aire acondicionado triplicará la demanda mundial de electricidad para 2050, según la AIE,” *El Periodico de la Energía*, 2018. <https://elperiodicodelaenergia.com/el-uso-del-aire-acondicionado-triplicara-la-demanda-mundial-de-electricidad-para-2050-segun-la-aie/> (accessed Nov. 29, 2021).
- [2] “Impacto del Cambio climático en Colombia | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.” <https://www.minambiente.gov.co/index.php/cambio-climatico/que-es-cambio-climatico/impacto-del-cambio-climatico-en-colombia> (accessed Jun. 28, 2021).
- [3] T. Randazzo, E. De Cian, and M. N. Mistry, “Air conditioning and electricity expenditure: The role of climate in temperate countries,” *Econ. Model.*, vol. 90, no. May, pp. 273–287, 2020, doi: 10.1016/j.econmod.2020.05.001.
- [4] I. Daut, M. Adzrie, M. Irwanto, P. Ibrahim, and M. Fitra, “Solar powered air conditioning system,” *Energy Procedia*, vol. 36, pp. 444–453, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.07.050.
- [5] “Energía en Colombia costos Asoenergía.” <https://www.valoraanalitik.com/2021/01/22/asoenergia-aumento-costo-restricciones-energia-colombia-en-2020/> (accessed Jun. 28, 2021).
- [6] J. Milián, “Uso de la energía solar en sistemas de aire acondicionado central por absorción,” Universidad de Matanzas, 2018.
- [7] J. Diaz Ortiz, “Identificación de barreras tecnológicas para operación de sistemas de aire acondicionado por absorción que utilicen LiBr-H₂O para instalaciones menores de 10 kW,” Instituto Tecnológico Metropolitano, 2012.
- [8] S. L. Grassie and N. R. Sheridan, “Modelling of a Solar-Operated Absorption Air Conditioner System With Refrigerant Storage.,” *Sol. Energy*, vol. 19, pp. 691–700, 1976.
- [9] N. Vol, “Closed Cycle Solar Refrigeration With the Calcium Chloride System,” *Niger. J. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–13, 1986.
- [10] T. Katejanekarn and S. Kumar, “Performance of a solar-regenerated liquid desiccant ventilation pre-conditioning system,” *Energy Build.*, vol. 40, no. 7, pp. 1252–1267, 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.11.005.
- [11] A. K. Mohaisen and Z. Ma, “Development and modelling of a solar assisted liquid desiccant dehumidification air-conditioning system,” *Build. Simul.*, vol. 8, no. 2, pp. 123–135, 2015, doi: 10.1007/s12273-014-0196-1.

- [12] C. P. Arora, *Refrigeration and Air Conditioning Third Edition*, 3th ed. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2009.
- [13] M. A. Ahmed, P. Gandhidasan, S. M. Zubair, and H. M. Bahaidarah, “Thermodynamic analysis of an innovative liquid desiccant air conditioning system to supply potable water,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 148, pp. 161–173, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.05.049.
- [14] N. Quiadri, *Sistemas de aire acondicionado. Calidad del aire interior*. 2001.
- [15] W. G. Hahn., *Air-Conditioning system desing manual*, Second Edi. ASHRAE, 2007.
- [16] R. E. Treybal, *Mass Transfer Operations*, Third Edit. Singapore: McGraw-Hill, 1981.
- [17] J. D. Seader, E. J. Henley, and D. K. Roper, *Separation Process Principles: Chemical and Biochemical Operations*, 3rd Editio. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [18] Kirk and Othmer, “Volume 04: Bearing Materials to Carbon,” in *Encyclopedia of Chemical Technology*, Fourth Edi., vol. 4, Watcher, Ed. 2004, p. 578.
- [19] A. Suwono, Y. S. Indartono, M. Irsyad, and I. C. Al-Afkar, “Application of calcium chloride as an additive for secondary refrigerant in the air conditioning system type chiller to minimized energy consumption,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 88, no. 1, pp. 6–12, 2015, doi: 10.1088/1757-899X/88/1/012035.
- [20] OxyChem, *Calcium chloride*, vol. 262, no. 12. Occidental Chemical Corporation, 2002.
- [21] R. H. Perry and D. W. Green, *PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK*, Eighth. United states of America: McGraw-Hill, 2008.
- [22] SIAC, “CLIMA - IDEAM.” <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima> (accessed Jul. 08, 2021).
- [23] IDEAM, “Humedad del Aire 2 metros | Datos Abiertos Colombia.” <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Humedad-del-Aire-2-metros/uext-mhny/data> (accessed Oct. 19, 2021).
- [24] IDEAM, “Temperatura Máxima del Aire | Datos Abiertos Colombia.” <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Temperatura-M-xima-del-Aire/ccvq-rp9s/data> (accessed Oct. 19, 2021).
- [25] O. C. González, “Metodología para el Calculo del Confort Climático en Colombia,” *Ideam*, p. 47, 1998, [Online]. Available: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/007574/Metodologiaconfort.pdf>.

- [26] ANSI/ASHRAE, *Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, 2010.
- [27] R. L. Hedrick *et al.*, “Ventilation for acceptable indoor air quality,” *ASHRAE Stand.*, vol. 2013, no. 62.1-2013, 2013, [Online]. Available: www.ashrae.org.
- [28] SODECA, “Información técnica - Sodeca,” 2021. <https://www.sodeca.com/es/tecnica> (accessed Oct. 25, 2021).
- [29] B. F. Santoro, D. Rincón, V. C. da Silva, and D. F. Mendoza, “Nonlinear model predictive control of a climatization system using rigorous nonlinear model,” *Comput. Chem. Eng.*, vol. 125, pp. 365–379, 2019, doi: 10.1016/j.compchemeng.2019.03.014.
- [30] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th Editio. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [31] J. C. Martínez, P. F. Noceto, and R. A. Suárez, “Manual Técnico de Energía Solar Térmica Volumen II : Aspectos Técnicos y Normativos,” *Fac. Ing. Univ. la República*, p. 282, 2013.
- [32] E. C. Carlson, “Don’t Gamble With Physical Properties For Simulations,” *Chem. Eng. Progress*, p. 12, 1996.
- [33] H. Tapias García, L. A. Palacios Santos, and C. Saldarriaga Molina, *Métodos y algoritmos de diseño en Ingeniería Química*. Editorial Universidad de Antioquia, 2005.
- [34] W. D. Seider, J. D. Seader, and D. R. Lewin, “Chapter 5: Heuristics for Process Synthesis.” in *Product and Process Desing Principles: Synthesis, Analysis and Evaluation.*, 2nd ed., 2003, p. 820.
- [35] AspenTech, “Aspen Plus | Leading Process Simulation Software | AspenTech,” 2021. <https://www.aspentech.com/en/products/engineering/aspen-plus> (accessed Oct. 27, 2021).
- [36] I. Aspen Technology, “Aspen Plus User Guide,” in *Aspen Technology, Inc.*, no. 1, Cambridge, 2010, p. 69.
- [37] M. J. Moran, H. N. Shapiro, D. D. Boettner, and M. B. Bailey, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, vol. 29, no. 1. 2014.
- [38] AMCA, *Energy Efficiency Classification for Fans. Standard 205-10*. Harlynton Heights - Illinois: Air Movement and Control Association International, 2011.
- [39] J. E. Hill, J. P. Jenkins, and D. E. Jones, “Experimental Verification of a Standard Test Procedure for Solar Collectors,” *NBS Buildibngs Sci.*, vol. Series 117, no. January 1979, p. 127, 1979.

- [40] D. Q. Kern, *Process Heat Transfer*, 21st ed. Tokyo: McGraw-Hill Book Company, 1983.
- [41] F. J. Gálvez, R. López, A. Llopis, and C. Rubio, *Física: curso teórico práctico de fundamentos físicos de la ingeniería*. Madrid: Tébar Flores, 709.
- [42] E. A. Puerto, “1.2 PRESIÓN ATMOSFÉRICA | M. en I. Efraín A. Puerto,” 2011. <https://efrainpuerto.wordpress.com/2011/02/26/f1-2/> (accessed Nov. 02, 2021).
- [43] Salvador Escoda SA, “Manual Práctico de ventilación.” Barcelona, p. 21.
- [44] V. L. Streeter, E. B. Wylie, and K. W. Bedford, *Mecánica de Fluidos*, 9th ed. Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, S.A., 2000.
- [45] “Tarifas de Energía EPM.” <https://cu.epm.com.co/clientesyusuarios/energia/tarifas-energia> (accessed Nov. 16, 2021).
- [46] Gasservel, “Ficha técnica R-134a.” Ciudad de México, p. 4, Accessed: Nov. 17, 2021. [Online]. Available: www.gas-servei.com.

ANEXOS

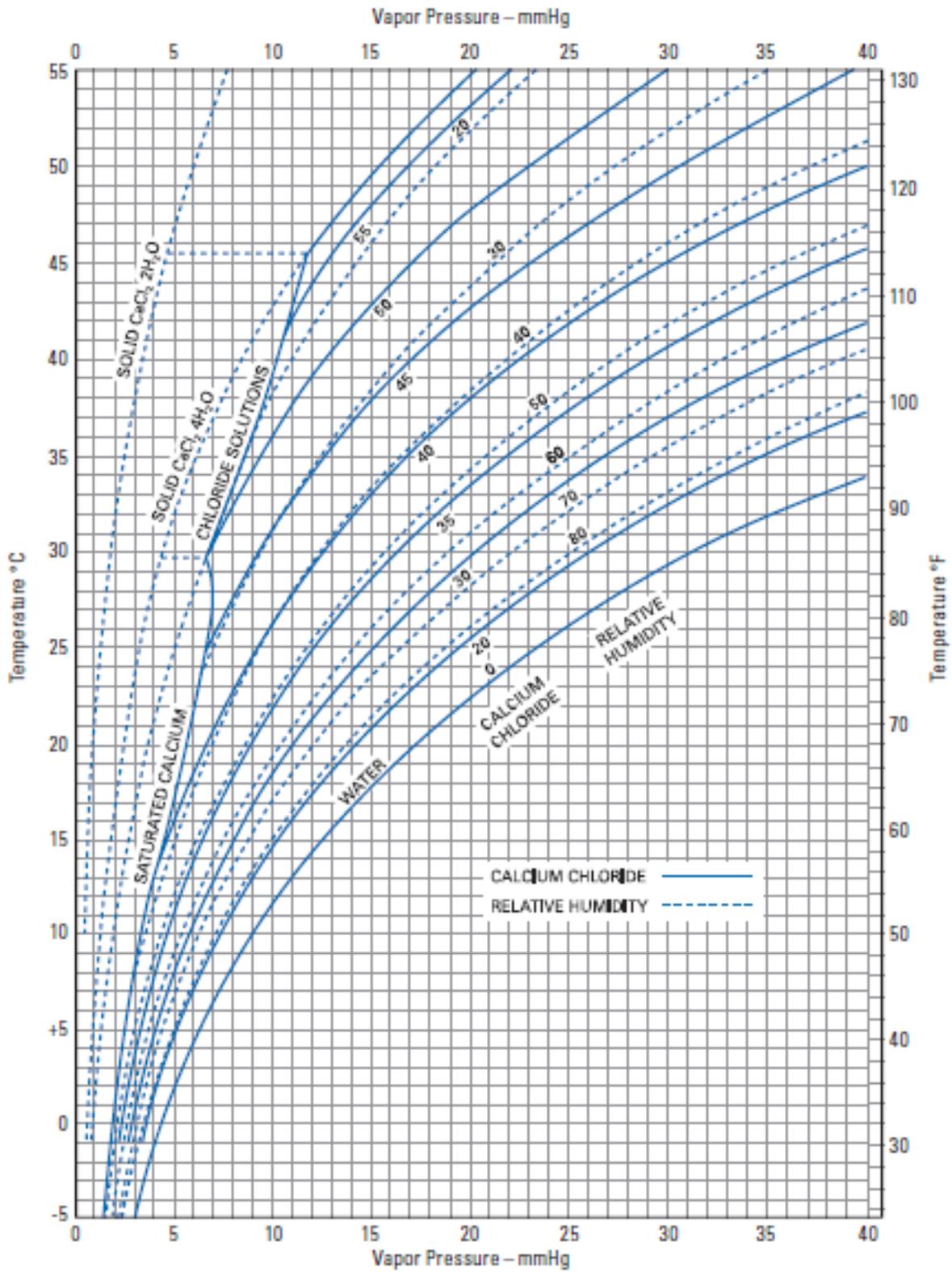
*ANEXO A. Propiedades de las sustancias.*Anexo A 1. Densidad del CaCl₂ en solución a varias temperaturas y concentraciones (lb/gal) [20].

% CaCl ₂	0° F -17.8° C	10° F -12.2° C	20° F -6.7° C	30° F -1.1° C	40° F 4.4° C	50° F 10° C	60° F 15.6° C	70° F 21.1° C	80° F 26.7° C	90° F 32.2° C	100° F 37.8° C
2	–	–	–	–	8.56	8.54	8.51	8.48	8.45	8.42	8.40
4	–	–	–	8.74	8.71	8.69	8.66	8.63	8.60	8.57	8.55
6	–	–	–	8.89	8.86	8.84	8.81	8.78	8.75	8.72	8.70
8	–	–	–	9.04	9.01	8.99	8.96	8.93	8.90	8.87	8.85
10	–	–	–	9.19	9.16	9.14	9.11	9.08	9.05	9.02	9.00
11	–	–	9.30	9.27	9.24	9.22	9.19	9.16	9.13	9.10	9.08
12	–	–	9.38	9.35	9.32	9.30	9.27	9.24	9.21	9.18	9.16
13	–	–	9.47	9.44	9.41	9.39	9.36	9.33	9.30	9.27	9.25
14	–	–	9.54	9.51	9.48	9.46	9.43	9.40	9.37	9.34	9.32
15	–	–	9.63	9.60	9.57	9.55	9.52	9.49	9.46	9.43	9.41
16	–	9.74	9.71	9.68	9.65	9.63	9.60	9.57	9.54	9.51	9.49
17	–	9.82	9.79	9.76	9.73	9.71	9.68	9.65	9.62	9.59	9.57
18	–	9.90	9.87	9.84	9.81	9.79	9.76	9.73	9.70	9.67	9.65
19	10.01	9.99	9.96	9.93	9.90	9.88	9.85	9.82	9.79	9.76	9.74
20	10.09	10.07	10.04	10.01	9.98	9.96	9.93	9.90	9.87	9.84	9.82
21	10.17	10.15	10.12	10.09	10.06	10.04	10.01	9.98	9.95	9.92	9.90
22	10.26	10.24	10.21	10.18	10.15	10.13	10.10	10.07	10.04	10.01	9.99
23	10.34	10.32	10.29	10.26	10.23	10.21	10.18	10.15	10.12	10.09	10.07
24	10.41	10.39	10.36	10.33	10.30	10.28	10.25	10.22	10.19	10.16	10.14
25	10.51	10.49	10.46	10.43	10.40	10.38	10.35	10.32	10.29	10.26	10.24
26	10.61	10.59	10.56	10.53	10.50	10.48	10.45	10.42	10.39	10.36	10.34
27	10.71	10.69	10.66	10.63	10.60	10.58	10.55	10.52	10.49	10.46	10.44
28	10.81	10.79	10.76	10.73	10.70	10.68	10.65	10.62	10.59	10.56	10.54
29	10.90	10.88	10.85	10.82	10.79	10.77	10.74	10.71	10.68	10.65	10.63
30	11.00	10.98	10.95	10.92	10.89	10.87	10.84	10.81	10.78	10.75	10.73
31	11.10	11.08	11.05	11.02	10.99	10.97	10.94	10.91	10.88	10.85	10.83
32	11.20	11.18	11.15	11.12	11.09	11.07	11.04	11.01	10.98	10.95	10.93
33	11.30	11.28	11.25	11.22	11.19	11.17	11.14	11.11	11.08	11.05	11.03
34	–	–	11.34	11.31	11.28	11.26	11.23	11.20	11.17	11.14	11.12
35	–	–	–	11.41	11.38	11.36	11.33	11.30	11.27	11.24	11.22
36	–	–	–	–	11.48	11.46	11.43	11.40	11.37	11.34	11.32
37	–	–	–	–	11.58	11.56	11.53	11.50	11.47	11.44	11.42
38	–	–	–	–	–	11.65	11.62	11.59	11.56	11.53	11.51
39	–	–	–	–	–	–	11.72	11.69	11.66	11.63	11.61
40	–	–	–	–	–	–	–	11.79	11.76	11.73	11.71
41	–	–	–	–	–	–	–	11.89	11.86	11.83	11.81
42	–	–	–	–	–	–	–	11.98	11.95	11.92	11.90

Anexo A 2. Propiedades del CaCl₂ en solución a 25°C [20]

% CaCl ₂	Specific Gravity	Density (kg/liter)	Liters per 1000 kg Solution	Liters per 1000 kg Dry	Freeze Point (°C)	Boiling Point (°C)
0	1.000	0.997	1003	n/a	0	100
1	1.009	1.006	994	99,406	-1	100
2	1.018	1.015	985	49,264	-1	100
3	1.027	1.024	977	32,555	-2	100
4	1.036	1.033	968	24,204	-3	100
5	1.045	1.042	960	19,196	-4	101
6	1.054	1.051	952	15,860	-4	101
7	1.063	1.060	944	13,479	-5	101
8	1.072	1.069	936	11,696	-6	101
9	1.081	1.078	928	10,309	-6	101
10	1.090	1.087	920	9202	-7	102
11	1.100	1.097	912	8289	-8	102
12	1.110	1.107	904	7530	-9	102
13	1.120	1.117	896	6889	-10	102
14	1.129	1.126	888	6346	-11	102
15	1.139	1.136	881	5871	-12	103
16	1.149	1.146	873	5456	-13	103
17	1.159	1.156	865	5091	-15	103
18	1.169	1.165	858	4767	-17	104
19	1.179	1.175	851	4478	-18	104
20	1.189	1.185	844	4218	-20	105
21	1.199	1.195	837	3984	-22	105
22	1.209	1.205	830	3771	-24	106
23	1.219	1.215	823	3577	-27	106
24	1.228	1.224	817	3403	-29	107
25	1.240	1.236	809	3236	-32	107
26	1.251	1.247	802	3084	-35	108
27	1.263	1.259	794	2941	-39	108
28	1.275	1.271	787	2810	-43	109
29	1.287	1.283	779	2687	-47	110
29.6	1.294	1.290	775	2619	-51	110
30	1.298	1.294	773	2576	-47	111
31	1.310	1.306	766	2470	-37	111
32	1.322	1.318	759	2371	-27	112
33	1.334	1.330	752	2278	-20	112
34	1.345	1.341	746	2193	-12	113
35	1.357	1.353	739	2112	-7	115
36	1.369	1.365	733	2035	-1	115
37	1.381	1.377	726	1963	4	115
38	1.392	1.388	721	1896	9	116
39	1.404	1.400	714	1832	13	116
40	1.416	1.412	708	1771	16	120
41	1.428	1.424	702	1713	18	121
42	1.439	1.435	697	1660	21	122

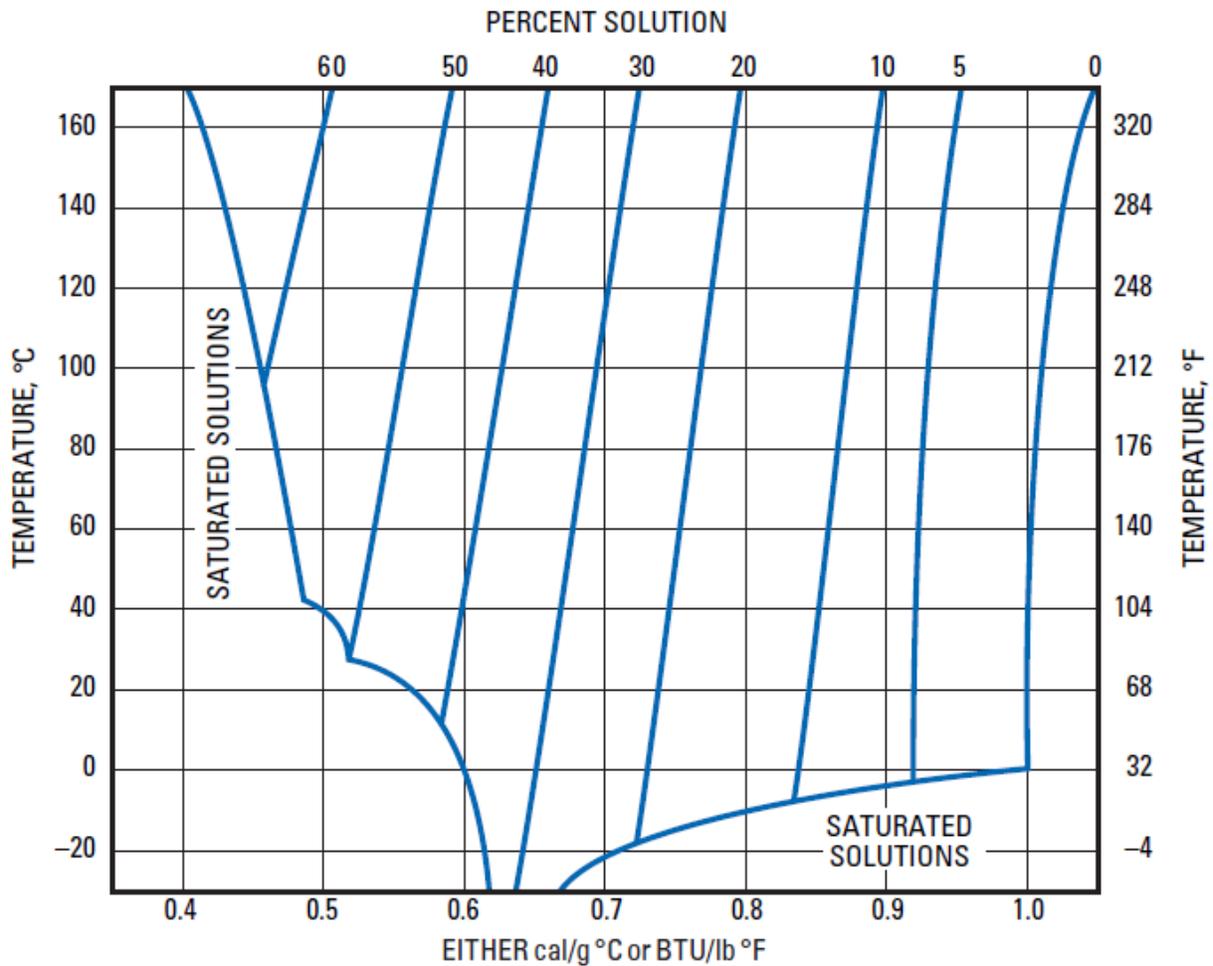
Anexo A 3. Presión de vapor del CaCl_2 [20].



Anexo A 4. Viscosidad en cP del CaCl₂ en solución [20].

Weight % CaCl ₂	Temperature, °C												
	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	–	–	1.77	1.29	1.02	0.79	0.67	0.53	0.46	0.40	0.34	0.30	0.26
5	–	–	1.84	1.35	1.07	0.82	0.73	0.57	0.51	0.45	0.39	0.35	0.28
10	–	–	2.13	1.52	1.16	0.93	0.86	0.64	0.57	0.51	0.47	0.42	0.35
15	–	4.09	2.50	1.84	1.40	1.20	1.03	0.76	0.68	0.62	0.55	0.49	0.42
20	–	4.97	3.12	2.33	1.81	1.54	1.22	0.99	0.85	0.74	0.68	0.59	0.49
25	9.94	6.32	4.04	3.07	2.38	1.97	1.54	1.27	1.07	0.90	0.82	0.70	0.59
30	14.27	9.04	5.77	4.30	3.33	2.62	2.07	1.73	1.43	1.24	1.01	0.89	0.73
35	–	–	8.83	6.62	4.99	3.87	3.07	2.54	2.17	1.82	1.46	1.22	1.03
40	–	–	–	11.75	8.48	6.39	4.90	4.00	3.26	2.72	2.15	1.74	1.52
45	–	–	–	–	–	11.50	8.90	6.57	5.24	4.25	3.39	2.77	2.33
50	–	–	–	–	–	–	–	11.80	9.24	7.45	5.97	4.95	4.28

Anexo A 5. Capacidad calorífica del cloruro de calcio en solución [20].



Anexo A 6. Capacidad calorífica del CaCl₂ líquido (J/kmol.K) [21]:

$$Cp_{CaCl_2} = 4184 (16.9 + 0.00386T)$$

Anexo A 7. Propiedades de las sustancias a 25°C, 1atm [21].

Sustancias	CAS no.	PM	T _b (°C)	T _f (°C)	T _c (K)	P _c (Mpa)	V _c (m ³ /kmol)	Z _c
Nitrógeno	7727-37-9	28.01	-195.8	-209.86	126.2	3.4	0.08921	0.289
Oxígeno	7782-44-7	32.00	-183	-218.4	154.58	5.043	0.0734	0.288
Argón	7440-37-1	39.95	-185.7	-189.2	150.86	4.898	0.07459	0.291
Dióxido de Carbono	124-38-9	44.01	subl.-78.5	-56.62 ^{5.2atm}	304.21	7.383	0.094	0.274
Agua	7732-18-5	18.02	100	0	647.096	22.064	0.0559472	0.229

Anexo A 8. Presión de vapor de las sustancias (T[K], P[Pa]) [21].

Sustancias	C1	C2	C3	C4	C5	T _{min} (K)	T _{max} (K)
Nitrógeno	58.282	-1084.1	-8.3144	4.4127x10 ⁻²	1	63.15	126.2
Oxígeno	51.245	-1200.2	-6.4361	2.8405x10 ⁻²	1	54.36	154.58
Argón	42.127	-1093.1	-4.1425	5.7254x10 ⁻⁵	2	83.78	150.86
Dióxido de Carbono	140.54	-4735	-21.268	4.0909x10 ⁻²	1	216.58	304.21
Agua	73.649	-7258.2	-7.3037	4.1653x10 ⁻⁶	2	273.16	647.096

$$P_v = \exp \left(C1 + \frac{C2}{T} + C3 \ln T + C4 T^{C5} \right)$$

Anexo A 9. Capacidad calorífica de las sustancias en fase gaseosa (J/kmol.K) [21].

Sustancias	C1	C2	C3	C4	C5	T _{min} (K)	T _{max} (K)
Nitrógeno	2.9105x10 ⁴	8.6149x10 ³	1.7016x10 ³	1.0347x10 ²	909.79	50	1500
Oxígeno	2.9103 x10 ⁴	1.0040x10 ⁴	2.5265x10 ³	9.3560x10 ³	1153.8	50	1500
Argón	20786	0	0	0	0	100	1500
Dióxido de Carbono	2.9370 x10 ⁴	3.4540x10 ⁴	1.4280x10 ³	2.6400x10 ⁴	588	50	5000
Agua	3.3363x10 ⁻⁶	2.6790x10 ⁻⁶	2.6105x10 ⁻³	8.8960x10 ⁻⁷	1169	100	2273.15

$$Cp_g = C1 + C2 \left[\frac{C3/T}{\sinh (C3/T)} \right]^2 + C4 \left[\frac{C5/T}{\cosh (C5/T)} \right]^2$$

Anexo A 10. Capacidad calorífica del agua en fase líquida (J/kmol.K) [21].

Sustancias	C1	C2	C3	C4	C5	T _{min} (K)	T _{max} (K)
Agua	276370	-2090.1	8.125	-0.014116	9.3701x10 ⁻⁶	273.15	293.58

$$Cp_l = C1 + C2T + C3T^2 + C4T^3 + C5T^4$$

Anexo A 11. Densidad del agua en fase líquida (mol/dm³) [21].

Sustancias	C1	C2	C3	C4	T _{min} (K)	T _{max} (K)
Agua	-13.851	0.64038	-0.00191	1.8211x10 ⁻⁶	298	353.15

$$\rho_l = C1 + C2T + C3T^2 + C4T^3$$

Nota: La densidad de las sustancias en fase vapor se determinan de la solución de la ecuación de estado SRK la cual fue seleccionada para la simulación.

Anexo A 12. Viscosidad de las sustancias en fase vapor (*Pa.s*) [21].

<i>Sustancias</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>T_{min} (K)</i>	<i>T_{max} (K)</i>
Nitrógeno	6.56×10^{-7}	0.6081	54.714	63.15	1970
Oxígeno	1.10×10^{-6}	0.5634	96.3	54.35	1500
Argón	9.212×10^{-7}	0.60529	83.24	83.78	3273.1
Dióxido de Carbono	2.148×10^{-6}	0.46	290	194.67	1500
Agua	1.71×10^{-8}	1.1146	0.000	273.16	1073

$$\mu_v = \frac{C1T^{C2}}{1 + \frac{C3}{T}}$$

Anexo A 13. Viscosidad del agua en fase líquida (*Pa.s*) [21].

<i>Sustancias</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>T_{min} (K)</i>	<i>T_{max} (K)</i>
Agua	-52.843	3703.6	5.866	-5.88×10^{-29}	10	273.16	646.15

$$\mu_l = \exp\left(1 + \frac{C2}{T} + C3 \ln T + C4T^{C5}\right)$$

Anexo A 14. Entalpia de vaporización del agua (*J/kmol*) [21].

<i>Sustancias</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>T_c (K)</i>	<i>T_{min} (K)</i>	<i>T_{max} (K)</i>
Agua	5.2053×10^7	0.3199	-0.212	0.25795	647.096	273.16	647.096

$$C1(1 - T_r)^{C2+C3T_r+C4T_r^2}; T_r = \frac{T}{T_c}$$

ANEXO B. Datos de temperatura, humedad relativa, cartas psicrométricas e irradiación.

Anexo B 1. Temperatura y humedad relativa para la ciudad de Medellín.

Fecha	Temperatura (°C)				% Humedad relativa			
	Moda	Promedio	Max	Min	Moda	Promedio	Max	Min
Jul-20-21	29.4	24.4	30.7	17	30	53.3	82	27
Jul-19-21	28.7	24.6	29.0	20	35	56.1	86	33
Jul-18-21	23.1	23.2	28.7	17	94	65.6	96	33
Jul-17-21	17.4	23.2	32.0	17	76	69.3	96	29
Jul-16-21	18.1	22.9	30.5	17	95	70.2	95	30
Jul-15-21	20.8	22.9	30.5	17	87	62.2	90	26
Jul-14-21	29.6	24.0	30.0	18	68	57.8	83	26
Jul-13-21	21.2	23.4	30.0	17	30	60.9	91	30
Jul-12-21	19.0	23.9	29.2	19	49	64.8	91	34
Jul-11-21	21.1	22.5	28.6	17	80	71.5	97	35
Jul-10-21	21.9	22.1	26.8	19	83	79.3	96	50
Jul-09-21	27.4	22.8	27.8	19	87	71.0	94	44
Jul-08-21	21.1	24.6	30.3	20	79	61.5	85	30
Jul-07-21	25.7	24.8	30.8	19	85	60.8	88	27
Jul-06-21	27.1	23.9	30.1	20	81	61.9	88	27
Jul-05-21	28.1	23.3	28.3	18	45	66.8	87	44
Jul-04-21	19.5	23.5	28.9	18	75	54.7	76	27
Jul-03-21	19.9	23.4	27.5	20	55	65.7	85	44
Jul-02-21	27.8	22.8	28.6	19	86	71.9	92	44
Jul-01-21	22.0	22.0	26.6	18	59	71.0	91	48
Jun-30-21	26.2	22.9	27.8	19	74	68.0	92	44
Jun-29-21	21.6	23.2	29.2	17	73	65.8	98	31
Jun-28-21	17.9	22.6	29.3	17	97	72.1	98	31
Jun-27-21	17.0	21.0	26.0	17	93	76.3	95	48
Jun-26-21	24.0	21.3	25.7	18	89	77.4	95	53
Jun-25-21	18.0	21.7	27.0	18	90	75.9	93	51
Jun-24-21	20.0	21.1	26.9	17	97	78.2	97	50
Jun-23-21	23.2	22.2	28.5	18	91	73.8	94	45
Jun-22-21	19.6	22.2	28.5	18	86	79.3	96	55
Jun-21-21	25.5	22.2	28.6	16	93	72.3	94	44
Jun-20-21	18.4	22.4	29.8	18	92	74.4	94	32

Nota: todos los datos son un promedio de cada día en 24 horas. [24], [23]

Anexo B 2. Temperatura y humedad relativa para la ciudad de Arauca.

Fecha	Temperatura (°C)				% Humedad relativa			
	Moda	Promedio	Max	Min	Moda	Promedio	Max	Min
Jul-20-21	23.3	26.9	31.7	23.0	100	87.3	100	67
Jul-19-21	30.6	25.8	31.1	21.8	100	89.1	100	65
Jul-18-21	24.4	26.3	33.0	22.8	100	91.8	100	64
Jul-17-21	22.8	27.1	32.4	22.7	100	88.5	100	68
Jul-16-21	23.3	25.7	31.8	23.1	100	94.0	100	73
Jul-15-21	23.4	25.7	31.8	23.1	100	95.2	100	74
Jul-14-21	23.9	26.0	31.3	22.9	100	89.6	100	62
Jul-13-21	24.1	25.2	30.2	21.5	100	92.4	100	69
Jul-12-21	23.8	25.1	30.0	22.8	100	96.6	100	79
Jul-11-21	24.8	25.9	30.5	23.2	100	93.1	100	76
Jul-10-21	24.1	26.0	31.3	23.8	100	94.5	100	77
Jul-09-21	24.6	25.7	28.9	23.6	100	95.2	100	83
Jul-08-21	31.3	27.1	32.0	22.6	100	88.0	100	68
Jul-07-21	23.4	25.5	31.8	22.1	100	92.7	100	62
Jul-06-21	22.8	24.9	30.2	22.1	100	93.0	100	62
Jul-05-21	31.5	27.0	32.4	23.0	100	86.7	100	62
Jul-04-21	23.6	25.8	30.3	23.5	100	91.8	100	75
Jul-03-21	28.4	25.4	29.0	21.9	100	89.8	100	74
Jul-02-21	22.6	24.0	28.0	21.7	100	90.9	100	77
Jul-01-21	23.0	25.3	29.3	22.5	100	89.8	100	73
Jun-30-21	23.7	23.8	26.0	22.6	100	99.3	100	92
Jun-29-21	23.6	26.4	32.0	22.5	100	91.3	100	69
Jun-28-21	22.6	26.3	33.0	22.3	100	91.2	100	68
Jun-27-21	22.3	24.9	29.1	22.0	100	94.3	100	81
Jun-26-21	23.6	25.5	32.1	22.4	100	93.3	100	70
Jun-25-21	24.7	26.6	32.5	24.2	100	93.8	100	69
Jun-24-21	23.8	27.2	32.9	23.3	100	87.6	100	64
Jun-23-21	31.8	27.5	32.5	23.1	100	85.1	100	61
Jun-22-21	23.7	27.5	32.5	23.0	100	91.5	100	72
Jun-21-21	22.4	26.3	33.0	22.4	100	91.5	100	63
Jun-20-21	24.4	24.4	28.0	22.3	100	98.4	100	91

Nota: todos los datos son un promedio de cada día en 24 horas. [24], [23]

Anexo B 3. Temperatura y humedad relativa para la ciudad de Buenaventura.

Fecha	Temperatura (°C)				% Humedad relativa			
	Moda	Promedio	Max	Min	Moda	Promedio	Max	Min
Jul-20-21	31.9	28.0	33.0	24.5	100	91.6	100	73
Jul-19-21	31.6	26.9	32.3	21.7	100	90.1	100	65
Jul-18-21	23.5	26.4	31.4	23.1	100	93.3	100	74
Jul-17-21	29.6	26.3	34.5	22.9	100	93.8	100	75
Jul-16-21	23.9	25.4	30.3	23.2	100	98.1	100	88
Jul-15-21	24.0	25.6	30.3	23.2	100	91.3	100	72
Jul-14-21	32.4	27.1	33.7	22.4	100	91.3	100	66
Jul-13-21	24.1	26.5	33.5	23.3	100	94.1	100	65
Jul-12-21	25.0	26.9	32.4	23.4	100	92.0	100	69
Jul-11-21	24.1	27.1	33.5	23.2	100	91.7	100	65
Jul-10-21	23.3	27.0	33.8	23.2	100	88.2	100	59
Jul-09-21	23.3	25.5	32.2	23.1	100	95.8	100	68
Jul-08-21	24.3	26.5	32.4	23.4	100	94.8	100	76
Jul-07-21	24.3	26.5	32.3	23.2	100	94.2	100	75
Jul-06-21	25.6	27.6	34.5	22.4	100	94.3	100	75
Jul-05-21	25.1	26.7	33.1	22.5	100	91.5	100	61
Jul-04-21	22.8	25.7	31.2	22.6	100	94.2	100	74
Jul-03-21	26.1	26.2	33.0	22.4	100	92.8	100	69
Jul-02-21	31.6	26.4	33.8	21.7	100	90.1	100	66
Jul-01-21	22.8	24.6	32.2	22.2	100	96.1	100	75
Jun-30-21	23.2	24.7	27.2	23.2	100	98.4	100	90
Jun-29-21	24.3	26.5	31.6	23.7	100	94.5	100	75
Jun-28-21	24.8	27.6	34.6	23.1	100	89.3	100	60
Jun-27-21	22.3	27.3	33.2	22.1	100	87.4	100	66
Jun-26-21	22.4	27.2	34.1	22.2	100	87.5	100	66
Jun-25-21	23.3	26.2	31.0	22.9	100	92.5	100	74
Jun-24-21	24.2	26.2	32.2	22.7	100	93.8	100	70
Jun-23-21	23.0	27.4	34.3	22.4	100	87.0	100	62
Jun-22-21	23.3	27.4	34.3	22.4	100	90.4	100	61
Jun-21-21	23.1	26.3	31.7	23.1	100	92.3	100	68
Jun-20-21	23.3	25.8	31.2	23.3	100	95.0	100	80

Nota: todos los datos son un promedio de cada día en 24 horas. [24], [23]

Anexo B 4. Temperatura y humedad relativa para la ciudad de Cartagena.

Fecha	Temperatura (°C)				% Humedad relativa			
	Moda	Promedio	Max	Min	Moda	Promedio	Max	Min
Jul-20-21	27.9	30.1	36.6	25.4	67	80.6	95	65
Jul-19-21	32.8	29.3	33.9	25.5	90	83.4	94	70
Jul-18-21	29.5	29.3	33.8	25.2	92	82.0	94	68
Jul-17-21	27.6	29.1	34.5	25.6	93	85.0	95	69
Jul-16-21	27.3	29.1	34.3	25.0	90	83.8	95	69
Jul-15-21	26.9	28.4	32.6	24.6	77	85.1	93	75
Jul-14-21	27.1	29.4	34.5	25.7	87	83.5	96	67
Jul-13-21	32.8	29.4	34.1	25.4	88	84.3	96	71
Jul-12-21	27.9	29.7	35.6	25.3	91	83.8	96	68
Jul-11-21	26.8	28.4	32.9	25.6	94	85.9	95	76
Jul-10-21	26.8	27.3	28.6	25.8	89	88.8	94	80
Jul-09-21	27.1	29.6	34.7	25.4	87	80.4	91	62
Jul-08-21	27.4	29.9	34.6	26.3	74	82.4	92	67
Jul-07-21	27.2	29.6	33.7	25.0	89	82.5	94	68
Jul-06-21	28.1	29.7	35.6	25.7	95	82.8	94	68
Jul-05-21	27.5	29.1	33.6	25.1	97	85.4	98	72
Jul-04-21	28.7	28.2	33.6	25.3	98	89.0	99	71
Jul-03-21	25.4	27.5	34.0	24.8	98	92.2	99	70
Jul-02-21	26.8	28.4	33.7	25.1	98	87.7	99	71
Jul-01-21	27.5	28.4	34.3	24.8	84	88.5	98	72
Jun-30-21	28.4	29.9	34.5	25.9	70	81.8	94	66
Jun-29-21	29.0	30.2	36.2	25.8	96	84.4	96	68
Jun-28-21	27.0	28.8	34.4	25.4	93	87.0	95	70
Jun-27-21	28.1	29.2	34.5	25.0	91	82.1	93	66
Jun-26-21	28.0	28.5	34.4	23.4	79	78.8	97	61
Jun-25-21	25.3	27.8	33.0	24.2	98	88.6	98	73
Jun-24-21	25.8	27.4	34.2	23.9	96	87.8	98	69
Jun-23-21	27.8	28.9	33.6	26.0	77	83.6	93	69
Jun-22-21	27.8	29.5	33.0	27.1	89	83.7	91	73
Jun-21-21	31.7	29.4	33.1	26.9	87	82.8	93	71
Jun-20-21	27.5	30.1	35.3	26.2	85	82.3	94	70

Nota: todos los datos son un promedio de cada día en 24 horas. [24], [23]

Anexo B 5. Temperatura y humedad relativa para la ciudad de Inírida.

Fecha	Temperatura (°C)				% Humedad relativa			
	Moda	Promedio	Max	Min	Moda	Promedio	Max	Min
Ago-14-21	26.7	24.7	26.7	22.9	100	96.2	100	81
Ago-13-21	23.2	26.7	33.5	23.2	100	86.0	100	53
Ago-12-21	32.7	27.5	32.7	23.4	100	87.0	100	56
Ago-11-21	21.7	25.3	34.0	21.7	100	90.8	100	70
Ago-10-21	33.9	29.8	33.9	23.7	100	82.4	100	49
Ago-08-21	24.6	24.4	25.5	23.4	100	98.0	100	87
Ago-07-21	24.8	27.8	32.1	23.5	100	86.1	100	57
Ago-06-21	31.4	26.8	31.4	23.0	100	86.4	100	59
Ago-05-21	25.8	24.9	28.8	23.0	100	91.0	100	69
Ago-04-21	26.5	24.7	26.5	22.7	100	95.6	100	81
Ago-03-21	23.0	25.2	28.4	23.0	100	94.2	100	72
Ago-02-21	23.0	25.7	31.2	23.0	100	86.1	100	55
Ago-01-21	23.2	24.9	28.5	23.1	100	90.0	100	68
Jul-31-21	26.8	25.6	27.3	22.5	98	87.3	100	69
Jul-30-21	28.6	25.6	29.3	22.5	100	87.6	98	69
Jul-29-21	31.8	29.8	34.0	24.0	100	80.8	100	46
Jul-28-21	30.6	25.8	30.6	22.6	100	89.6	100	67
Jul-27-21	23.3	24.2	27.7	21.7	100	95.9	100	77
Jul-26-21	31.6	26.3	31.6	22.3	100	87.9	100	60
Jul-25-21	23.2	28.1	32.9	23.2	100	84.8	100	58
Jul-24-21	26.7	25.0	27.0	23.2	100	97.1	100	84
Jul-23-21	24.1	25.6	29.8	24.1	100	94.7	100	71
Jul-22-21	23.9	26.7	31.8	23.9	100	90.3	100	63
Jul-21-21	28.0	26.2	28.0	23.9	100	93.1	100	71
Jul-20-21	26.2	27.2	31.2	23.4	100	89.7	100	67
Jul-19-21	31.5	28.0	32.7	23.0	100	86.8	100	57
Jul-18-21	30.9	27.0	31.8	22.7	100	90.2	100	65
Jul-17-21	23.1	27.1	31.8	22.7	100	86.3	100	57
Jul-16-21	23.6	24.7	27.4	23.5	100	93.1	100	69
Jul-15-21	25.5	26.9	30.9	23.2	100	89.5	100	57
Jul-14-21	24.9	24.9	29.1	22.3	100	94.2	100	71

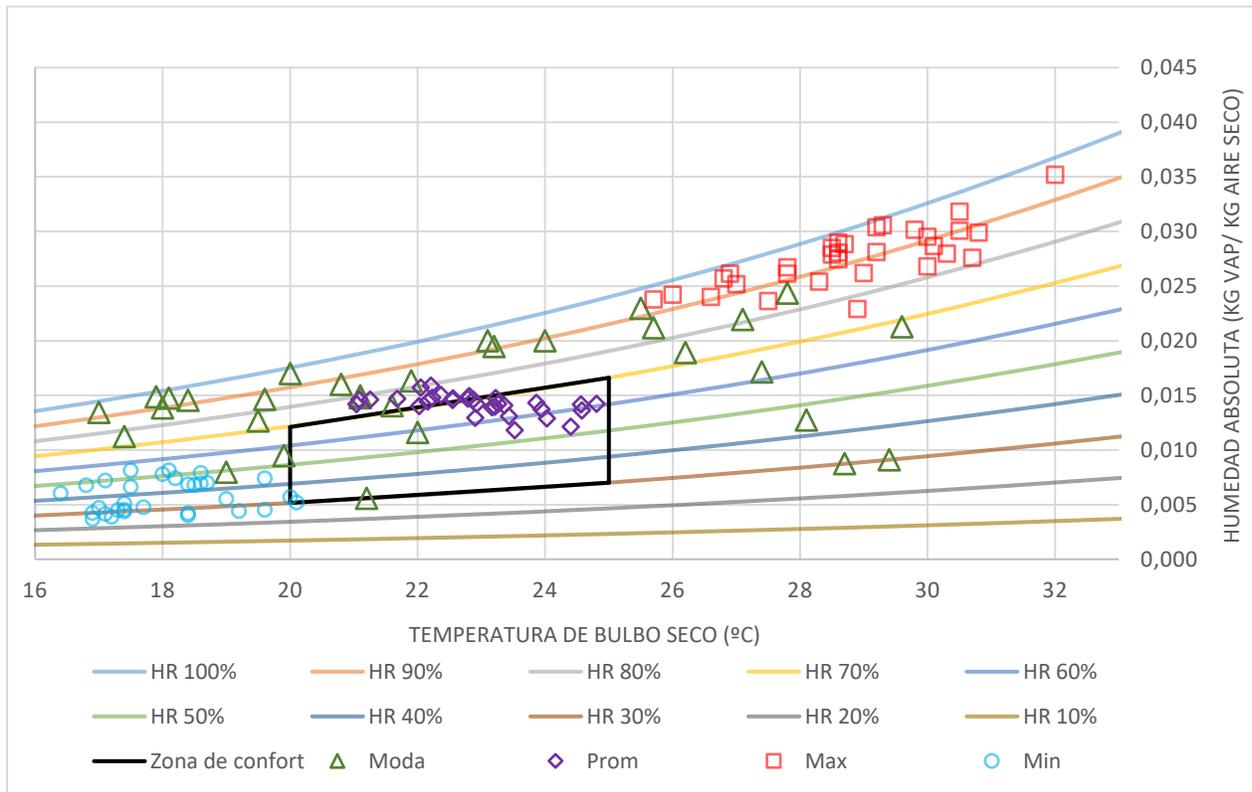
Nota: todos los datos son un promedio de cada día en 24 horas. [24], [23]

Anexo B 6. Temperatura y humedad relativa para la ciudad de San Andrés.

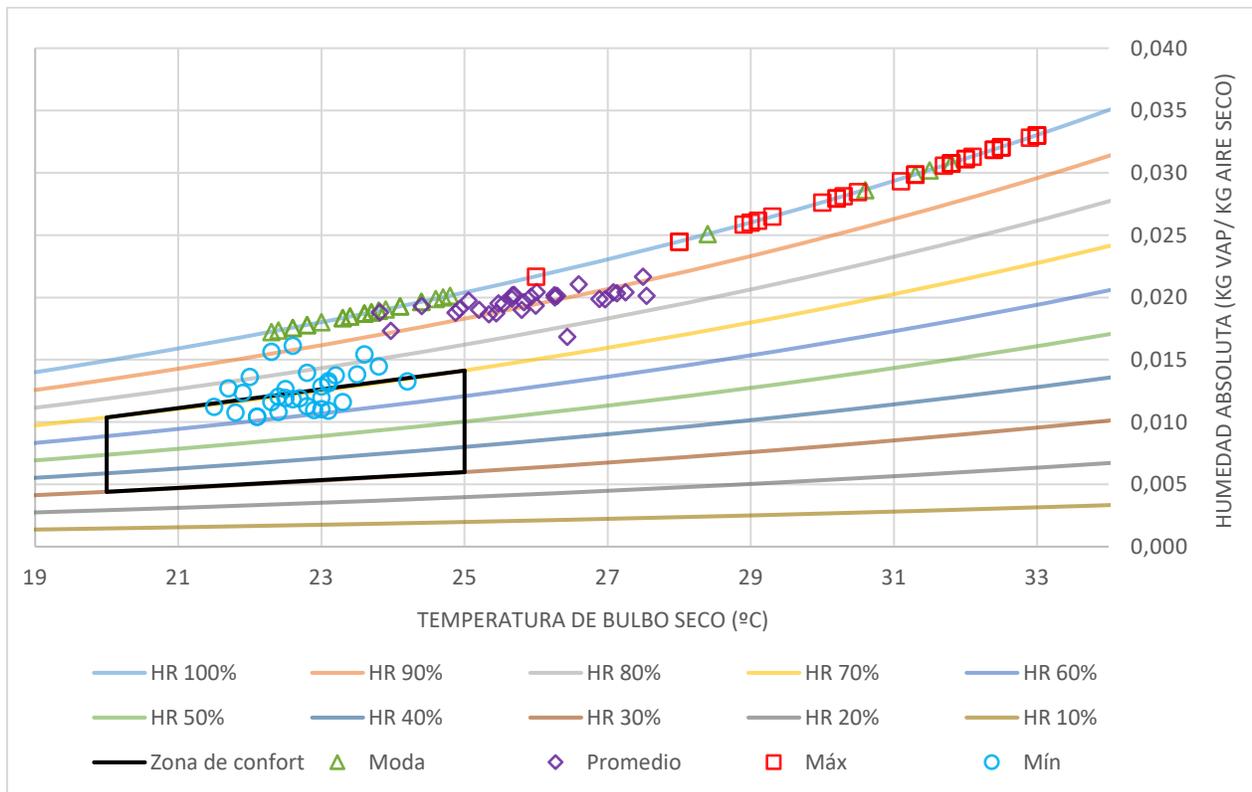
Fecha	Temperatura (°C)				% Humedad relativa			
	Moda	Promedio	Max	Min	Moda	Promedio	Max	Min
Ago-14-21	28.6	29.5	31.7	27.2	85	84.0	97	72
Ago-13-21	31.5	29.6	31.5	26.9	87	84.4	96	76
Ago-12-21	28.4	29.7	31.8	28.1	88	82.9	89	74
Ago-11-21	28.4	29.5	31.7	28.1	78	81.8	90	74
Ago-10-21	30.5	29.4	31.4	27.8	91	85.6	94	74
Ago-08-21	28.3	29.3	31.1	27.9	86	83.6	92	75
Ago-07-21	28.5	29.2	30.8	28.1	81	85.8	92	81
Ago-06-21	19.0	23.9	29.2	19.0	83	85.1	89	80
Ago-05-21	28.6	29.4	31.1	28.2	88	86.4	93	79
Ago-04-21	28.6	29.3	30.9	28.0	80	88.2	100	79
Ago-03-21	28.2	28.3	30.7	24.6	89	88.8	100	79
Ago-02-21	28.6	29.2	30.6	27.8	92	89.0	93	82
Ago-01-21	28.7	29.7	31.7	28.2	81	86.2	93	79
Jul-31-21	28.4	29.4	31.3	28.2	89	84.9	91	76
Jul-30-21	31.3	29.3	31.4	28.0	91	85.3	91	76
Jul-29-21	28.3	29.3	31.2	27.9	89	83.8	89	75
Jul-28-21	28.1	29.4	31.2	28.1	88	85.3	93	76
Jul-27-21	28.1	27.9	29.9	25.2	92	92.2	99	86
Jul-26-21	27.6	29.0	31.2	27.6	91	86.5	92	76
Jul-25-21	28.3	29.5	31.3	27.9	81	87.3	93	79
Jul-24-21	28.4	29.2	31.3	28.0	94	88.3	94	78
Jul-23-21	28.2	29.1	30.7	27.9	88	86.1	94	78
Jul-22-21	28.5	29.4	31.0	28.3	85	83.5	88	79
Jul-21-21	28.9	29.5	30.7	28.3	88	83.9	90	78
Jul-20-21	28.3	29.6	31.2	28.2	90	86.0	92	78
Jul-19-21	28.7	28.9	30.9	27.0	91	88.5	96	80
Jul-18-21	30.7	29.5	31.4	28.1	84	81.5	91	74
Jul-17-21	28.8	29.5	31.4	28.1	89	86.5	92	80
Jul-16-21	31.0	29.4	31.4	27.6	84	80.9	90	73
Jul-15-21	28.2	29.5	31.5	28.0	87	82.0	88	73
Jul-14-21	28.5	29.5	31.2	28.4	86	84.4	90	78

Nota: todos los datos son un promedio de cada día en 24 horas. [24], [23]

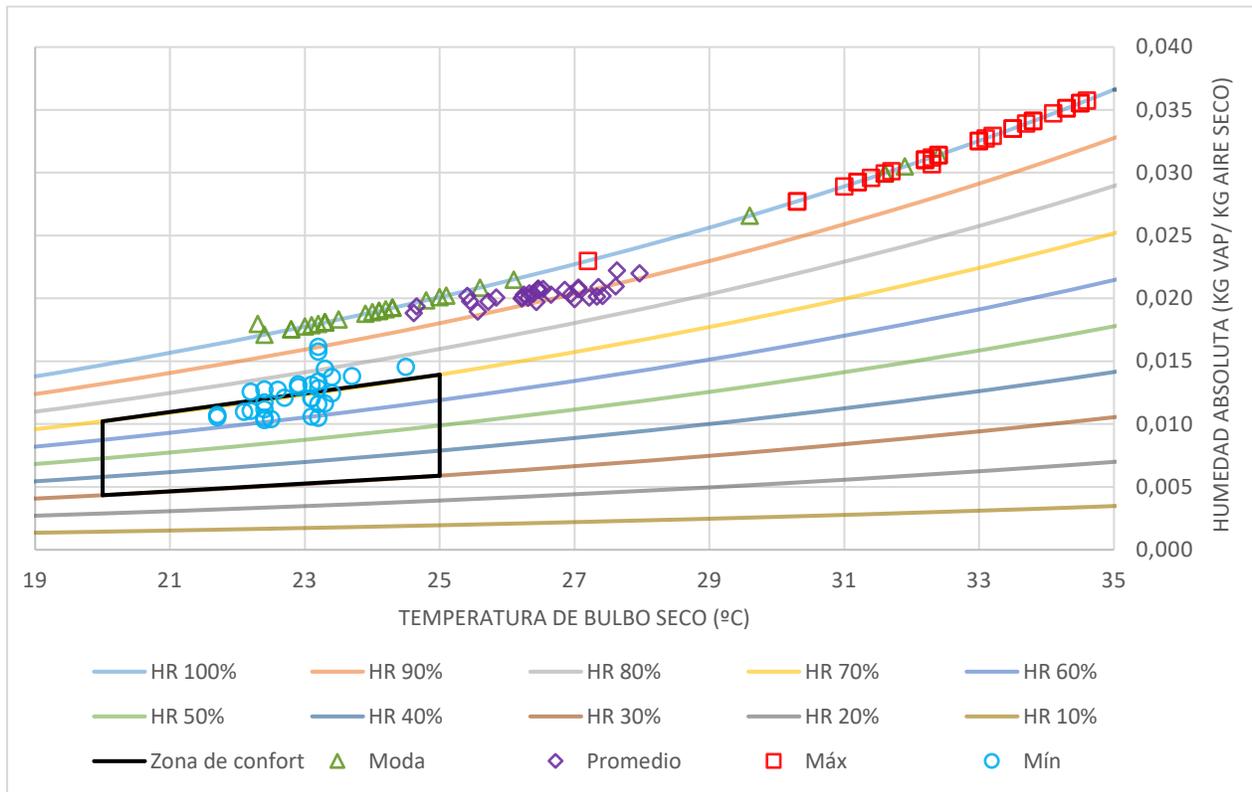
Anexo B 7. Carta psicrométrica, datos de dispersión y zona de confort para Medellín.



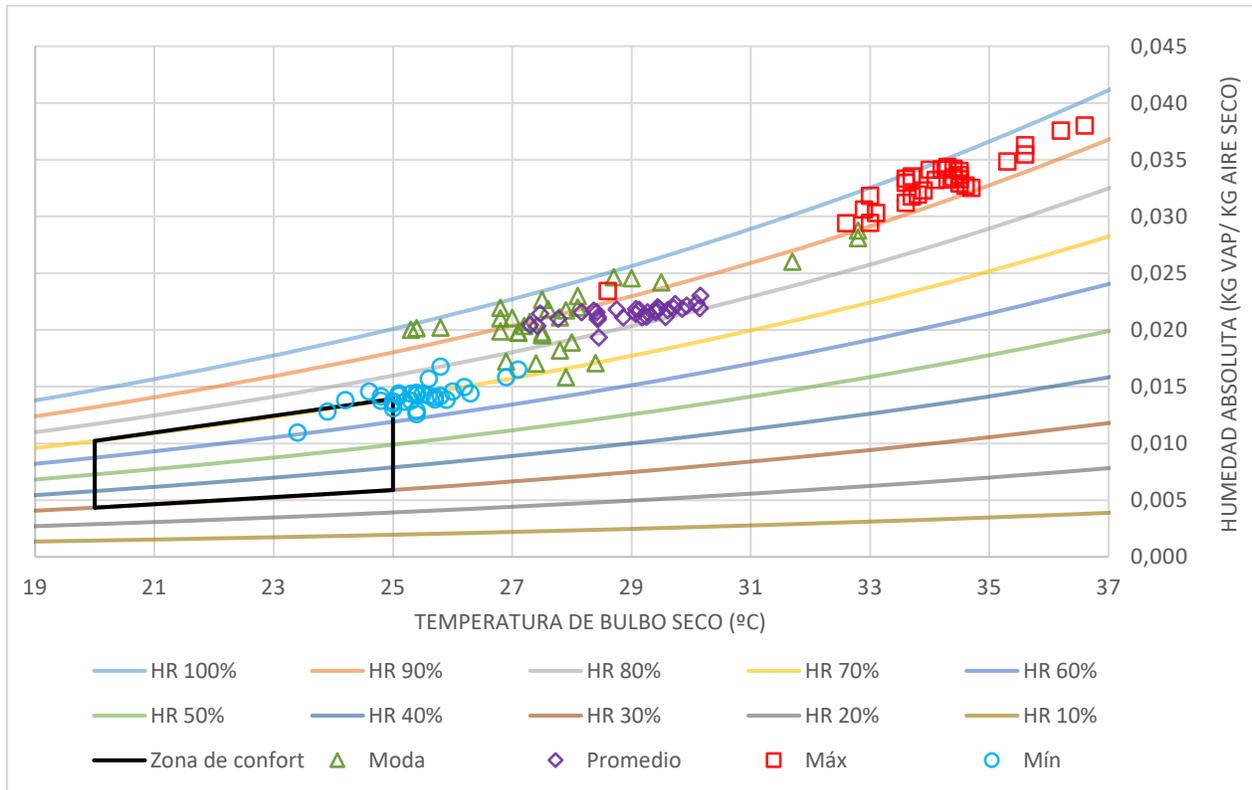
Anexo B 8. Carta psicrométrica, datos de dispersión y zona de confort para Arauca.



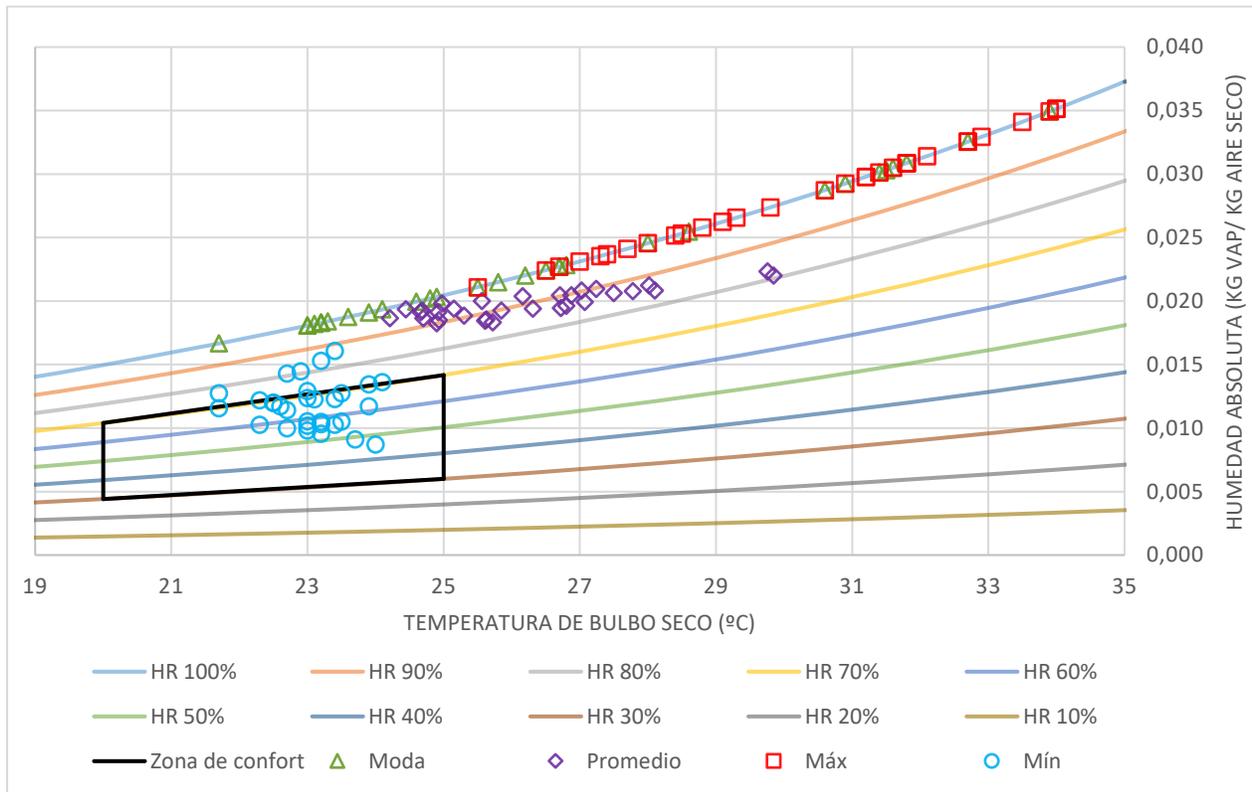
Anexo B 9. Carta psicrométrica, datos de dispersión y zona de confort para Buenaventura.



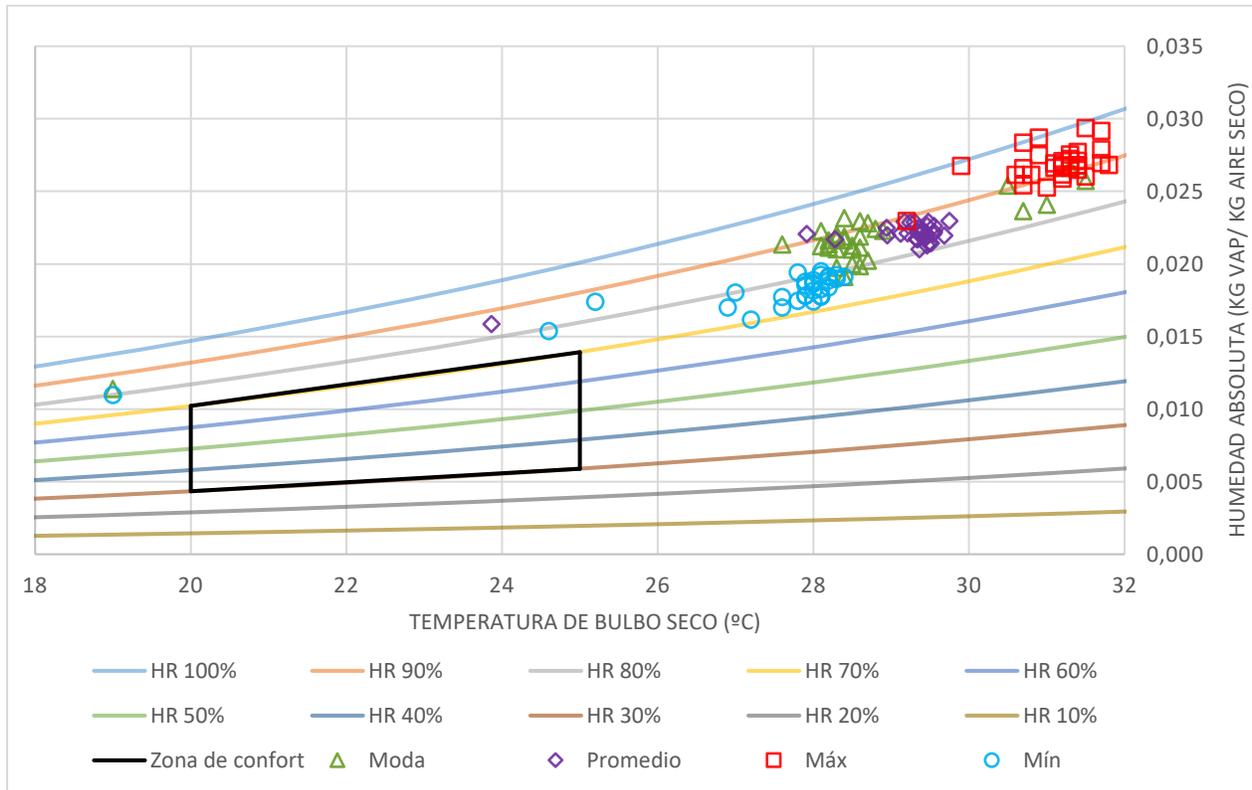
Anexo B 10. Carta psicrométrica, datos de dispersión y zona de confort para Cartagena.



Anexo B 11. Carta psicrométrica, datos de dispersión y zona de confort para Inírida.



Anexo B 12. Carta psicrométrica, datos de dispersión y zona de confort para San Andrés.



Anexo B 13. Datos de irradiación para la ciudad de Medellín.

Irradiación (W/m ²)					
Hora	Junio	Julio	Hora	Junio	Julio
0-1	0.2	0.3	12-13	658.7	683.3
1-2	0.1	0.2	13-14	609.2	633.9
2-3	0.1	0.2	14-15	502.6	526.8
3-4	0.1	0.1	15-16	350.5	377.6
4-5	0.0	0.0	16-17	196.4	207.2
5-6	0.4	0.3	17-18	51.2	60.3
6-7	43.8	38.2	18-19	1.7	2.8
7-8	166.4	159.3	19-20	0.5	0.8
8-9	337.7	331.2	20-21	0.3	0.6
9-10	487.8	492.6	21-22	0.3	0.5
10-11	567.4	612.3	22-23	0.3	0.4
11-12	617.1	647.3	23-0	0.2	0.4

Anexo B 14. Datos de irradiación para la ciudad de Arauca.

Irradiación (W/m ²)					
Hora	Junio	Julio	Hora	Junio	Julio
0-1	0.0	0.0	12-13	668.9	695.4
1-2	0.0	0.0	13-14	663.5	682.0
2-3	0.0	0.0	14-15	603.8	620.5
3-4	0.0	0.0	15-16	421.6	445.4
4-5	0.0	0.0	16-17	209.3	230.4
5-6	5.0	3.0	17-18	49.8	58.3
6-7	89.7	79.9	18-19	0.2	0.5
7-8	271.2	261.4	19-20	0.0	0.0
8-9	455.2	438.8	20-21	0.0	0.0
9-10	636.0	631.8	21-22	0.0	0.0
10-11	645.6	655.9	22-23	0.0	0.0
11-12	697.1	673.5	23-0	0.0	0.0

Anexo B 15. Datos de irradiación para la ciudad de Buenaventura.

Irradiación (W/m ²)					
Hora	Junio	Julio	Hora	Junio	Julio
0-1	0.3	0.2	12-13	620.9	677.6
1-2	0.3	0.3	13-14	554.3	607.0
2-3	0.3	0.3	14-15	434.1	465.8
3-4	0.4	0.4	15-16	314.9	339.9
4-5	0.4	0.4	16-17	172.4	207.5
5-6	0.7	0.5	17-18	52.8	70.5
6-7	35.2	29.8	18-19	1.3	2.3
7-8	138.0	141.1	19-20	0.0	-0.1
8-9	289.4	305.4	20-21	0.1	0.0
9-10	463.1	478.3	21-22	0.1	0.0
10-11	590.3	620.8	22-23	0.2	0.2
11-12	631.5	682.0	23-0	0.2	0.2

Anexo B 16. Datos de irradiación para la ciudad de Cartagena

Irradiación (W/m ²)					
Hora	Junio	Julio	Hora	Junio	Julio
0-1	0.0	0.0	12-13	787.8	857.5
1-2	0.0	0.0	13-14	773.6	774.9
2-3	0.0	0.0	14-15	652.4	663.3
3-4	0.0	0.0	15-16	411.3	446.6
4-5	0.0	0.0	16-17	219.1	261.2
5-6	2.9	1.1	17-18	70.5	94.2
6-7	83.9	92.2	18-19	3.6	5.8
7-8	258.1	213.8	19-20	0.0	0.0
8-9	493.8	443.0	20-21	0.0	0.0
9-10	706.8	701.2	21-22	0.0	0.0
10-11	758.4	846.5	22-23	0.0	0.0
11-12	746.7	896.0	23-0	0.0	0.0

Anexo B 17. Datos de irradiación para la ciudad de Inírida.

Irradiación (W/m ²)					
Hora	Junio	Julio	Hora	Junio	Julio
0-1	0	0	12-13	486.1	538.1
1-2	0	0	13-14	416.7	522.5
2-3	0	0	14-15	332.7	380.9
3-4	0	0	15-16	213	255.3
4-5	0	0	16-17	88.6	109.8
5-6	22.3	12.4	17-18	4.6	12.3
6-7	90	80.6	18-19	0.2	0.1
7-8	202.4	196.2	19-20	0	0
8-9	310.8	341	20-21	0	0
9-10	412.9	450.1	21-22	0	0
10-11	473.5	509	22-23	0	0
11-12	548.5	558.6	23-0	0	0

Anexo B 18. Datos de irradiación para la ciudad de San Andrés.

Irradiación (W/m ²)					
Hora	Junio	Julio	Hora	Junio	Julio
0-1	0	0	12-13	725.7	522.4
1-2	0	0.1	13-14	696.8	520.1
2-3	0	0.1	14-15	600.2	567.3
3-4	0	0	15-16	458.4	394
4-5	0	0.01	16-17	303.9	186.5
5-6	0.2	0.2	17-18	141.4	63
6-7	26.3	58.4	18-19	29.5	0
7-8	135.2	231	19-20	0.1	0.2
8-9	323.3	347.5	20-21	0	0.2
9-10	465.3	357.9	21-22	0	0
10-11	624.7	610.9	22-23	0.1	0.2
11-12	728.8	555.5	23-0	0.1	0

ANEXO C. Algoritmo y resultados método short-cut, resultados balances de energía, cargas del sistema de aire acondicionado por absorción y tradicional.

Anexo C 1 Algoritmo short-cut para el sistema de absorción.

El proceso iterativo para definir los flujos de salida del equipo y las condiciones de temperatura, presión y composición se basan en un método iterativo. Se comienza con la estimación del factor de absorción efectivo determinado en primer lugar el coeficiente de distribución (K_k) a una temperatura promedio entre la entrada del líquido y del gas [33].

$$A_{e,k} = \frac{L_0}{K_k V_{N+1}} \quad \text{Ecuación 57}$$

Posteriormente se define el número de etapas ideales del proceso [33].

$$N = \frac{\text{Log} \left[\frac{A_{e,k} - 1}{\phi_{AK}} + 1 \right]}{\text{Log} A_{e,k}} - 1 \quad \text{Ecuación 58}$$

Se estiman las fracciones de separación del gas a la salida (ϕ_{AJ}) y del líquido a la salida (ϕ_{SJ}) [33] calculando primero el coeficiente de distribución de los no claves (K_j) a una temperatura promedio entre la entrada de líquido y de gas.

$$\phi_{AJ} = \frac{[A_{eJ} - 1]}{[A_{eJ}^{N+1} - 1]} \quad \text{Ecuación 59}$$

$$\phi_{SJ} = \frac{[S_{eJ} - 1]}{[S_{eJ}^{N+1} - 1]} \quad \text{Ecuación 60}$$

Donde:

$$A_{eJ} = \frac{L_0}{K_j V_{N+1}} \quad \text{Ecuación 61}$$

$$S_{eJ} = \frac{1}{A_{eJ}} \quad \text{Ecuación 62}$$

Se estiman los flujos de cada componente en las corrientes de salida [33] de modo que:

a. Para compuestos que salen únicamente en la corriente líquida:

$$l_{NJ} = l_{0,j} \phi_{SJ} \quad \text{Ecuación 63}$$

$$v_{1J} = l_{0,j} (1 - \phi_{SJ}) \quad \text{Ecuación 64}$$

b. Para compuestos que salen únicamente en la corriente gaseosa:

$$l_{NJ} = v_{N+1,j} (1 - \phi_{AJ}) \quad \text{Ecuación 65}$$

$$v_{1J} = v_{N+1,j}\phi_{AJ} \quad \text{Ecuación 66}$$

c. Para compuestos que se distribuyen en las dos corrientes:

$$l_{NJ} = l_{0,j}\phi_{SJ} + v_{N+1,j}(1 - \phi_{AJ}) \quad \text{Ecuación 67}$$

$$v_{1J} = v_{N+1,j}\phi_{AJ} + l_{0,j}(1 - \phi_{SJ}) \quad \text{Ecuación 68}$$

Se estiman los flujos globales a la salida de los equipos [33].

$$V_1 = \sum_{n=1}^J v_{1J} \quad \text{Ecuación 69}$$

$$L_N = \sum_{n=1}^J l_{NJ} \quad \text{Ecuación 70}$$

Se calculan los flujos globales de las etapas extremas [33] basado en el número de etapas ideales calculadas.

$$V_2 = V_1 \left(\frac{V_{N+1}}{V_1} \right)^{1/N} \quad \text{Ecuación 71}$$

$$L_1 = L_0 + V_2 - V_1 \quad \text{Ecuación 72}$$

$$V_N = V_{N+1} \left(\frac{V_1}{V_{N+1}} \right)^{1/N} \quad \text{Ecuación 73}$$

Mediante el balance de energía de la torre adiabática se estiman las temperaturas extremas (T_N , T_1) a la salida como una solución simultánea de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{T_N - T_1}{T_N - T_0} = \frac{V_{N+1} - V_2}{V_{N+1} - V_1} \quad \text{Ecuación 74}$$

$$V_{N+1}H_{V_{N+1}} + L_0H_{L_0} = V_1H_{V_1} + L_NH_{L_N} \quad \text{Ecuación 75}$$

Donde las entalpías de cada corriente se calculan como:

$$H_G = \sum_{j=1}^n y_j C_{p_{j,G}}(T - T_{ref}) + y_j \lambda_{j,T_{ref}} \quad \text{Ecuación 76}$$

El calor de vaporización solo se toma en cuenta para compuestos que se absorben.

$$H_L = \sum_{j=1}^n x_j C_{p_{j,L}}(T - T_{ref}) - x_j \lambda_{j,T_{ref}} \quad \text{Ecuación 77}$$

El calor de vaporización solo se toma en cuenta para compuestos que se desorben.

Con las etapas extremas calculadas se recalcula el factor de absorción para el clave como:

$$A_{ek} = [A_{k,N}(A_{k,1} + 1) + 0.25]^{1/2} - 0.5 \quad \text{Ecuación 78}$$

$$S_{ek} = [S_{k,N}(S_{k,1} + 1) + 0.25]^{1/2} - 0.5 \quad \text{Ecuación 79}$$

Donde:

$$A_{k,N} = \frac{L_N}{K_k V_N} \quad \text{Ecuación 80}$$

$$S_{k,N} = \frac{1}{A_{k,N}} \quad \text{Ecuación 81}$$

Donde K_k es calculado a la temperatura extrema del líquido (T_N).

$$A_{k,1} = \frac{L_1}{K_k V_1} \quad \text{Ecuación 82}$$

$$S_{k,1} = \frac{1}{A_{k,1}} \quad \text{Ecuación 83}$$

Donde K_k es calculado a la temperatura extrema del vapor (T_I).

Se recalcula en número de etapas ideales basado en el factor de absorción recalculado con la Ecuación 58 y se recalcula el factor de absorción para los no claves.

$$A_{ej} = [A_{j,N}(A_{j,1} + 1) + 0.25]^{1/2} - 0.5 \quad \text{Ecuación 84}$$

$$S_{ej} = [S_{j,N}(S_{j,1} + 1) + 0.25]^{1/2} - 0.5 \quad \text{Ecuación 85}$$

Donde:

$$A_{j,N} = \frac{L_N}{K_j V_N} \quad \text{Ecuación 86}$$

$$S_{j,N} = \frac{1}{A_{j,N}} \quad \text{Ecuación 87}$$

Donde K_j es calculado a la temperatura extrema del líquido (T_N).

$$A_{j,1} = \frac{L_1}{K_j V_1} \quad \text{Ecuación 88}$$

$$S_{j,1} = \frac{1}{A_{j,1}} \quad \text{Ecuación 89}$$

Donde K_j es calculado a la temperatura extrema del vapor (T_I).

Se recalcula la separación de los componentes no claves con la Ecuación 59 y Ecuación 60 y se repinten los cálculos de forma iterativa partiendo del cálculo de los flujos a la salida desde la Ecuación 63 hasta que no se presenten diferencias significativas entre una iteración y otra en los flujos y las temperaturas de las etapas extremas.

Anexo C 2. Algoritmo short-cut para el sistema de desorción.

El proceso de balance de masa y energía es similar al proceso de absorción anteriormente descrito, pero cambiando algunos factores calculados. En primer lugar, se calcula el factor de desorción efectivo para el componente clave.

$$S_{e,k} = \frac{K_k V_{N+1}}{L_0} \quad \text{Ecuación 90}$$

El número de etapas ideales se calcula como

$$N = \frac{\text{Log} \left[\frac{S_{e,k} - 1}{\phi_{SK}} + 1 \right]}{\text{Log} S_{e,k}} - 1 \quad \text{Ecuación 91}$$

Se estiman las fracciones de separación del líquido y del gas a la salida, utilizando las mismas ecuaciones desde la Ecuación 59 hasta la Ecuación 62 calculando el coeficiente de distribución de los no claves a una temperatura promedio entre la entrada del gas y del líquido.

Luego se calculan los flujos de cada componente en las corrientes de salida utilizando las ecuaciones desde la Ecuación 63 hasta la Ecuación 68 y luego se estiman los flujos globales con la Ecuación 69 y con la Ecuación 70.

Se calculan los flujos globales de las etapas extremas basados en el número de etapas ideales calculadas.

$$L_{N-1} = L_N \left(\frac{L_0}{L_N} \right)^{1/N} \quad \text{Ecuación 92}$$

$$V_N = V_{N+1} + L_{N-1} - L_N \quad \text{Ecuación 93}$$

$$L_1 = L_0 \left(\frac{L_N}{L_0} \right)^{1/N} \quad \text{Ecuación 94}$$

Se estiman las temperaturas extremas en la salida mediante la solución simultánea del balance de energía de la torre adiabática (Ecuación 75) con la Ecuación 95:

$$\frac{T_0 - T_1}{T_0 - T_N} = \frac{L_0 - L_1}{L_0 - L_N} \quad \text{Ecuación 95}$$

Las entalpías se calculan con la Ecuación 76 y con la Ecuación 77. Luego, se calcula el factor de desorción con la Ecuación 78 hasta la Ecuación 83 y posteriormente se recalcula el número de etapas ideales utilizando la Ecuación 91 para luego ser recalculados los factores de absorción y desorción utilizando la Ecuación 84 hasta la Ecuación 89 y finalmente se repite el proceso de iteración descrito en la sección de absorción hasta que no se presenten diferencias significativas entre una iteración y otra en los flujos y temperaturas de las etapas extremas.

Anexo C 3. Resultado método short cut para el absorbedor.

Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$T_{op}, ^\circ C$	33	33.3	34.9	36.9	34.3	32.1
P_{op}, atm	0.8440	0.9879	1.0021	1.0024	0.9853	1.0024
Corriente entrada gaseosa (V_{N+1})						
$T_{N+1}, ^\circ C$	33	33.3	34.9	36.9	34.3	32.1
P_{N+1}, atm	0.8440	0.9879	1.0021	1.0024	0.9853	1.0024
$V_{N+1}, kmol/h$	16.2426	15.9858	15.8650	15.7155	15.9408	16.2581
$V_{N+1,H_2O}, kmol/h$	0.8877	0.8058	0.8620	0.9437	0.8522	0.7549
Corriente entrada líquido (L_0)						
$T_0, ^\circ C$	22	22	22	22	22	22
P_0, atm	0.8440	0.9879	1.0021	1.0024	0.9853	1.0024
$L_0, kmol/h$	233.9674	216.3267	242.5179	277.4749	235.3616	195.1579
$L_{0,H_2O}, kmol/h$	211.1147	195.1970	218.8300	250.3726	212.3728	176.0959
Corriente salida gaseosa (V_1)						
$T_1, ^\circ C$	22.66	22.70	22.73	22.74	22.72	22.69
$V_1, kmol/h$	15.4517	15.1743	14.9323	14.6324	15.0486	15.5327
$V_{1,H_2O}, kmol/h$	0.4533	0.3816	0.3693	0.3634	0.3797	0.3846
Corriente salida líquido (L_N)						
$T_N, ^\circ C$	23.34	23.43	23.47	23.51	23.46	23.39
$L_N, kmol/h$	234.7584	217.1381	243.4505	278.5580	236.2539	195.8833
$L_{N,H_2O}, kmol/h$	211.5491	195.6213	219.3227	250.9530	212.8452	176.4662

Anexo C 4. Resultados método Short-cut para el desorbedor.

Propiedad	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$T_{op}, ^\circ C$	52	52	52	54	52	52
P_{op}, atm	0.8440	0.9879	1.0021	1.0024	0.9853	1.0024
Corriente entrada gaseosa (V_{N+1})						
$T_{N+1}, ^\circ C$	33	33.3	34.9	36.9	34.3	32.1
P_{N+1}, atm	0.8440	0.9879	1.0021	1.0024	0.9853	1.0024
$V_{N+1}, kmol/h$	24.3298	23.5737	36.4021	38.6797	29.7614	17.2372
$V_{N+1,H_2O}, kmol/h$	1.3297	1.1883	1.9779	2.3228	1.5910	0.8004
Corriente entrada líquido (L_0)						
$T_0, ^\circ C$	52	52	52	54	52	52
P_0, atm	0.8440	0.9879	1.0021	1.0024	0.9853	1.0024
$L_0, kmol/h$	234.7584	217.1381	243.4505	278.5580	236.2539	195.8833
$L_{0,H_2O}, kmol/h$	211.5491	195.6213	219.3227	250.9530	212.8452	176.4662

Corriente salida gaseosa (V₁)						
$T_1, ^\circ\text{C}$	51.71	51.70	51.60	53.64	51.62	51.72
$V_1, \text{kmol/h}$	25.8889	25.1785	37.9783	40.5349	31.1904	18.2790
$V_{1,H_2O}, \text{kmol/h}$	2.5825	2.4723	3.1770	3.7435	2.6598	1.5374
Corriente salida líquido (L_N)						
$T_N, ^\circ\text{C}$	51.42	51.40	51.20	53.28	51.30	51.44
$L_N, \text{kmol/h}$	233.1993	215.5333	241.8743	276.7028	234.8249	194.8414
$L_{N,H_2O}, \text{kmol/h}$	210.2963	194.3373	218.1237	249.5322	211.7764	175.7292

Anexo C 5. Estimación de las condiciones del ventilador 1.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
T_1, R	549.27	551.07	553.95	557.55	552.87	548.91
T_2, R	549.71	551.45	554.32	557.92	553.25	549.28
P_1, psi	12.3755	14.4832	14.6921	14.6959	14.4446	14.6959
P_2, psi	12.4105	14.5182	14.7271	14.7309	14.4796	14.7309
C_G, gpm	2125.88	1793.65	1763.93	1758.18	1799.24	1790.77
$\text{SCFM}, \text{ft}^3_{\text{std}}/\text{min}$	226.1910	222.6163	220.9324	218.8520	221.9900	226.4082
$k=C_p/C_v$	1.3966	1.3972	1.3968	1.3963	1.3969	1.3976
a	0.2840	0.2843	0.2841	0.2838	0.2841	0.2845
THp, Hp	0.0432	0.0364	0.0358	0.0357	0.0365	0.0364

Anexo C 6. Estimación de las condiciones del ventilador 2.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
T_1, R	549.27	551.07	553.95	557.55	552.87	548.91
T_2, R	549.71	551.45	554.32	557.92	553.25	549.28
P_1, psi	12.3755	14.4832	14.6921	14.6959	14.4446	14.6959
P_2, psi	12.4105	14.5182	14.7271	14.7309	14.4796	14.7309
C_G, gpm	3184.38	2645.04	4047.35	4327.32	3359.16	1898.62
$\text{SCFM}, \text{ft}^3_{\text{std}}/\text{min}$	338.8139	328.2842	506.9315	538.6500	414.4517	240.0429
$k=C_p/C_v$	1.3966	1.3972	1.3968	1.3966	1.3969	1.3976
a	0.2840	0.2843	0.2841	0.2840	0.2841	0.2845
THp, Hp	0.0647	0.0537	0.0822	0.0879	0.0682	0.0386

Anexo C 7. Estimación de las condiciones de la bomba 1.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$T_1, ^\circ\text{C}$	23.34	23.43	23.47	23.51	23.46	23.39
$T_2, ^\circ\text{C}$	23.35	23.44	23.48	23.52	23.47	23.40
P_1, psi	12.4033	14.5181	14.7270	14.7312	14.4794	14.7311
P_2, psi	13.4033	15.5181	15.7270	15.7312	15.4794	15.7311
C_L, gpm	19.1195	17.7916	17.9497	22.8266	19.3579	16.0519

THp, Hp	0.0112	0.0104	0.0116	0.0133	0.0113	0.0094
---------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Anexo C 8. Estimación de las condiciones de la bomba 2.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
T ₁ , °C	51.42	51.40	51.20	53.28	51.30	51.44
T ₂ , °C	51.46	51.44	51.24	53.34	51.34	51.47
P ₁ , psi	12.4033	14.5181	14.7270	14.7312	14.4795	14.7312
P ₂ , psi	17.4033	19.5181	19.7270	19.7312	19.4795	19.7312
C _L , gpm	19.2044	17.7559	19.9192	22.8093	19.3391	16.0472
THp, Hp	0.0560	0.0518	0.0581	0.0665	0.0564	0.0468

Anexo C 9. Estimación de cargas térmicas en el colector.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
\dot{m}_L , kg/s	1.7643	1.6336	1.8315	2.0955	1.7773	1.4737
C _p , J/kg.K	1944.98	1943.66	1943.42	1943.59	1943.42	1943.06
T ₁ , °C	23.35	23.44	23.48	23.52	23.47	23.40
T ₂ , °C	52	52	52	54	52	52
\dot{Q} , kW	98.30	90.69	101.49	124.13	98.56	81.89

Anexo C 10. Estimación de cargas térmicas en el enfriador.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
\dot{m}_L , kg/s	1.7563	1.6245	1.8223	2.0848	1.7690	1.4675
C _p , J/kg.K	2026.45	2025.49	2026.25	2034.31	2027.17	2028.60
T ₁ , °C	51.46	51.44	51.24	53.34	51.34	51.47
T ₂ , °C	22	22	22	22	22	22
\dot{Q} , kW	-104.91	-96.88	-107.98	-132.91	-105.23	-87.74

Anexo C 11. Resultados de la simulación para el ventilador 1.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
V _{ambiente} , kmol/h	16.2425	15.9858	15.865	15.7155	15.9408	16.2581
P ₁ , psi	12.3755	14.4832	14.6921	14.6959	14.4446	14.6959
ΔP, psi	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
P ₂ , psi	12.4105	14.5182	14.7271	14.7309	14.4796	14.7309
T ₁ , °C	32	33	34.6	36.6	34	31.8
T ₂ , °C	32.2973	33.2550	34.8525	36.8539	34.2564	32.0505
THp, W	32.3306	27.2818	26.8302	26.7427	27.3667	27.2384
η	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
\dot{W}_{neta} , W	39.4275	33.2705	32.7198	32.613	33.374	33.2175

Anexo C 12. Resultados de la simulación para el ventilador 2.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$V_{\text{ambiente}}, \text{ kmol/h}$	24.3298	23.5737	36.4021	38.6797	29.7614	17.2372
$P_1, \text{ psi}$	12.3755	14.4832	14.6921	14.6959	14.4446	14.6959
$\Delta P, \text{ psi}$	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
$P_2, \text{ psi}$	12.4105	14.5182	14.7271	14.7309	14.4796	14.7309
$T_1, \text{ }^\circ\text{C}$	32	33	34.6	36.6	34	31.8
$T_2, \text{ }^\circ\text{C}$	32.2973	33.255	34.8525	36.8539	34.2564	32.0505
THp, W	48.4283	40.2315	61.5617	65.8202	51.0934	28.8787
η	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
$\dot{W}_{\text{neto}}, \text{ W}$	59.0589	49.0628	75.0752	80.2685	62.309	35.2179

Anexo C 13. Resultados de la simulación para la bomba 1.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$C_L, \text{ gpm}$	19.1454	17.7085	19.8527	22.7136	19.2664	15.9764
$P_1, \text{ psi}$	12.4034	14.5181	14.7268	14.7312	14.4799	14.7312
$\Delta P, \text{ psi}$	1	1	1	1	1	1
$P_2, \text{ psi}$	13.4034	15.5181	15.7268	15.7312	15.4799	15.7312
$T_1, \text{ }^\circ\text{C}$	24.4772	24.5565	24.5523	24.5513	24.5553	24.5589
$T_2, \text{ }^\circ\text{C}$	24.4772	24.5565	24.5523	24.5513	24.5553	24.5589
THp, W	8.3281	7.7030	8.6358	9.8802	8.3807	6.9496
η	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
$\dot{W}_{\text{neto}}, \text{ W}$	11.1041	10.2707	11.5144	13.1736	11.1743	9.2661

Anexo C 14. Resultados de la simulación para la bomba 2.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
$C_L, \text{ gpm}$	19.2503	17.8162	19.9706	22.8677	19.3833	16.0775
$P_1, \text{ psi}$	12.4034	14.5181	14.7268	14.7312	14.4799	14.7312
$\Delta P, \text{ psi}$	5	5	5	5	5	5
$P_2, \text{ psi}$	17.4034	19.5181	19.7268	19.7312	19.4799	19.07312
$T_1, \text{ }^\circ\text{C}$	48.7014	50.4938	50.1344	51.9822	50.4324	51.1258
$T_2, \text{ }^\circ\text{C}$	48.7093	50.5018	50.1424	51.9902	50.4404	51.1337
THp, W	41.8685	38.7495	43.4352	49.7374	42.1579	34.9680
η	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
$\dot{W}_{\text{neto}}, \text{ W}$	55.8247	51.6660	57.9136	66.3165	56.2105	46.6240

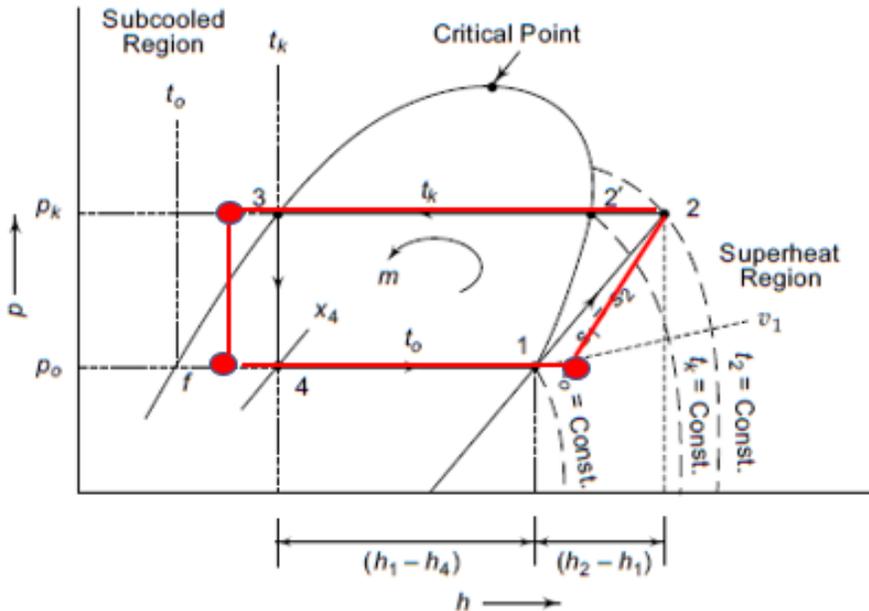
Anexo C 15. Resultados de la simulación para el colector.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
\dot{m} , kg/s	1.76484	1.63193	1.8295	2.09318	1.77551	1.47226
P_1 , psi	13.4034	15.5181	15.7268	15.7312	15.4799	15.7312
ΔP , psi	1	1	1	1	1	1
P_2 , psi	12.4034	14.5181	14.7268	14.7312	14.4799	14.7312
T_1 , °C	24.4772	24.5565	24.5523	24.5513	24.5553	24.5589
T_2 , °C	51.63	53.52	53.39	55.12	53.55	54.04
\dot{Q}_{neta} , kW	95.2966	94.1578	105.0835	127.6445	102.5544	86.5041

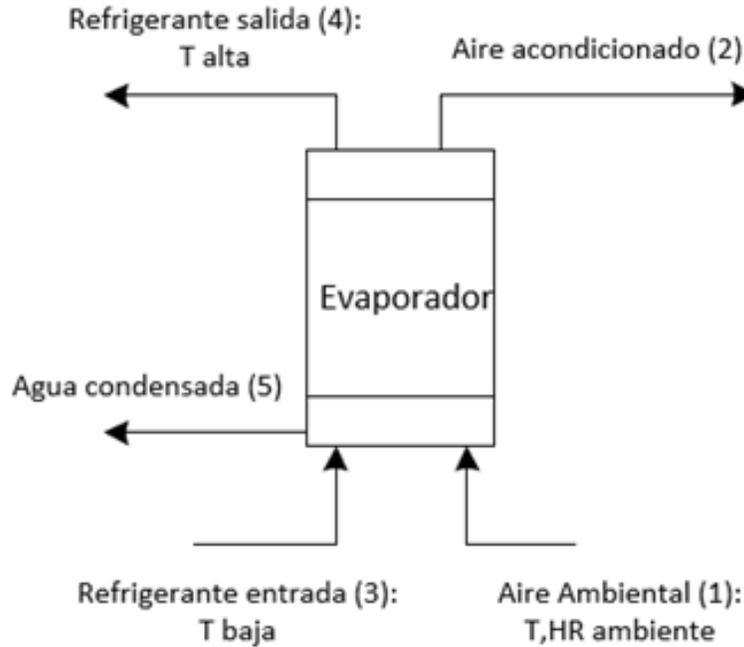
Anexo C 16. Resultados de la simulación para el enfriador.

Propiedades	Medellín	Arauca	Buenaventura	Cartagena	Inírida	San Andrés
\dot{m} , kg/s	1.76153	1.62877	1.82599	2.08916	1.77209	1.46939
P_1 , psi	17.4034	19.5181	19.7268	19.7312	19.4799	19.7312
ΔP , psi	5	5	5	5	5	5
P_2 , psi	12.4034	14.5181	14.7268	14.7312	14.4799	14.7312
T_1 , °C	48.7093	50.5018	50.1424	51.9902	50.4404	51.1337
T_2 , °C	22	22	22	22	22	22
\dot{Q}_{neta} , kW	92.9919	91.8864	101.6819	124.1707	99.7512	84.7776

Anexo C 17 Ciclo de refrigeración del sistema de aire acondicionado tradicional.



Anexo C 18. Esquema del evaporador del sistema de aire acondicionado tradicional.



Anexo C 19. Condiciones de entrada al evaporador del sistema de aire acondicionado tradicional para Medellín.

Propiedad	Corriente 1	Corriente 2
Flujo aire seco, kg/h	444.8335	444.8335
Temperatura de bulbo seco, °C	32	23
Humedad relativa, %	98	60
Presión, mmHg	640	640
Temperatura de bulbo húmedo, °C	31.7	17.4
Temperatura de rocío, °C	31.6	14.9
Entalpía, kJ/kg.aireseco	124.21	55.02
HA, kg.vapor/kg.aireseco	0.0360	0.0125
Volumen húmedo, m ³ /kg.aireseco	1.086	1.016
flujo aire húmedo kg/h	460.8297	450.41171
Agua condensada		
Flujo de agua, kg/h	10.4180	
Capacidad calorífica del agua, kJ/kg.K	4.1834	
Entalpía de condensado, kJ/kg	133.8676	
Balance de energía en el evaporador		
Calor, kJ/h	29383.3969	

Anexo C 20. Resultados de las condiciones de operación del sistema de aire acondicionado tradicional, Medellín.

Balance de energía evaporador del ciclo			
Refrigerante	R134a	R12	R22
Tin.sat, °C (T ₄)	5	5	5
Tout, °C (T ₁ = Tsc a P ₅ °C)	10	10	10
Pin.sat, kPa (P ₀)	350.9	362.6	583.8
Hin kJ/kg, (H ₄ =H ₃)	249.1	69.55	87.7
Hg=Hout, kJ/kg (H ₁)	405.89	192.94	255.43
Sout, kJ/kg. K (S ₁)	1.741	0.70655	0.9332
q, kJ/kg	156.79	123.39	167.73
m, kg/h	187.41	238.13	175.18
Balance de energía compresor del ciclo			
Refrigerante	R134a	R12	R22
Tin.sat, °C (T ₁)	10	10	10
Pin.sat, kPa (P ₀)	350.9	362.6	583.8
Hg=Hin, kJ/kg (H ₁)	405.89	192.94	255.43
Sin, kJ/kg.K (S ₁ =S ₂)	1.741	0.70655	0.9332
T ₂ 'sat, °C	40	40	40
Pout, kPa (Pk)	1017.0	960.7	1533.5
H ₂ ', kJ/kg	419.82	203.20	261.15
Tout, °C (T ₂)	48.5	49.78	61.36
Hout, kJ/kg (H ₂)	429.068	210.76	280.31
w, kJ/kg	23.18	17.82	24.88
Ws, kJ/h	4343.698	4243.554	4358.546
Ws, kJ/s (kW)	1.207	1.179	1.211
Eficiencia	0.75	0.75	0.75
Pot, kW	1.6088	1.5717	1.6143
Balance de energía condensador del ciclo			
Refrigerante	R134a	R12	R22
Tin, °C (T ₂)	48.5	49.78	61.36
Pin, kPa (Pk)	1017.0	960.7	1533.5
Hin, kJ/kg	429.068	210.76	280.31
Pout, kPa	1017.0	960.7	1533.5
H.out, kJ/kg (H ₃ =H ₄)	249.1	69.55	87.7
Tout, °C	35	35	35
q, kJ/kg	-179.968	-141.21	-192.61
Qenfriador, kJ/h	33727.095	33626.951	33741.943
Qenfriador, kJ/s (kW)	9.3686	9.341	9.373

Balance de energía válvula del ciclo			
Refrigerante	R134a	R12	R22
Tin, °C	35	35	35
Pin, kPa	1017.0	960.7	1533.5
Hin=Hout, kJ/kg (H ₄)	249.1	69.55	87.7
Pout, kPa	350.9	362.6	583.8
Tout, °C	5	5	5
Hf kJ/kg, (Hf ₄)	206.75	40.69	50.49
Calidad, (x ₄)	0.2127	0.1896	0.1816

Anexo C 21. Condiciones de entrada al evaporador del sistema de aire acondicionado tradicional para Arauca.

Propiedad	Corriente 1	Corriente 2
Flujo aire seco, kg/h	439.7661	439.7661
Temperatura de bulbo seco, °C	33	23
Humedad relativa, %	100	60
Presión, mmHg	749	749
Temperatura de bulbo húmedo, °C	33	17.7
Temperatura de rocío, °C	33	14.9
Entalpía, kJ/kg.aireseco	117.76	50.3
HA, kg.vapor/kg.aireseco	0.03302	0.01068
Volumen húmedo, m ³ /kg.aireseco	0.927	0.866
flujo aire húmedo kg/h	454.2872	444.4628
Agua condensada		
Flujo de agua, kg/h	9.8244	
Capacidad calorífica del agua, kJ/kg.K	4.1834	
Entalpía de condensado, kJ/kg	138.0510	
Balance de energía en el evaporador		
Calor, kJ/h	28310.3565	

Anexo C 22. Resultados de las condiciones de operación del sistema de aire acondicionado tradicional, Arauca.

Balance de energía evaporador del ciclo			
Refrigerante	R134a	R12	R22
Tin.sat, °C (T ₄)	5	5	5
Tout, °C (T ₁ = Tsc a P ₅ °C)	10	10	10
Pin.sat, kPa (P ₀)	350.9	362.6	583.8
Hin kJ/kg, (H ₄ =H ₃)	249.1	69.55	87.7
Hg=Hout, kJ/kg (H ₁)	405.89	192.94	255.43
Sout, kJ/kg.K (S ₁)	1.741	0.70655	0.9332
q, kJ/kg	156.79	123.39	167.73
m, kg/h	180.56	229.44	168.79

Balance de energía compresor del ciclo			
Refrigerante	R134a	R12	R22
Tin.sat, °C (T ₁)	10	10	10
Pin.sat, kPa (P ₀)	350.9	362.6	583.8
Hg=Hin, kJ/kg (H ₁)	405.89	192.94	255.43
Sin, kJ/kg.K (S ₁ =S ₂)	1.741	0.70655	0.9332
T ₂ 'sat, °C	40	40	40
Pout, kPa (P _k)	1017.0	960.7	1533.5
H ₂ ', kJ/kg	419.82	203.20	261.15
Tout, °C (T ₂)	48.5	49.78	61.36
Hout, kJ/kg (H ₂)	429.068	210.76	280.31
w, kJ/kg	23.18	17.82	24.88
Ws, kJ/h	4185.072	4088.585	4199.378
Ws, kJ/s (kW)	1.163	1.136	1.166
Eficiencia	0.75	0.75	0.75
Pot, kW	1.5500	1.5143	1.5553
Balance de energía condensador del ciclo			
Refrigerante	R134a	R12	R22
Tin, °C (T ₂)	48.5	49.78	61.36
Pin, kPa (P _k)	1017.0	960.7	1533.5
Hin, kJ/kg	429.068	210.76	280.31
Pout, kPa	1017.0	960.7	1533.5
H.out, kJ/kg (H ₃ =H ₄)	249.1	69.55	87.7
Tout, °C	35	35	35
q, kJ/kg	-179.968	-141.21	-192.61
Qenfriador, kJ/h	32495.429	32398.942	32509.735
Qenfriador, kJ/s (kW)	9.0265	8.9997	9.030
Balance de energía válvula del ciclo			
Refrigerante	R134a	R12	R22
Tin, °C	35	35	35
Pin, kPa	1017.0	960.7	1533.5
Hin=Hout, kJ/kg (H ₄)	249.1	69.55	87.7
Pout, kPa	350.9	362.6	583.8
Tout, °C	5	5	5
Hf kJ/kg, (Hf ₄)	206.75	40.69	50.49
Calidad, (x ₄)	0.2127	0.1896	0.1816

Anexo C 23. Condiciones de entrada al evaporador del sistema de aire acondicionado tradicional para Buenaventura.

Propiedad	Corriente 1	Corriente 2
Flujo aire seco, kg/h	434.6371	434.6371
Temperatura de bulbo seco, °C	34.6	23
Humedad relativa, %	100	60
Presión, mmHg	759.8	759.8
Temperatura de bulbo húmedo, °C	34.6	17.7
Temperatura de rocío, °C	34.6	14.9
Entalpía, kJ/kg.aireseco	126.43	49.91
HA, kg.vapor/kg.aireseco	0.03574	0.01053
Volumen húmedo, m ³ /kg.aireseco	0.922	0.854
flujo aire húmedo kg/h	450.1710	439.2138
Agua condensada		
Flujo de agua, kg/h	10.9572	
Capacidad calorífica del agua, kJ/kg.K	4.1834	
Entalpía de condensado, kJ/kg	144.7444	
Balance de energía en el evaporador		
Calor, kJ/h	31672.4378	

Anexo C 24. Resultados de las condiciones de operación del sistema de aire acondicionado tradicional, Buenaventura.

Balance de energía evaporador del ciclo			
Refrigerante	R134a	R12	R22
Tin.sat, °C (T ₄)	5	5	5
Tout, °C (T ₁ = Tsc a P ₅ °C)	10	10	10
Pin.sat, kPa (P ₀)	350.9	362.6	583.8
Hin kJ/kg, (H ₄ =H ₃)	249.1	69.55	87.7
Hg=Hout, kJ/kg (H ₁)	405.89	192.94	255.43
Sout, kJ/kg.K (S ₁)	1.741	0.70655	0.9332
q, kJ/kg	156.79	123.39	167.73
m, kg/h	202.01	256.69	188.83
Balance de energía compresor del ciclo			
Refrigerante	R134a	R12	R22
Tin.sat, °C (T ₁)	10	10	10
Pin.sat, kPa (P ₀)	350.9	362.6	583.8
Hg=Hin, kJ/kg (H ₁)	405.89	192.94	255.43
Sin, kJ/kg.K (S ₁ =S ₂)	1.741	0.70655	0.9332
T ₂ 'sat, °C	40	40	40
Pout, kPa (P _k)	1017.0	960.7	1533.5
H ₂ ', kJ/kg	419.82	203.20	261.15
Tout, °C (T ₂)	48.5	49.78	61.36

Hout, kJ/kg (H ₂)	429.068	210.76	280.31
w, kJ/kg	23.18	17.82	24.88
Ws, kJ/h	4682.083	4574.138	4698.088
Ws, kJ/s (kW)	1.301	1.271	1.305
Eficiencia	0.75	0.75	0.75
Pot, kW	1.7341	1.6941	1.7400
Balance de energía condensador del ciclo			
Refrigerante	R134a	R12	R22
Tin, °C (T ₂)	48.5	49.78	61.36
Pin, kPa (Pk)	1017.0	960.7	1533.5
Hin, kJ/kg	429.068	210.76	280.31
Pout, kPa	1017.0	960.7	1533.5
H.out, kJ/kg (H ₃ =H ₄)	249.1	69.55	87.7
Tout, °C	35	35	35
q, kJ/kg	-179.968	-141.21	-192.61
Qenfriador, kJ/h	36354.521	36246.575	36370.525
Qenfriador, kJ/s (kW)	10.0985	10.068	10.103
Balance de energía válvula del ciclo			
Refrigerante	R134a	R12	R22
Tin, °C	35	35	35
Pin, kPa	1017.0	960.7	1533.5
Hin=Hout, kJ/kg (H ₄)	249.1	69.55	87.7
Pout, kPa	350.9	362.6	583.8
Tout, °C	5	5	5
Hf kJ/kg, (Hf ₄)	206.75	40.69	50.49
Calidad, (x ₄)	0.2127	0.1896	0.1816

ANEXO D. Validación del modelo termodinámico

Anexo D 1. Herramienta de Análisis de mezcla en el software Aspen Plus ®.

The screenshot shows the Aspen Plus interface for a mixture analysis. The window title is "MIX-1 (MIXTURE)". The interface is divided into several sections:

- Selected composition and properties to report:**
 - Composition:** Basis is "Mass", units are "kg/hr". A table shows components H2O (Flow: 60, Fraction: 0,6) and CaCl2 (Flow: 40, Fraction: 0,4). Total flow is 100.
 - Properties to Report:** Available properties include CP and PVAP. Selected properties are RHOMIX and TEBULL.
- Selected manipulated and parametric variables:**
 - Manipulated variable:** Temperature, with "List of values" selected. Values range from 20 to 42 C.
 - Parametric Variable:** Pressure, units "mmHg", with a value of 760.
 - Fixed State Variable:** Temperature, units "C".

Anexo D 2. Ejemplo de resultados de la simulación para CaCl₂ 40% en peso.

The screenshot shows the Aspen Plus interface for a mixture analysis, displaying simulation results. The window title is "MIX-1 (MIXTURE)". The "Results" tab is active, showing a table of simulation data. The table has four columns: PRES (Pressure), TEMP (Temperature), LIQUID RHOMX (Liquid Density), and TOTAL TBUB (Total Bubble Point). The units for each column are: PRES (bar), TEMP (C), LIQUID RHOMX (lb/gal), and TOTAL TBUB (C). The data is as follows:

	PRES bar	TEMP C	LIQUID RHOMX lb/gal	TOTAL TBUB C
	1,01325	0	12,2511	118,647
	1,01325	10	12,2507	118,647
	1,01325	15	12,2436	118,647
	1,01325	20	12,2326	118,647
	1,01325	25	12,2184	118,647
	1,01325	30	12,2012	118,647
	1,01325	35	12,1812	118,647
	1,01325	40	12,1587	118,647
	1,01325	41	12,154	118,647
	1,01325	42	12,1491	118,647

Anexo D 3. Comparación de densidad experimental [20] y simulada para la validación del modelo termodinámico.

Densidad en función de la temperatura y %CaCl₂ (lb/gal)									
Temperatura (°F)									
%CaCl₂	10°			20°			40°		
	Exp	Sim	Error	Exp	Sim	Error	Exp	Sim	Error
10	–	9.08	–	–	9.08	–	9.16	9.1	0.8%
15	–	9.50	–	9.63	9.50	1.4%	9.57	9.5	0.7%
20	10.07	9.95	1.2%	10.04	9.95	0.9%	9.98	10.0	0.2%
25	10.49	10.44	0.5%	10.46	10.45	0.1%	10.4	10.45	0.5%
30	10.98	10.98	0.0%	10.95	10.99	0.3%	10.89	11.00	1.0%
35	–	12.38	–	–	11.58	–	11.38	11.59	1.9%
40	–	12.24	–	–	12.24	–	–	12.25	–
41	–	12.38	–	–	12.38	–	–	12.39	–
42	–	12.52	–	–	12.53	–	–	12.54	–
%CaCl₂	60°			80°			100°		
	Exp	Sim	Error	Exp	Sim	Error	Exp	Sim	Error
10	9.11	9.082	0.3%	9.05	9.06	0.1%	9	9.027	0.3%
15	9.52	9.499	0.2%	9.46	9.476	0.2%	9.41	9.441	0.3%
20	9.93	9.951	0.2%	9.87	9.927	0.6%	9.82	9.891	0.7%
25	10.35	10.45	0.9%	10.29	10.42	1.3%	10.24	10.38	1.4%
30	10.84	10.99	1.4%	10.78	10.96	1.7%	10.73	10.92	1.8%
35	11.33	11.58	2.2%	11.27	11.56	2.5%	11.22	11.51	2.6%
40	–	12.24	–	11.76	12.21	3.9%	11.71	12.17	3.9%
41	–	12.38	–	11.86	12.35	4.2%	11.81	12.31	4.2%
42	–	12.53	–	11.95	12.5	4.6%	11.9	12.45	4.6%

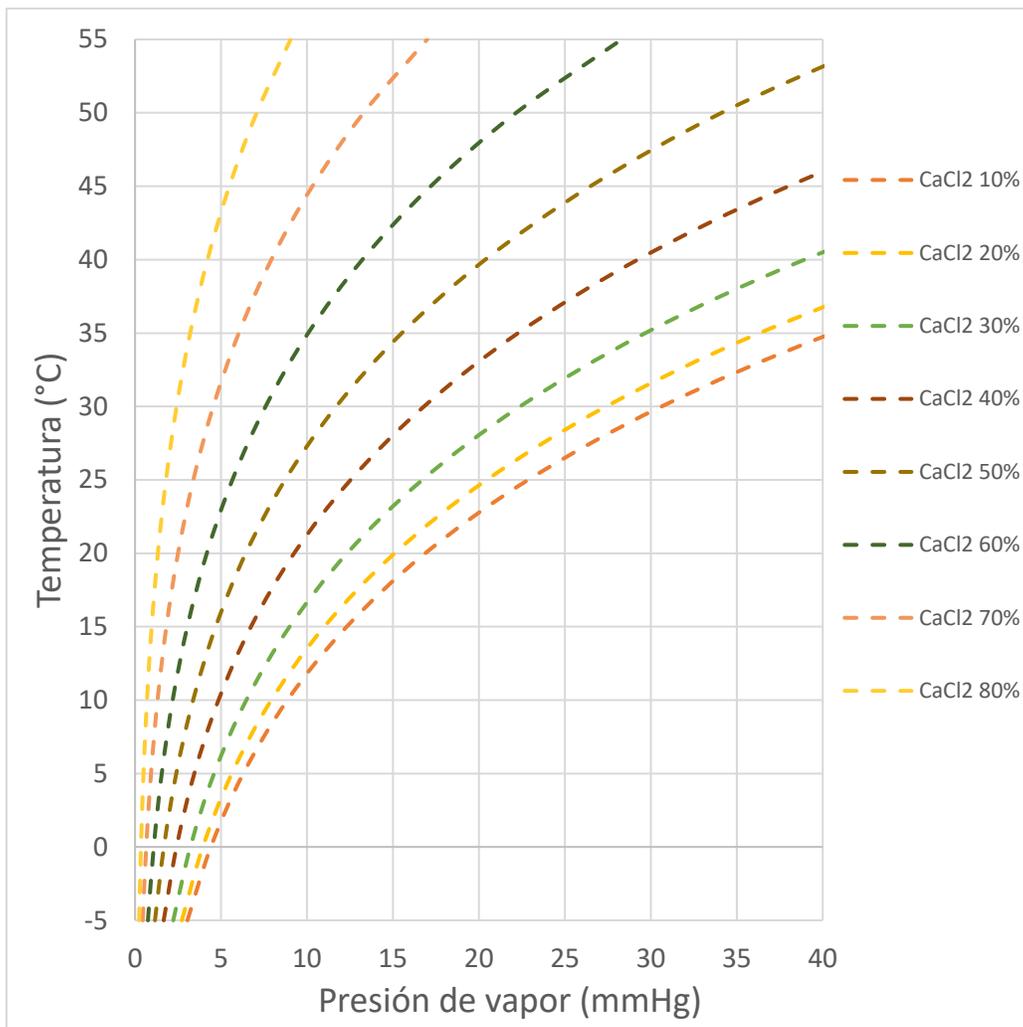
Exp: Valor experimental; *Sim:* Valor simulado.

Anexo D 4. Comparación de la temperatura de ebullición experimental [20] y simulada para la validación del modelo termodinámico.

%CaCl₂	T Ebullición Exp (°C)	T Ebullición Sim (°C)	%Error
0	100	99.9603	0.04%
10	102	101.118	0.86%
15	103	101.945	1.02%
20	105	104.204	0.76%
25	107	106.76	0.22%
30	111	110.019	0.88%
35	115	113.981	0.89%
40	120	118.647	1.13%
41	121	119.665	1.10%
42	122	120.712	1.06%

Anexo D 5. Comparación de la presión de vapor experimental [20] y simulada para la validación del modelo termodinámico.

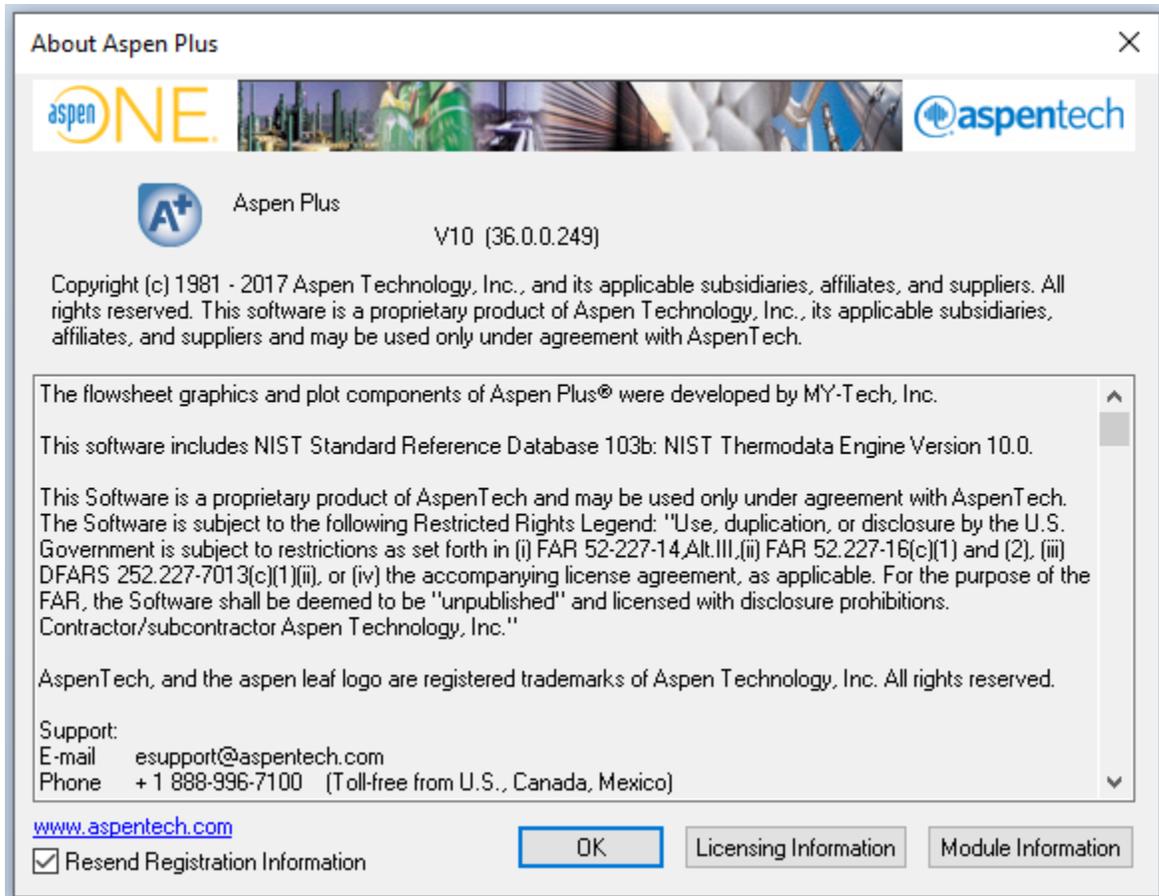
40% CaCl₂			
T (°C)	P_v Exp (mmHg)	P_v Sim (mmHg)	%Error
15	6.5	6.7	3.76%
18	8.1	8.2	0.80%
20	9.1	9.3	1.67%
25	12.2	12.5	2.79%
30	16.9	16.8	0.55%
35	21.2	22.3	5.11%
37	23.6	24.8716	5.39%
40	28	29.2427	4.44%
45	35.7	38.0	6.46%



Nota: Comparar con el Anexo A 3.

ANEXO E. Especificaciones y resultados de la simulación del sistema de aire acondicionado por absorción en el software Aspen Plus ®

Anexo E 1. Versión del software Aspen Plus ®.



Anexo E 2. Especificación de la corriente fresca de alimento al proceso para la simulación en Medellín.

Specifications

Flash Type: Temperature Pressure

State variables

Temperature: 22 C

Pressure: 0.844 atm

Vapor fraction: []

Total flow basis: Mole

Total flow rate: [] kmol/hr

Solvent: []

Reference Temperature

Volume flow reference temperature: C

Component concentration reference temperature: C

Composition

Mole-Flow kmol/hr

Component	Value
N2	7.6e-07
O2	1.99e-06
AR	4e-08
CO2	1.2e-07
H2O	2.006e-05
CACL2	1.26e-10
CA++	
CL-	
Total	2,29701e-05

Anexo E 3. Especificación de la corriente de aire a la entrada del Ventilador 1 para la ciudad de Medellín.

Specifications

Flash Type: Temperature Pressure

State variables:

- Temperature: 32 C
- Pressure: 640 mmHg
- Vapor fraction: []
- Total flow basis: Mole
- Total flow rate: [] kmol/hr
- Solvent: []

Reference Temperature:

- Volume flow reference temperature: [] C
- Component concentration reference temperature: [] C

Composition: Mole-Flow kmol/hr

Component	Value
N2	11,9768
O2	3,2245
AR	0,1428
CO2	0,0107
H2O	0,8877
CACL2	
CA++	
CL-	
Total	16,2425

Anexo E 4. Especificación de la corriente de aire a la entrada del Ventilador 2 para la ciudad de Medellín.

Specifications

Flash Type: Temperature Pressure

State variables:

- Temperature: 32 C
- Pressure: 640 mmHg
- Vapor fraction: []
- Total flow basis: Mole
- Total flow rate: [] kmol/hr
- Solvent: []

Reference Temperature:

- Volume flow reference temperature: [] C
- Component concentration reference temperature: [] C

Composition: Mole-Flow kmol/hr

Component	Value
N2	17,9401
O2	4,83003
AR	0,2139
CO2	0,0161
H2O	1,32968
CACL2	
CA++	
CL-	
Total	24,3298

Anexo E 5. Especificación del Ventilador 1 para todas las ciudades.

Specifications

Model and type:

- Model: Compressor Turbine
- Type: Isentropic

Outlet specification:

- Discharge pressure: [] bar
- Pressure increase: 0,035 psia
- Pressure ratio: []
- Power required: [] kW
- Use performance curves to determine discharge conditions

Efficiencies:

- Isentropic: 0,82
- Polytropic: []
- Mechanical: []

Anexo E 6. Especificación del Ventilador 2 para todas las ciudades.

Main Flowsheet x VENT-2 (Compr) x +

Specifications Calculation Options Power Loss Convergence Integration Parameters Utility Comments

Model and type

Model Compressor Turbine

Type Isentropic

Outlet specification

Discharge pressure bar

Pressure increase psia

Pressure ratio

Power required kW

Use performance curves to determine discharge conditions

Efficiencies

Isentropic Polytropic Mechanical

Anexo E 7. Especificación de la Bomba 1 para todas las ciudades.

Main Flowsheet x BOMBA-1 (Pump) x +

Specifications Calculation Options Flash Options Utility Comments

Model

Pump Turbine

Pump outlet specification

Discharge pressure bar

Pressure increase psia

Pressure ratio

Power required kW

Use performance curve to determine discharge conditions

Efficiencies

Pump Driver

Anexo E 8. Especificación de la Bomba 2 para todas las ciudades.

Main Flowsheet x BOMBA-2 (Pump) x +

Specifications Calculation Options Flash Options Utility Comments

Model

Pump Turbine

Pump outlet specification

Discharge pressure bar

Pressure increase psia

Pressure ratio

Power required kW

Use performance curve to determine discharge conditions

Efficiencies

Pump Driver

Anexo E 9. Especificación de la columna de Absorción y desorción para todas las ciudades.

The screenshot shows the 'Setup options' section of the software interface. The 'Calculation type' is set to 'Rate-Based'. The 'Number of stages' is set to 2, with a 'Stage Wizard' button next to it. The 'Condenser' and 'Reboiler' are both set to 'None'. The 'Valid phases' are set to 'Vapor-Liquid', and the 'Convergence' is set to 'Standard'. The 'Free water reflux ratio' is set to 0. A 'Design and specify column internals' button is located at the bottom.

Anexo E 10. Especificación de las corrientes de la columna de Absorción y desorción para todas las ciudades.

The screenshot shows the 'Streams' section of the software interface. It displays a table for 'Feed streams' and a table for 'Product streams'.

Name	Stage	Convention
VN+1-ABS	2	On-Stage
L0-ABS	1	Above-Stage

Name	Stage	Phase	Basis	Flow	Units	Flow Ratio	Feed Specs
LN-ABS	2	Liquid	Mole		kmol/hr		Feed basis
V1-ABS	1	Vapor	Mole		kmol/hr		Feed basis

The 'Pseudo streams' section is also visible but empty.

Anexo E 11. Especificación de la presión de la columna de Absorción y desorción para la ciudad de Medellín.

The screenshot shows the 'Pressure' section of the software interface. The 'View' is set to 'Top / Bottom'. The 'Top stage / Condenser pressure' is set to 0.844 atm. The 'Stage 2 pressure (optional)' section has 'Stage 2 pressure' selected. The 'Pressure drop for rest of column (optional)' section has 'Stage pressure drop' selected.

Anexo E 12. Especificación de las características del interno de la columna de Absorción para todas las ciudades.

The screenshot shows the 'Geometry' tab for 'ABS Column Internals INT-1 Sections CS-1'. The 'Name' is 'CS-1', 'Start stage' is '1', and 'End stage' is '2'. The 'Status' is 'Active' and 'Mode' is 'Rating'. The 'Section type' is 'Packed'. The 'Packing Type' is 'PALL'. Under 'Packing characteristics', 'Vendor' is 'RASCHIG', 'Section diameter' is '0,45 meter', 'Material' is 'PLASTIC', 'Packing size' is '0,025 meter', and 'Dimension' is '25-MM'. The 'Packing factor' is '171 1/m'. Under 'Packed height', 'Packed height per stage (HETP)' is '0,4572 meter'. There are 'Results' and 'View Hydraulic Plots' buttons at the bottom.

Anexo E 13. Especificación de las características del interno de la columna de desorción para todas las ciudades.

The screenshot shows the 'Geometry' tab for 'DESORB Column Internals INT-1 Sections CS-1'. The 'Name' is 'CS-1', 'Start stage' is '1', and 'End stage' is '2'. The 'Status' is 'Active' and 'Mode' is 'Rating'. The 'Section type' is 'Packed'. The 'Packing Type' is 'PALL'. Under 'Packing characteristics', 'Vendor' is 'RASCHIG', 'Section diameter' is '0,45 meter', 'Material' is 'PLASTIC', 'Packing size' is '0,035 meter', and 'Dimension' is '35-MM'. The 'Packing factor' is '140 1/m'. Under 'Packed height', 'Packed height per stage (HETP)' is '0,6264 meter'. There are 'Results' and 'View Hydraulic Plots' buttons at the bottom.

Anexo E 14. Especificación del Colector para la ciudad de Medellín

The screenshot shows the 'Specifications' tab for 'COLECTOR (Heater)'. Under 'Flash specifications', 'Flash Type' is 'Temperature'. 'Temperature' is '51,63 C'. 'Temperature change' is 'C'. 'Degrees of superheating' is 'C'. 'Degrees of subcooling' is 'C'. 'Pressure' is '0,844 atm'. 'Duty' is 'cal/sec'. 'Vapor fraction' and 'Pressure drop correlation parameter' are empty. There is a checkbox for 'Always calculate pressure drop correlation parameter'. Under 'Valid phases', it is 'Vapor-Liquid'.

Anexo E 15. Especificación del Enfriador para la ciudad de Medellín

The screenshot shows the 'ENFRIADO (Heater)' specifications window. It includes tabs for Specifications, Flash Options, Utility, and Comments. Under 'Flash specifications', the 'Flash Type' is set to 'Temperature' and 'Pressure'. The 'Temperature' is specified as 22 C, and the 'Pressure' is 0,844 atm. Other parameters like 'Temperature change', 'Degrees of superheating', 'Degrees of subcooling', 'Duty', 'Vapor fraction', and 'Pressure drop correlation parameter' are present but not specified. A checkbox for 'Always calculate pressure drop correlation parameter' is checked. The 'Valid phases' are set to 'Vapor-Liquid'.

Anexo E 16. Resultados de las condiciones energéticas de cada corriente para el mezclador en la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet		MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary)						
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
						L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS
							Liquid Phase	Liquid Phase
Phase								
Temperature				C		22	22	22
Pressure				bar		0,855183	0,855183	0,855183
Molar Vapor Fraction						0,128238	0	0
Molar Liquid Fraction						0,871762	1	1
Molar Solid Fraction						0	0	0
Mass Vapor Fraction						0,202255	0	0
Mass Liquid Fraction						0,797745	1	1
Mass Solid Fraction						0	0	0
Molar Enthalpy				cal/mol		-60156,6	-68580,5	-68580,5
Mass Enthalpy				cal/gm		-3048,71	-3025,23	-3025,23
Molar Entropy				cal/mol-K		-33,8046	-33,4233	-33,4233
Mass Entropy				cal/gm-K		-1,7132	-1,47437	-1,47437
Molar Density				mol/cc		0,000270736	0,0645774	0,0645774
Mass Density				gm/cc		0,00534212	1,46394	1,46394
Enthalpy Flow				cal/sec		-0,383839	-5,32904e+06	-5,32904e+06
Average MW						19,7318	22,6695	22,6695

Anexo E 17. Resultados de los flujos y fracciones molares del mezclador para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet × MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) × +								
Material	Heat	Load	Work	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS	
- Mole Flows				kmol/hr	2,29704e-05	279,737	279,737	
N2				kmol/hr	7,6e-07	0,0345075	0,0345083	
O2				kmol/hr	1,99e-06	0,0280506	0,0280526	
AR				kmol/hr	4e-08	0,000907855	0,000907895	
CO2				kmol/hr	1,2e-07	0,00047322	0,00047334	
H2O				kmol/hr	2,006e-05	211,115	211,115	
CACL2				kmol/hr	0	0	0	
CA++				kmol/hr	1,26e-10	22,853	22,853	
CL-				kmol/hr	2,52e-10	45,7059	45,7059	
- Mole Fractions								
N2					0,0330861	0,000123357	0,00012336	
O2					0,0866333	0,000100275	0,000100282	
AR					0,00174137	3,24538e-06	3,24553e-06	
CO2					0,00522412	1,69166e-06	1,69209e-06	
H2O					0,873299	0,754688	0,754688	
CACL2					0	0	0	
CA++					5,48533e-06	0,0816943	0,0816943	
CL-					1,09707e-05	0,163389	0,163389	

Anexo E 18. Resultados de los flujos y fracciones masicos del mezclador para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet × MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) × +								
Material	Heat	Load	Work	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS	
- Mass Flows				kg/hr	0,000453247	6341,51	6341,51	
N2				kg/hr	2,12902e-05	0,966676	0,966697	
O2				kg/hr	6,36776e-05	0,897587	0,897651	
AR				kg/hr	1,59792e-06	0,036267	0,0362686	
CO2				kg/hr	5,28118e-06	0,0208263	0,0208316	
H2O				kg/hr	0,000361387	3803,29	3803,29	
CACL2				kg/hr	0	0	0	
CA++				kg/hr	5,04969e-09	915,876	915,876	
CL-				kg/hr	8,93422e-09	1620,42	1620,42	
- Mass Fractions								
N2					0,0469727	0,000152436	0,00015244	
O2					0,140492	0,000141542	0,000141552	
AR					0,00352549	5,71898e-06	5,71924e-06	
CO2					0,0116519	3,28413e-06	3,28496e-06	
H2O					0,797327	0,599745	0,599745	
CACL2					0	0	0	
CA++					1,11411e-05	0,144426	0,144426	
CL-					1,97116e-05	0,255526	0,255526	
Volume Flow				l/min	0,00141407	72,1969	72,1969	

Anexo E 19. Resultados energéticos del Ventilador 1 para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Results x +	
Summary Balance Parameters Performance Regression Utility Usage Status	
Compressor model	Isentropic Compressor
Phase calculations	Vapor phase calculation
Indicated horsepower	39,4275 Watt
Brake horsepower	39,4275 Watt
Net work required	39,4275 Watt
Power loss	0 kW
Efficiency	0,82
Mechanical efficiency	1
Outlet pressure	0,844487 atm
Outlet temperature	32,2973 C
Isentropic outlet temperature	32,2439 C
Vapor fraction	1
Displacement	
Volumetric efficiency	

Anexo E 20. Resultados de los flujos y fracciones molares del Ventilador 1 para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Results x VENT-1 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	AIRE-ABS	VN+ 1-ABS	
- Mole Flows			kmol/hr	16,2425	16,2425	
N2			kmol/hr	11,9768	11,9768	
O2			kmol/hr	3,2245	3,2245	
AR			kmol/hr	0,1428	0,1428	
CO2			kmol/hr	0,0107	0,0107	
H2O			kmol/hr	0,8877	0,8877	
CACL2			kmol/hr	0	0	
CA++			kmol/hr	0	0	
CL-			kmol/hr	0	0	
- Mole Fractions						
N2				0,737374	0,737374	
O2				0,198522	0,198522	
AR				0,00879175	0,00879175	
CO2				0,000658766	0,000658766	
H2O				0,0546529	0,0546529	
CACL2				0	0	
CA++				0	0	
CL-				0	0	

Anexo E 21. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Ventilador 1 para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet × VENT-1 (Compr) - Results × VENT-1 (Compr) - Stream Results (Boundary) × +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	AIRE-ABS	VN+ 1-ABS
- Mass Flows				kg/hr	460,86	460,86
N2				kg/hr	335,512	335,512
O2				kg/hr	103,18	103,18
AR				kg/hr	5,70457	5,70457
CO2				kg/hr	0,470905	0,470905
H2O				kg/hr	15,9922	15,9922
CACL2				kg/hr	0	0
CA++				kg/hr	0	0
CL-				kg/hr	0	0
- Mass Fractions						
N2					0,728013	0,728013
O2					0,223886	0,223886
AR					0,0123781	0,0123781
CO2					0,0010218	0,0010218
H2O					0,0347007	0,0347007
CACL2					0	0
CA++					0	0
CL-					0	0

Anexo E 22. Resultados energéticos del Ventilador 2 para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet × VENT-2 (Compr) - Results × +						
Summary	Balance	Parameters	Performance	Regression	Utility Usage	Status
Compressor model			Isentropic Compressor			
Phase calculations			Vapor phase calculation			
Indicated horsepower			59,0589 Watt			
Brake horsepower			59,0589 Watt			
Net work required			59,0589 Watt			
Power loss			0 Watt			
Efficiency			0,82			
Mechanical efficiency			1			
Outlet pressure			0,844487 atm			
Outlet temperature			32,2973 C			
Isentropic outlet temperature			32,2439 C			
Vapor fraction			1			
Displacement						
Volumetric efficiency						

Anexo E 23. Resultados de los flujos y fracciones molares del Ventilador 2 para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x VENT-2 (Compr) - Results x VENT-2 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +				
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum Polymers Solids
		Units	AIRE-DES	VN+1-DES
- Mole Flows		kmol/hr	24,3298	24,3298
N2		kmol/hr	17,9401	17,9401
O2		kmol/hr	4,83003	4,83003
AR		kmol/hr	0,2139	0,2139
CO2		kmol/hr	0,0161	0,0161
H2O		kmol/hr	1,32968	1,32968
CACL2		kmol/hr	0	0
CA++		kmol/hr	0	0
CL-		kmol/hr	0	0
- Mole Fractions				
N2			0,737371	0,737371
O2			0,198523	0,198523
AR			0,00879168	0,00879168
CO2			0,000661739	0,000661739
H2O			0,0546523	0,0546523
CACL2			0	0
CA++			0	0
CL-			0	0

Anexo E 24. Resultados de los flujos y fracciones máscas del Ventilador 2 para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x VENT-2 (Compr) - Results x VENT-2 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +				
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum Polymers Solids
		Units	AIRE-DES	VN+1-DES
- Mass Flows		kg/hr	690,328	690,328
N2		kg/hr	502,565	502,565
O2		kg/hr	154,555	154,555
AR		kg/hr	8,54488	8,54488
CO2		kg/hr	0,708558	0,708558
H2O		kg/hr	23,9546	23,9546
CACL2		kg/hr	0	0
CA++		kg/hr	0	0
CL-		kg/hr	0	0
- Mass Fractions				
N2			0,728009	0,728009
O2			0,223886	0,223886
AR			0,012378	0,012378
CO2			0,00102641	0,00102641
H2O			0,0347002	0,0347002
CACL2			0	0
CA++			0	0
CL-			0	0

Anexo E 25. Resultados energéticos en las corrientes del Absorbedor para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x VENT-2 (Compr) - Results x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	LO-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- MIXED Substream								
Phase					Liquid Phase	Vapor Phase	Liquid Phase	Vapor Phase
Temperature				C	22	32,2973	24,4679	23,3585
Pressure				bar	0,855183	0,855676	0,855183	0,855183
Molar Vapor Fraction					0	1	0	1
Molar Liquid Fraction					1	0	1	0
Molar Solid Fraction					0	0	0	0
Mass Vapor Fraction					0	1	0	1
Mass Liquid Fraction					1	0	1	0
Mass Solid Fraction					0	0	0	0
Molar Enthalpy				cal/mol	-68580,5	-3171,4	-68544	-1173,28
Mass Enthalpy				cal/gm	-3025,23	-111,772	-3024,79	-40,7929
Molar Entropy				cal/mol-K	-33,4233	1,4127	-33,3408	1,38833
Mass Entropy				cal/gm-K	-1,47437	0,049789	-1,4713	0,0482696
Molar Density				mol/cc	0,0645774	3,37018e-05	0,0644769	3,46934e-05
Mass Density				gm/cc	1,46394	0,000956243	1,4611	0,000997852
Enthalpy Flow				cal/sec	-5,32904e+06	-14308,7	-5,33826e+06	-5087,18
Average MW					22,6695	28,3737	22,6608	28,762

Anexo E 26. Resultados de los flujos y fracciones molares del Absorbedor para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	LO-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- Mole Flows								
				kmol/hr	279,737	16,2425	280,371	15,6091
N2				kmol/hr	0,0345083	11,9768	0,0569823	11,9543
O2				kmol/hr	0,0280526	3,2245	0,0467619	3,20579
AR				kmol/hr	0,000907895	0,1428	0,00145368	0,142254
CO2				kmol/hr	0,00047334	0,0107	0,000552544	0,0106208
H2O				kmol/hr	211,115	0,8877	211,706	0,296061
CACL2				kmol/hr	0	0	0	0
CA++				kmol/hr	22,853	0	22,853	0
CL-				kmol/hr	45,7059	0	45,7059	0
- Mole Fractions								
N2					0,00012336	0,737374	0,000203239	0,765859
O2					0,000100282	0,198522	0,000166786	0,20538
AR					3,24553e-06	0,00879175	5,18483e-06	0,00911357
CO2					1,69209e-06	0,000658766	1,97076e-06	0,000680425
H2O					0,754688	0,0546529	0,755094	0,0189672
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,0816943	0	0,0815097	0
CL-					0,163389	0	0,163019	0

Anexo E 27. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Absorbedor para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
			Units	L0-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS	
- Mass Flows				kg/hr	6341,51	460,86	6353,42	448,948
N2			kg/hr	0,966697	335,512	1,59627	334,882	
O2			kg/hr	0,897651	103,18	1,49632	102,581	
AR			kg/hr	0,0362686	5,70457	0,0580714	5,68277	
CO2			kg/hr	0,0208316	0,470905	0,0243173	0,467419	
H2O			kg/hr	3803,29	15,9922	3813,95	5,33361	
CACL2			kg/hr	0	0	0	0	
CA++			kg/hr	915,876	0	915,876	0	
CL-			kg/hr	1620,42	0	1620,42	0	
- Mass Fractions								
N2				0,00015244	0,728013	0,000251246	0,745927	
O2				0,000141552	0,223886	0,000235515	0,228493	
AR				5,71924e-06	0,0123781	9,14018e-06	0,012658	
CO2				3,28496e-06	0,0010218	3,82744e-06	0,00104114	
H2O				0,599745	0,0347007	0,600298	0,0118803	
CACL2				0	0	0	0	
CA++				0,144426	0	0,144155	0	
CL-				0,255526	0	0,255047	0	

Anexo E 28. Resultados energéticos en las corrientes del Desorbedor para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	L0-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- MIXED Substream							
Phase					Vapor Phase	Liquid Phase	Vapor Phase
Temperature			C	51,63	32,2973	48,7014	49,5307
Pressure			bar	0,855183	0,855676	0,855183	0,855183
Molar Vapor Fraction				0,000152147	1	0	1
Molar Liquid Fraction				0,999848	0	1	0
Molar Solid Fraction				0	0	0	0
Mass Vapor Fraction				0,000190546	1	0	1
Mass Liquid Fraction				0,999809	0	1	0
Mass Solid Fraction				0	0	0	0
Molar Enthalpy			cal/mol	-68251,6	-3171,64	-68294,9	-4338,34
Mass Enthalpy			cal/gm	-3011,88	-111,781	-3012,63	-154,219
Molar Entropy			cal/mol-K	-32,4004	1,41275	-32,4971	1,65892
Mass Entropy			cal/gm-K	-1,4298	0,0497906	-1,43352	0,0589715
Molar Density			mol/cc	0,0488835	3,37018e-05	0,0639808	3,18825e-05
Mass Density			gm/cc	1,10774	0,000956245	1,45041	0,000896886
Enthalpy Flow			cal/sec	-5,31549e+06	-21434,8	-5,30684e+06	-30083
Average MW				22,6608	28,3737	22,6695	28,1309

Anexo E 29. Resultados de los flujos y fracciones molares del Desorbedor para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	L0-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- Mole Flows				kmol/hr	280,371	24,3298	279,737	24,9632
N2				kmol/hr	0,0569823	17,9401	0,0345075	17,9626
O2				kmol/hr	0,0467619	4,83003	0,0280506	4,84873
AR				kmol/hr	0,00145368	0,2139	0,000907855	0,214446
CO2				kmol/hr	0,000552544	0,0161	0,00047322	0,0161785
H2O				kmol/hr	211,706	1,32968	211,115	1,92131
CACL2				kmol/hr	0	0	0	0
CA++				kmol/hr	22,853	0	22,853	0
CL-				kmol/hr	45,7059	0	45,7059	0
- Mole Fractions								
N2					0,000203239	0,737371	0,000123357	0,719561
O2					0,000166786	0,198523	0,000100275	0,194235
AR					5,18483e-06	0,00879168	3,24538e-06	0,00859047
CO2					1,97076e-06	0,000661739	1,69166e-06	0,000648095
H2O					0,755094	0,0546523	0,754688	0,0769654
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,0815097	0	0,0816943	0
CL-					0,163019	0	0,163389	0

Anexo E 30. Resultados de los flujos y fracciones máscas del Desorbedor para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	L0-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- Mass Flows				kg/hr	6353,42	690,328	6341,51	702,239
N2				kg/hr	1,59627	502,565	0,966676	503,194
O2				kg/hr	1,49632	154,555	0,897587	155,154
AR				kg/hr	0,0580714	8,54488	0,036267	8,56669
CO2				kg/hr	0,0243173	0,708558	0,0208263	0,712015
H2O				kg/hr	3813,95	23,9546	3803,29	34,6129
CACL2				kg/hr	0	0	0	0
CA++				kg/hr	915,876	0	915,876	0
CL-				kg/hr	1620,42	0	1620,42	0
- Mass Fractions								
N2					0,000251246	0,728009	0,000152436	0,716557
O2					0,000235515	0,223886	0,000141542	0,220941
AR					9,14018e-06	0,012378	5,71898e-06	0,0121991
CO2					3,82744e-06	0,00102641	3,28413e-06	0,00101392
H2O					0,600298	0,0347002	0,599745	0,0492892
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,144155	0	0,144426	0
CL-					0,255047	0	0,255526	0

Anexo E 31. Resultados energéticos de la Bomba 1 para la ciudad de Medellín.

Property	Value	Unit
Fluid power	8,32809	Watt
Brake power	11,1041	Watt
Electricity	11,1041	Watt
Volumetric flow rate	72,4732	l/min
Pressure change	0,0689476	bar
NPSH available	0,452701	meter-head
NPSH required		
Head developed	0,481193	meter-head
Pump efficiency used	0,75	
Net work required	11,1041	Watt
Outlet pressure	0,912046	atm
Outlet temperature	24,4693	C

Anexo E 32. Resultados de los flujos y fracciones molares de la Bomba 1 para la ciudad de Medellín.

Material	Work	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
Units						
					LN-ABS	LIN-COLE
- Mole Flows				kmol/hr	280,371	280,371
N2				kmol/hr	0,0569823	0,0569823
O2				kmol/hr	0,0467619	0,0467619
AR				kmol/hr	0,00145368	0,00145368
CO2				kmol/hr	0,000552544	0,000552544
H2O				kmol/hr	211,706	211,706
CACL2				kmol/hr	0	0
CA++				kmol/hr	22,853	22,853
CL-				kmol/hr	45,7059	45,7059
- Mole Fractions						
N2					0,000203239	0,000203239
O2					0,000166786	0,000166786
AR					5,18483e-06	5,18483e-06
CO2					1,97076e-06	1,97076e-06
H2O					0,755094	0,755094
CACL2					0	0
CA++					0,0815097	0,0815097
CL-					0,163019	0,163019

Anexo E 33. Resultados de los flujos y fracciones másicas de la Bomba 1 para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x BOMBA-1 (Pump) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LN-ABS	LIN-COLE	
- Mass Flows			kg/hr	6353,42	6353,42	
	N2		kg/hr	1,59627	1,59627	
	O2		kg/hr	1,49632	1,49632	
	AR		kg/hr	0,0580714	0,0580714	
	CO2		kg/hr	0,0243173	0,0243173	
	H2O		kg/hr	3813,95	3813,95	
	CACL2		kg/hr	0	0	
	CA++		kg/hr	915,876	915,876	
	CL-		kg/hr	1620,42	1620,42	
- Mass Fractions						
	N2			0,000251246	0,000251246	
	O2			0,000235515	0,000235515	
	AR			9,14018e-06	9,14018e-06	
	CO2			3,82744e-06	3,82744e-06	
	H2O			0,600298	0,600298	
	CACL2			0	0	
	CA++			0,144155	0,144155	
	CL-			0,255047	0,255047	

Anexo E 34. Resultados energéticos de la Bomba 2 para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x BOMBA-2 (Pump) - Results x +				
Summary	Balance	Performance Curve	Utility Usage	Status
Fluid power	41,8685	Watt		
Brake power	55,8247	Watt		
Electricity	55,8247	Watt		
Volumetric flow rate	72,8702	l/min		
Pressure change	0,344738	bar		
NPSH available	0,0977047	meter-head		
NPSH required				
Head developed	2,42369	meter-head		
Pump efficiency used	0,75			
Net work required	55,8247	Watt		
Outlet pressure	1,18423	atm		
Outlet temperature	48,7093	C		

Anexo E 35. Resultados de los flujos y fracciones molares de la Bomba 2 para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x BOMBA-2 (Pump) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LN-DESOR	LIN-ENFR	
- Mole Flows			kmol/hr	279,737	279,737	
N2			kmol/hr	0,0345075	0,0345075	
O2			kmol/hr	0,0280506	0,0280506	
AR			kmol/hr	0,000907855	0,000907855	
CO2			kmol/hr	0,00047322	0,00047322	
H2O			kmol/hr	211,115	211,115	
CACL2			kmol/hr	0	0	
CA++			kmol/hr	22,853	22,853	
CL-			kmol/hr	45,7059	45,7059	
- Mole Fractions						
N2				0,000123357	0,000123357	
O2				0,000100275	0,000100275	
AR				3,24538e-06	3,24538e-06	
CO2				1,69166e-06	1,69166e-06	
H2O				0,754688	0,754688	
CACL2				0	0	
CA++				0,0816943	0,0816943	
CL-				0,163389	0,163389	

Anexo E 36. Resultados de los flujos y fracciones máscicas de la Bomba 2 para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x BOMBA-2 (Pump) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LN-DESOR	LIN-ENFR	
- Mass Flows			kg/hr	6341,51	6341,51	
N2			kg/hr	0,966676	0,966676	
O2			kg/hr	0,897587	0,897587	
AR			kg/hr	0,036267	0,036267	
CO2			kg/hr	0,0208263	0,0208263	
H2O			kg/hr	3803,29	3803,29	
CACL2			kg/hr	0	0	
CA++			kg/hr	915,876	915,876	
CL-			kg/hr	1620,42	1620,42	
- Mass Fractions						
N2				0,000152436	0,000152436	
O2				0,000141542	0,000141542	
AR				5,71898e-06	5,71898e-06	
CO2				3,28413e-06	3,28413e-06	
H2O				0,599745	0,599745	
CACL2				0	0	
CA++				0,144426	0,144426	
CL-				0,255526	0,255526	

Anexo E 37. Resultados energéticos del Colector para la ciudad de Medellín.

The screenshot shows a software window titled "COLECTOR (Heater) - Results". It has several tabs: Summary, Balance, Phase Equilibrium, Utility Usage, and Status (which is selected). The "Summary" tab contains the following data:

Outlet temperature	51,63	C
Outlet pressure	0,844	atm
Vapor fraction	0,000152147	
Heat duty	95,3239	kW
Net duty	95,3239	kW
1st liquid / Total liquid	1	
Pressure-drop correlation parameter		
Pressure drop	0,068046	atm

Anexo E 38. Resultados de los flujos y fracciones molares del Colector para la ciudad de Medellín.

The screenshot shows a software window titled "COLECTOR (Heater) - Stream Results (Feeds)". It has several tabs: Material, Heat, Load, Vol.% Curves, Wt. % Curves, Petroleum, Polymers, and Solids. The "Material" tab is active and displays a table of stream results for two units: LIN-COLE and LO-DESOR.

Material	Units	LIN-COLE	LO-DESOR
- Mole Flows	kmol/hr	280,371	280,371
N2	kmol/hr	0,0569823	0,0569823
O2	kmol/hr	0,0467619	0,0467619
AR	kmol/hr	0,00145368	0,00145368
CO2	kmol/hr	0,000552544	0,000552544
H2O	kmol/hr	211,706	211,706
CACL2	kmol/hr	0	0
CA++	kmol/hr	22,853	22,853
CL-	kmol/hr	45,7059	45,7059
- Mole Fractions			
N2		0,000203239	0,000203239
O2		0,000166786	0,000166786
AR		5,18483e-06	5,18483e-06
CO2		1,97076e-06	1,97076e-06
H2O		0,755094	0,755094
CACL2		0	0
CA++		0,0815097	0,0815097
CL-		0,163019	0,163019

Anexo E 39. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Colector para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x COLECTOR (Heater) - Stream Results (Feeds) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units		LIN-COLE	L0-DESOR		
- Mass Flows		kg/hr		6353,42	6353,42		
>	N2		kg/hr	1,59627	1,59627		
>	O2		kg/hr	1,49632	1,49632		
>	AR		kg/hr	0,0580714	0,0580714		
>	CO2		kg/hr	0,0243173	0,0243173		
>	H2O		kg/hr	3813,95	3813,95		
>	CACL2		kg/hr	0	0		
>	CA++		kg/hr	915,876	915,876		
>	CL-		kg/hr	1620,42	1620,42		
- Mass Fractions							
>	N2			0,000251246	0,000251246		
>	O2			0,000235515	0,000235515		
>	AR			9,14018e-06	9,14018e-06		
>	CO2			3,82744e-06	3,82744e-06		
>	H2O			0,600298	0,600298		
>	CACL2			0	0		
>	CA++			0,144155	0,144155		
>	CL-			0,255047	0,255047		

Anexo E 40. Resultados energéticos del Enfriador para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet x ENFRIADO (Heater) - Results x +				
Summary	Balance	Phase Equilibrium	Utility Usage	Status
Outlet temperature	22	C		
Outlet pressure	0,844	atm		
Vapor fraction	0			
Heat duty	-92,9919	kW		
Net duty	-92,9919	kW		
1st liquid / Total liquid	1			
Pressure-drop correlation parameter				
Pressure drop	0,34023	atm		

Anexo E 41. Resultados de los flujos y fracciones molares del Enfriador para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet × ENFRIADO (Heater) - Stream Results (Boundary) × +							
Material	Heat	Load	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units		LIN-ENFR	L0-OUT	
- Mole Flows			kmol/hr		279,737	279,737	
N2			kmol/hr		0,0345075	0,0345075	
O2			kmol/hr		0,0280506	0,0280506	
AR			kmol/hr		0,000907855	0,000907855	
CO2			kmol/hr		0,00047322	0,00047322	
H2O			kmol/hr		211,115	211,115	
CACL2			kmol/hr		0	0	
CA++			kmol/hr		22,853	22,853	
CL-			kmol/hr		45,7059	45,7059	
- Mole Fractions							
N2					0,000123357	0,000123357	
O2					0,000100275	0,000100275	
AR					3,24538e-06	3,24538e-06	
CO2					1,69166e-06	1,69166e-06	
H2O					0,754688	0,754688	
CACL2					0	0	
CA++					0,0816943	0,0816943	
CL-					0,163389	0,163389	

Anexo E 42. Resultados de los flujos y fracciones máscas del Enfriador para la ciudad de Medellín.

Main Flowsheet × ENFRIADO (Heater) - Stream Results (Boundary) × +							
Material	Heat	Load	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units		LIN-ENFR	L0-OUT	
- Mass Flows			kg/hr		6341,51	6341,51	
N2			kg/hr		0,966676	0,966676	
O2			kg/hr		0,897587	0,897587	
AR			kg/hr		0,036267	0,036267	
CO2			kg/hr		0,0208263	0,0208263	
H2O			kg/hr		3803,29	3803,29	
CACL2			kg/hr		0	0	
CA++			kg/hr		915,876	915,876	
CL-			kg/hr		1620,42	1620,42	
- Mass Fractions							
N2					0,000152436	0,000152436	
O2					0,000141542	0,000141542	
AR					5,71898e-06	5,71898e-06	
CO2					3,28413e-06	3,28413e-06	
H2O					0,599745	0,599745	
CACL2					0	0	
CA++					0,144426	0,144426	
CL-					0,255526	0,255526	

Anexo E 43. Especificación de la corriente fresca de alimento al proceso para la simulación en Arauca.

Composition Table:

Component	Value
N2	2,44e-06
O2	4,43e-06
AR	1,2e-07
CO2	1,4e-07
H2O	2,73e-06
CACL2	1,85e-12
CA++	
CL-	
Total	9,86e-06

Anexo E 44. Especificación de la corriente de aire a la entrada del Ventilador 1 para la ciudad de Arauca.

Composition Table:

Component	Value
N2	11,8404
O2	3,1878
AR	0,14117
CO2	0,01063
H2O	0,80583
CACL2	
CA++	
CL-	
Total	15,9858

Anexo E 45. Especificación de la corriente de aire a la entrada del Ventilador 2 para la ciudad de Arauca.

Composition Table:

Component	Value
N2	17,4606
O2	4,70093
AR	0,20818
CO2	0,01567
H2O	1,18833
CACL2	
CA++	
CL-	
Total	23,5737

Anexo E 46. Especificación de la presión de la columna de Absorción y desorción para la ciudad de Arauca.

The screenshot shows the 'Pressure' configuration window for 'ABS (RadFrac)'. The 'View' is set to 'Top / Bottom'. The 'Top stage / Condenser pressure' is specified as '0,9879 atm'. The 'Stage 2 pressure (optional)' section has 'Stage 2 pressure' selected. The 'Pressure drop for rest of column (optional)' section has 'Stage pressure drop' selected.

Anexo E 47. Especificación del Colector para la ciudad de Arauca.

The screenshot shows the 'Specifications' window for 'COLECTOR (Heater)'. The 'Flash Type' is set to 'Temperature' and 'Pressure'. The 'Temperature' is specified as '53,52 C'. The 'Pressure' is specified as '0,9879 atm'. The 'Valid phases' are set to 'Vapor-Liquid'.

Anexo E 48. Especificación del Enfriador para la ciudad de Arauca.

The screenshot shows the 'Specifications' window for 'ENFRIADO (Heater)'. The 'Flash Type' is set to 'Temperature' and 'Pressure'. The 'Temperature' is specified as '22 C'. The 'Pressure' is specified as '0,9879 atm'. The 'Valid phases' are set to 'Vapor-Liquid'.

Anexo E 49. Resultados de las condiciones energéticas de cada corriente para el mezclador en la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet x MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) x +					
Minimize the Navigation Pane					
Work Vol.% Curves Wt.% Curves Petroleum Polymers Solids					
	Units	L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS	
- MIXED Substream					
Phase			Liquid Phase	Liquid Phase	
Temperature	C	22	22	22	
Pressure	bar	1,00099	1,00099	1,00099	
Molar Vapor Fraction		0,74214	0	0	
Molar Liquid Fraction		0,25786	1	1	
Molar Solid Fraction		0	0	0	
Mass Vapor Fraction		0,830108	0	0	
Mass Liquid Fraction		0,169892	1	1	
Mass Solid Fraction		0	0	0	
Molar Enthalpy	cal/mol	-20072,3	-68578,4	-68578,4	
Mass Enthalpy	cal/gm	-732,346	-3025,11	-3025,12	
Molar Entropy	cal/mol-K	-8,96277	-33,4225	-33,4225	
Mass Entropy	cal/gm-K	-0,327011	-1,47432	-1,47432	
Molar Density	mol/cc	5,49779e-05	0,0645691	0,0645691	
Mass Density	gm/cc	0,00150684	1,46376	1,46376	
Enthalpy Flow	cal/sec	-0,0549757	-4,92722e+06	-4,92722e+06	
Average MW		27,4082	22,6697	22,6697	

Anexo E 50. Resultados de los flujos y fracciones molares del mezclador para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet x MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) x +					
Material					
Heat Load Work Vol.% Curves Wt.% Curves Petroleum Polymers Solids					
	Units	L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS	
- Mole Flows					
	kmol/hr	9,86e-06	258,652	258,653	
N2	kmol/hr	2,44e-06	0,0362646	0,0362672	
O2	kmol/hr	4,43e-06	0,0293574	0,0293615	
AR	kmol/hr	1,2e-07	0,000953966	0,000954025	
CO2	kmol/hr	1,4e-07	0,00050857	0,000508744	
H2O	kmol/hr	2,73e-06	195,197	195,197	
CACL2	kmol/hr	1,85e-12	0	0	
CA++	kmol/hr	0	21,1296	21,1296	
CL-	kmol/hr	0	42,2592	42,2592	
- Mole Fractions					
N2		0,247464	0,000140206	0,000140216	
O2		0,44929	0,000113501	0,000113517	
AR		0,0121704	3,68822e-06	3,68844e-06	
CO2		0,0141988	1,96623e-06	1,9669e-06	
H2O		0,276876	0,754667	0,754667	
CACL2		1,87627e-07	0	0	
CA++		0	0,0816911	0,081691	
CL-		0	0,163382	0,163382	

Anexo E 51. Resultados de los flujos y fracciones masicos del mezclador para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet		MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary)				+		
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS		
- Mass Flows			kg/hr	0,000270245	5863,57	5863,57		
		N2	kg/hr	6,83529e-05	1,0159	1,01597		
		O2	kg/hr	0,000141755	0,9394	0,939532		
		AR	kg/hr	4,79376e-06	0,038109	0,0381114		
		CO2	kg/hr	6,16137e-06	0,0223821	0,0223897		
		H2O	kg/hr	4,91817e-05	3516,52	3516,52		
		CACL2	kg/hr	2,05319e-10	0	0		
		CA++	kg/hr	0	846,809	846,809		
		CL-	kg/hr	0	1498,23	1498,23		
- Mass Fractions								
		N2		0,25293	0,000173256	0,000173268		
		O2		0,524542	0,00016021	0,000160232		
		AR		0,0177386	6,49929e-06	6,49969e-06		
		CO2		0,0227992	3,81714e-06	3,81844e-06		
		H2O		0,18199	0,599723	0,599724		
		CACL2		7,59753e-07	0	0		
		CA++		0	0,144419	0,144419		
		CL-		0	0,255514	0,255514		
		Volume Flow	l/min	0,00298908	66,7637	66,7637		

Anexo E 52. Resultados energéticos del Ventilador 1 para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet		VENT-1 (Compr) - Results		+		
Summary	Balance	Parameters	Performance	Regression	Utility Usage	Status
Compressor model	Isentropic Compressor					
Phase calculations	Vapor phase calculation					
Indicated horsepower	33,2705 Watt					
Brake horsepower	33,2705 Watt					
Net work required	33,2705 Watt					
Power loss	0 Watt					
Efficiency	0,82					
Mechanical efficiency	1					
Outlet pressure	0,987908 atm					
Outlet temperature	33,255 C					
Isentropic outlet temperature	33,2093 C					
Vapor fraction	1					
Displacement						
Volumetric efficiency						

Anexo E 53. Resultados de los flujos y fracciones molares del Ventilador 1 para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	AIRE-ABS	VN+1-ABS
- Mole Flows				kmol/hr	15,9858	15,9858
	N2			kmol/hr	11,8404	11,8404
	O2			kmol/hr	3,1878	3,1878
	AR			kmol/hr	0,14117	0,14117
	CO2			kmol/hr	0,01063	0,01063
	H2O			kmol/hr	0,80583	0,80583
	CACL2			kmol/hr	0	0
	CA++			kmol/hr	0	0
	CL-			kmol/hr	0	0
- Mole Fractions						
	N2				0,740681	0,740681
	O2				0,199414	0,199414
	AR				0,00883096	0,00883096
	CO2				0,000664965	0,000664965
	H2O				0,0504091	0,0504091
	CACL2				0	0
	CA++				0	0
	CL-				0	0

Anexo E 54. Resultados de los flujos y fracciones máscas del Ventilador 1 para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	AIRE-ABS	VN+1-ABS
- Mass Flows				kg/hr	454,321	454,321
	N2			kg/hr	331,69	331,69
	O2			kg/hr	102,006	102,006
	AR			kg/hr	5,63946	5,63946
	CO2			kg/hr	0,467824	0,467824
	H2O			kg/hr	14,5173	14,5173
	CACL2			kg/hr	0	0
	CA++			kg/hr	0	0
	CL-			kg/hr	0	0
- Mass Fractions						
	N2				0,73008	0,73008
	O2				0,224524	0,224524
	AR				0,012413	0,012413
	CO2				0,00102972	0,00102972
	H2O				0,0319538	0,0319538
	CACL2				0	0
	CA++				0	0
	CL-				0	0
	Volume Flow			l/min	6789,72	6779

Anexo E 55. Resultados energéticos del Ventilador 2 para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet		VENT-2 (Compr) - Results	
		Summary	Balance
Compressor model	Isentropic Compressor		
Phase calculations	Vapor phase calculation		
Indicated horsepower	49,0628	Watt	
Brake horsepower	49,0628	Watt	
Net work required	49,0628	Watt	
Power loss	0	Watt	
Efficiency			0,82
Mechanical efficiency			1
Outlet pressure	0,987908	atm	
Outlet temperature	33,255	C	
Isentropic outlet temperature	33,2093	C	
Vapor fraction			1
Displacement			
Volumetric efficiency			

Anexo E 56. Resultados de los flujos y fracciones molares del Ventilador 2 para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet		VENT-2 (Compr) - Stream Results (Boundary)	
		Work	Vol.% Curves
		Wt. % Curves	Petroleum
		Polymers	Solids
		Units	AIRE-DES
			VN+1-DES
- Mole Flows	kmol/hr	23,5737	23,5737
N2	kmol/hr	17,4606	17,4606
O2	kmol/hr	4,70093	4,70093
AR	kmol/hr	0,20818	0,20818
CO2	kmol/hr	0,01567	0,01567
H2O	kmol/hr	1,18833	1,18833
CACL2	kmol/hr	0	0
CA++	kmol/hr	0	0
CL-	kmol/hr	0	0
- Mole Fractions			
N2		0,740681	0,740681
O2		0,199414	0,199414
AR		0,00883103	0,00883103
CO2		0,000664724	0,000664724
H2O		0,0504092	0,0504092
CACL2		0	0
CA++		0	0
CL-		0	0

Anexo E 57. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Ventilador 2 para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet x VENT-2 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	AIRE-DES	VN+1-DES	
- Mass Flows			kg/hr	669,97	669,97	
	N2		kg/hr	489,132	489,132	
	O2		kg/hr	150,424	150,424	
	AR		kg/hr	8,31637	8,31637	
	CO2		kg/hr	0,689634	0,689634	
	H2O		kg/hr	21,4081	21,4081	
	CACL2		kg/hr	0	0	
	CA++		kg/hr	0	0	
	CL-		kg/hr	0	0	
- Mass Fractions						
	N2			0,73008	0,73008	
	O2			0,224524	0,224524	
	AR			0,0124131	0,0124131	
	CO2			0,00102935	0,00102935	
	H2O			0,0319538	0,0319538	
	CACL2			0	0	
	CA++			0	0	
	CL-			0	0	
	Volume Flow		l/min	10012,5	9996,75	

Anexo E 58. Resultados energéticos en las corrientes del Absorbedor para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	L0-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- MIXED Substream							
	Phase			Liquid Phase	Vapor Phase	Liquid Phase	Vapor Phase
	Temperature	C		22	33,255	24,5463	23,4611
	Pressure	bar		1,00099	1,001	1,00099	1,00099
	Molar Vapor Fraction			0	1	0	1
	Molar Liquid Fraction			1	0	1	0
	Molar Solid Fraction			0	0	0	0
	Mass Vapor Fraction			0	1	0	1
	Mass Liquid Fraction			1	0	1	0
	Mass Solid Fraction			0	0	0	0
	Molar Enthalpy	cal/mol		-68578,4	-2920,23	-68538,8	-1029,47
	Mass Enthalpy	cal/gm		-3025,12	-102,752	-3024,51	-35,7593
	Molar Entropy	cal/mol-K		-33,4225	1,14778	-33,3363	1,08648
	Mass Entropy	cal/gm-K		-1,47432	0,040386	-1,47108	0,0377394
	Molar Density	mol/cc		0,0645691	3,93023e-05	0,064458	4,05946e-05
	Mass Density	gm/cc		1,46376	0,00111698	1,46069	0,00116867
	Enthalpy Flow	cal/sec		-4,92722e+06	-12967,3	-4,93579e+06	-4399,92
	Average MW			22,6697	28,4202	22,6611	28,7889

Anexo E 59. Resultados de los flujos y fracciones molares del Absorbedor para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) × +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	LO - ABS	VN+ 1 - ABS	LN - ABS	V1 - ABS
– Mole Flows				kmol/hr	258,653	15,9858	259,252	15,3863
N2				kmol/hr	0,0362672	11,8404	0,0616506	11,815
O2				kmol/hr	0,0293615	3,1878	0,0505549	3,16661
AR				kmol/hr	0,000954025	0,14117	0,00157227	0,140552
CO2				kmol/hr	0,000508744	0,01063	0,000600604	0,0105381
H2O				kmol/hr	195,197	0,80583	195,749	0,25357
CACL2				kmol/hr	0	0	0	0
CA++				kmol/hr	21,1296	0	21,1296	0
CL-				kmol/hr	42,2592	0	42,2592	0
– Mole Fractions								
N2					0,000140216	0,740681	0,000237802	0,767893
O2					0,000113517	0,199414	0,000195003	0,205807
AR					3,68844e-06	0,00883096	6,06463e-06	0,00913489
CO2					1,9669e-06	0,000664965	2,31668e-06	0,000684906
H2O					0,754667	0,0504091	0,755052	0,0164803
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,081691	0	0,0815021	0
CL-					0,163382	0	0,163004	0

Anexo E 60. Resultados de los flujos y fracciones máscas del Absorbedor para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) × +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	LO - ABS	VN+ 1 - ABS	LN - ABS	V1 - ABS
– Mass Flows				kg/hr	5863,57	454,321	5874,94	442,953
N2				kg/hr	1,01597	331,69	1,72705	330,979
O2				kg/hr	0,939532	102,006	1,6177	101,328
AR				kg/hr	0,0381114	5,63946	0,062809	5,61476
CO2				kg/hr	0,0223897	0,467824	0,0264325	0,463781
H2O				kg/hr	3516,52	14,5173	3526,47	4,56813
CACL2				kg/hr	0	0	0	0
CA++				kg/hr	846,809	0	846,809	0
CL-				kg/hr	1498,23	0	1498,23	0
– Mass Fractions								
N2					0,000173268	0,73008	0,000293969	0,74721
O2					0,000160232	0,224524	0,000275356	0,228755
AR					6,49969e-06	0,012413	1,0691e-05	0,0126757
CO2					3,81844e-06	0,00102972	4,49919e-06	0,00104702
H2O					0,599724	0,0319538	0,600257	0,0103129
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,144419	0	0,144139	0
CL-					0,255514	0	0,25502	0
Volume Flow				l/min	66,7637	6779	67,0339	6317,04

Anexo E 61. Resultados energéticos en las corrientes del Desorbedor para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	L0-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- MIXED Substream								
Phase					Vapor Phase	Liquid Phase	Vapor Phase	
Temperature				C	53,52	33,255	50,4938	51,3085
Pressure				bar	1,00099	1,001	1,00099	1,00099
Molar Vapor Fraction					0,000184964	1	0	1
Molar Liquid Fraction					0,999815	0	1	0
Molar Solid Fraction					0	0	0	0
Mass Vapor Fraction					0,000232254	1	0	1
Mass Liquid Fraction					0,999768	0	1	0
Mass Solid Fraction					0	0	0	0
Molar Enthalpy				cal/mol	-68226,4	-2920,21	-68273,1	-4040,25
Mass Enthalpy				cal/gm	-3010,73	-102,751	-3011,65	-143,345
Molar Entropy				cal/mol-K	-32,3346	1,14778	-32,4355	1,41747
Mass Entropy				cal/gm-K	-1,42688	0,0403859	-1,43079	0,0502908
Molar Density				mol/cc	0,0483394	3,93023e-05	0,0639201	3,71136e-05
Mass Density				gm/cc	1,09542	0,00111698	1,44905	0,00104606
Enthalpy Flow				cal/sec	-4,91329e+06	-19122,3	-4,90528e+06	-27129,7
Average MW					22,6611	28,4202	22,6697	28,1855

Anexo E 62. Resultados de los flujos y fracciones molares del Desorbedor para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	L0-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- Mole Flows								
				kmol/hr	259,252	23,5737	258,652	24,1734
N2				kmol/hr	0,0616506	17,4606	0,0362646	17,486
O2				kmol/hr	0,0505549	4,70093	0,0293574	4,72213
AR				kmol/hr	0,00157227	0,20818	0,000953966	0,208798
CO2				kmol/hr	0,000600604	0,01567	0,00050857	0,015762
H2O				kmol/hr	195,749	1,18833	195,197	1,7408
CACL2				kmol/hr	0	0	0	0
CA++				kmol/hr	21,1296	0	21,1296	0
CL-				kmol/hr	42,2592	0	42,2592	0
- Mole Fractions								
N2					0,000237802	0,740681	0,000140206	0,723354
O2					0,000195003	0,199414	0,000113501	0,195344
AR					6,06463e-06	0,00883103	3,68822e-06	0,00863751
CO2					2,31668e-06	0,000664724	1,96623e-06	0,000652039
H2O					0,755052	0,0504092	0,754667	0,0720127
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,0815021	0	0,0816911	0
CL-					0,163004	0	0,163382	0

Anexo E 63. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Desorbedor para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	L0-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- Mass Flows			kg/hr	5874,94	669,97	5863,57	681,341
N2			kg/hr	1,72705	489,132	1,0159	489,843
O2			kg/hr	1,6177	150,424	0,9394	151,102
AR			kg/hr	0,062809	8,31637	0,038109	8,34107
CO2			kg/hr	0,0264325	0,689634	0,0223821	0,693684
H2O			kg/hr	3526,47	21,4081	3516,52	31,3609
CACL2			kg/hr	0	0	0	0
CA++			kg/hr	846,809	0	846,809	0
CL-			kg/hr	1498,23	0	1498,23	0
- Mass Fractions							
N2				0,000293969	0,73008	0,000173256	0,718939
O2				0,000275356	0,224524	0,00016021	0,221772
AR				1,0691e-05	0,0124131	6,49929e-06	0,0122421
CO2				4,49919e-06	0,00102935	3,81714e-06	0,00101812
H2O				0,600257	0,0319538	0,599723	0,0460282
CACL2				0	0	0	0
CA++				0,144139	0	0,144419	0
CL-				0,25502	0	0,255514	0
Volume Flow			l/min	89,386	9996,75	67,4416	10855,6

Anexo E 64. Resultados energéticos de la Bomba 1 para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet x BOMBA-1 (Pump) - Results x +				
Summary	Balance	Performance Curve	Utility Usage	Status
Fluid power	7,70304	Watt		
Brake power	10,2707	Watt		
Electricity	10,2707	Watt		
Volumetric flow rate	67,0339	l/min		
Pressure change	0,068046	atm		
NPSH available	0,539997	meter-head		
NPSH required				
Head developed	0,481327	meter-head		
Pump efficiency used	0,75			
Net work required	10,2707	Watt		
Outlet pressure	1,05595	atm		
Outlet temperature	24,5477	C		

Anexo E 65. Resultados de los flujos y fracciones molares de la Bomba 1 para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × BOMBA-1 (Pump) - Stream Results (Boundary) × +								
Material	Work	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids		
				Units	LN-ABS	LIN-COLE		
— Mole Flows				kmol/hr	259,252	259,252		
				N2	kmol/hr	0,0616506	0,0616506	
				O2	kmol/hr	0,0505549	0,0505549	
				AR	kmol/hr	0,00157227	0,00157227	
				CO2	kmol/hr	0,000600604	0,000600604	
				H2O	kmol/hr	195,749	195,749	
				CACL2	kmol/hr	0	0	
				CA++	kmol/hr	21,1296	21,1296	
				CL-	kmol/hr	42,2592	42,2592	
— Mole Fractions								
				N2		0,000237802	0,000237802	
				O2		0,000195003	0,000195003	
				AR		6,06463e-06	6,06463e-06	
				CO2		2,31668e-06	2,31668e-06	
				H2O		0,755052	0,755052	
				CACL2		0	0	
				CA++		0,0815021	0,0815021	
				CL-		0,163004	0,163004	

Anexo E 66. Resultados de los flujos y fracciones másicas de la Bomba 1 para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × BOMBA-1 (Pump) - Stream Results (Boundary) × +								
Material	Work	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids		
				Units	LN-ABS	LIN-COLE		
— Mass Flows				kg/hr	5874,94	5874,94		
				N2	kg/hr	1,72705	1,72705	
				O2	kg/hr	1,6177	1,6177	
				AR	kg/hr	0,062809	0,062809	
				CO2	kg/hr	0,0264325	0,0264325	
				H2O	kg/hr	3526,47	3526,47	
				CACL2	kg/hr	0	0	
				CA++	kg/hr	846,809	846,809	
				CL-	kg/hr	1498,23	1498,23	
— Mass Fractions								
				N2		0,000293969	0,000293969	
				O2		0,000275356	0,000275356	
				AR		1,0691e-05	1,0691e-05	
				CO2		4,49919e-06	4,49919e-06	
				H2O		0,600257	0,600257	
				CACL2		0	0	
				CA++		0,144139	0,144139	
				CL-		0,25502	0,25502	
				Volume Flow	l/min	67,0339	67,0337	

Anexo E 67. Resultados energéticos de la Bomba 2 para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × BOMBA-2 (Pump) - Results × +				
Summary	Balance	Performance Curve	Utility Usage	Status
Fluid power	38,7495	Watt		
Brake power	51,6659	Watt		
Electricity	51,6659	Watt		
Volumetric flow rate	67,4416	l/min		
Pressure change	0,34023	atm		
NPSH available	0,113521	meter-head		
NPSH required				
Head developed	2,42597	meter-head		
Pump efficiency used	0,75			
Net work required	51,6659	Watt		
Outlet pressure	1,32813	atm		
Outlet temperature	50,5018	C		

Anexo E 68. Resultados de los flujos y fracciones molares de la Bomba 2 para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × BOMBA-2 (Pump) - Stream Results (Boundary) × +						
Material	Work	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units		LN-DESOR	LIN-ENFR	
— Mole Flows		kmol/hr		258,652	258,652	
▶	N2		kmol/hr	0,0362646	0,0362646	
▶	O2		kmol/hr	0,0293574	0,0293574	
▶	AR		kmol/hr	0,000953966	0,000953966	
▶	CO2		kmol/hr	0,00050857	0,00050857	
▶	H2O		kmol/hr	195,197	195,197	
▶	CACL2		kmol/hr	0	0	
▶	CA++		kmol/hr	21,1296	21,1296	
▶	CL-		kmol/hr	42,2592	42,2592	
— Mole Fractions						
▶	N2			0,000140206	0,000140206	
▶	O2			0,000113501	0,000113501	
▶	AR			3,68822e-06	3,68822e-06	
▶	CO2			1,96623e-06	1,96623e-06	
▶	H2O			0,754667	0,754667	
▶	CACL2			0	0	
▶	CA++			0,0816911	0,0816911	
▶	CL-			0,163382	0,163382	

Anexo E 69. Resultados de los flujos y fracciones másicas de la Bomba 2 para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × BOMBA-2 (Pump) - Stream Results (Boundary) × +								
Material	Work	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids		
			Units	LN-DESOR	LIN-ENFR			
- Mass Flows			kg/hr	5863,57	5863,57			
	N2		kg/hr	1,0159	1,0159			
	O2		kg/hr	0,9394	0,9394			
	AR		kg/hr	0,038109	0,038109			
	CO2		kg/hr	0,0223821	0,0223821			
	H2O		kg/hr	3516,52	3516,52			
	CACL2		kg/hr	0	0			
	CA++		kg/hr	846,809	846,809			
	CL-		kg/hr	1498,23	1498,23			
- Mass Fractions								
	N2			0,000173256	0,000173256			
	O2			0,00016021	0,00016021			
	AR			6,49929e-06	6,49929e-06			
	CO2			3,81714e-06	3,81714e-06			
	H2O			0,599723	0,599723			
	CACL2			0	0			
	CA++			0,144419	0,144419			
	CL-			0,255514	0,255514			
	Volume Flow		l/min	67,4416	67,4409			

Anexo E 70. Resultados energéticos del Colector para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × COLECTOR (Heater) - Results × +				
Summary	Balance	Phase Equilibrium	Utility Usage	Status
Outlet temperature	53,52	C		
Outlet pressure	0,9879	atm		
Vapor fraction	0,000184964			
Heat duty	94,1856	kW		
Net duty	94,1856	kW		
1st liquid / Total liquid	1			
Pressure-drop correlation parameter				
Pressure drop	0,068046	atm		

Anexo E 71. Resultados de los flujos y fracciones molares del Colector para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × COLECTOR (Heater) - Stream Results (Feeds) × +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LIN-ENFR	LO-OUT		
- Mole Flows			kmol/hr	258,652	258,652		
N2			kmol/hr	0,0362646	0,0362646		
O2			kmol/hr	0,0293574	0,0293574		
AR			kmol/hr	0,000953966	0,000953966		
CO2			kmol/hr	0,00050857	0,00050857		
H2O			kmol/hr	195,197	195,197		
CACL2			kmol/hr	0	0		
CA++			kmol/hr	21,1296	21,1296		
CL-			kmol/hr	42,2592	42,2592		
- Mole Fractions							
N2				0,000140206	0,000140206		
O2				0,000113501	0,000113501		
AR				3,68822e-06	3,68822e-06		
CO2				1,96623e-06	1,96623e-06		
H2O				0,754667	0,754667		
CACL2				0	0		
CA++				0,0816911	0,0816911		
CL-				0,163382	0,163382		

Anexo E 72. Resultados de los flujos y fracciones máscas del Colector para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × COLECTOR (Heater) - Stream Results (Feeds) × +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LIN-ENFR	LO-OUT		
- Mass Flows			kg/hr	5863,57	5863,57		
N2			kg/hr	1,0159	1,0159		
O2			kg/hr	0,9394	0,9394		
AR			kg/hr	0,038109	0,038109		
CO2			kg/hr	0,0223821	0,0223821		
H2O			kg/hr	3516,52	3516,52		
CACL2			kg/hr	0	0		
CA++			kg/hr	846,809	846,809		
CL-			kg/hr	1498,23	1498,23		
- Mass Fractions							
N2				0,000173256	0,000173256		
O2				0,00016021	0,00016021		
AR				6,49929e-06	6,49929e-06		
CO2				3,81714e-06	3,81714e-06		
H2O				0,599723	0,599723		
CACL2				0	0		
CA++				0,144419	0,144419		
CL-				0,255514	0,255514		
Volume Flow			l/min	67,4409	66,7637		

Anexo E 73. Resultados energéticos del Enfriador para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × ENFRIADO (Heater) - Results × +				
Summary	Balance	Phase Equilibrium	Utility Usage	Status
Outlet temperature	22	C		
Outlet pressure	0,9879	atm		
Vapor fraction	0			
Heat duty	-91,8863	kW		
Net duty	-91,8863	kW		
1st liquid / Total liquid	1			
Pressure-drop correlation parameter				
Pressure drop	0,34023	atm		

Anexo E 74. Resultados de los flujos y fracciones molares del Enfriador para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × ENFRIADO (Heater) - Stream Results (Boundary) × +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
					Units	LIN-ENFR	L0-OUT
- Mole Flows					kmol/hr	258,652	258,652
					kmol/hr	0,0362646	0,0362646
					kmol/hr	0,0293574	0,0293574
					kmol/hr	0,000953966	0,000953966
					kmol/hr	0,00050857	0,00050857
					kmol/hr	195,197	195,197
					kmol/hr	0	0
					kmol/hr	21,1296	21,1296
					kmol/hr	42,2592	42,2592
- Mole Fractions							
						0,000140206	0,000140206
						0,000113501	0,000113501
						3,68822e-06	3,68822e-06
						1,96623e-06	1,96623e-06
						0,754667	0,754667
						0	0
						0,0816911	0,0816911
						0,163382	0,163382

Anexo E 75. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Enfriador para la ciudad de Arauca.

Main Flowsheet × ENFRIADO (Heater) - Stream Results (Boundary) × +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	LIN-ENFR	L0-OUT	
- Mass Flows							
				kg/hr	5863,57	5863,57	
				kg/hr	1,0159	1,0159	
				kg/hr	0,9394	0,9394	
				kg/hr	0,038109	0,038109	
				kg/hr	0,0223821	0,0223821	
				kg/hr	3516,52	3516,52	
				kg/hr	0	0	
				kg/hr	846,809	846,809	
				kg/hr	1498,23	1498,23	
- Mass Fractions							
					0,000173256	0,000173256	
					0,00016021	0,00016021	
					6,49929e-06	6,49929e-06	
					3,81714e-06	3,81714e-06	
					0,599723	0,599723	
					0	0	
					0,144419	0,144419	
					0,255514	0,255514	
				l/min	67,4409	66,7637	

Anexo E 76. Especificación de la corriente fresca de alimento al proceso para la simulación en Buenaventura.

Main Flowsheet × L0-FRESC (MATERIAL) × +	
<input checked="" type="radio"/> Mixed	CI Solid NC Solid Flash Options EO Options Costing Comments
Specifications	
Flash Type	Temperature Pressure
State variables	
Temperature	22 C
Pressure	1,0021 atm
Vapor fraction	
Total flow basis	Mole
Total flow rate	kmol/hr
Solvent	
Reference Temperature	
Volume flow reference temperature	C
Component concentration reference temperature	C
Composition	
Mole-Flow	kmol/hr
Component	Value
N2	8,6e-07
O2	2,19e-06
AR	5e-08
CO2	1,4e-08
H2O	2,1951e-06
CACL2	8,99e-15
CA++	
CL-	
Total	5,3091e-06

Anexo E 77. Especificación de la corriente de aire a la entrada del Ventilador 1 para la ciudad de Buenaventura.

The screenshot shows the 'AIRE-ABS (MATERIAL)' configuration window. The 'Specifications' section includes:

- Flash Type: Temperature, Pressure
- State variables:
 - Temperature: 34,6 C
 - Pressure: 759,8 mmHg
 - Vapor fraction: (empty)
 - Total flow basis: Mole
 - Total flow rate: (empty) kmol/hr
 - Solvent: (empty)
- Reference Temperature:
 - Volume flow reference temperature: (empty) C
 - Component concentration reference temperature: (empty) C

The 'Composition' table shows the following data:

Component	Value
N2	11,7023
O2	3,15062
AR	0,13953
CO2	0,0105
H2O	0,86204
CACL2	
CA++	
CL-	
Total	15,865

Anexo E 78. Especificación de la corriente de aire a la entrada del Ventilador 2 para la ciudad de Buenaventura.

The screenshot shows the 'AIRE-DES (MATERIAL)' configuration window. The 'Specifications' section includes:

- Flash Type: Temperature, Pressure
- State variables:
 - Temperature: 34,6 C
 - Pressure: 759,8 mmHg
 - Vapor fraction: (empty)
 - Total flow basis: Mole
 - Total flow rate: (empty) kmol/hr
 - Solvent: (empty)
- Reference Temperature:
 - Volume flow reference temperature: (empty) C
 - Component concentration reference temperature: (empty) C

The 'Composition' table shows the following data:

Component	Value
N2	26,8508
O2	7,22907
AR	0,32014
CO2	0,0241
H2O	1,97794
CACL2	
CA++	
CL-	
Total	36,4021

Anexo E 79. Especificación de la presión de la columna de Absorción y desorción para la ciudad de Buenaventura.

The screenshot shows the 'ABS (RadFrac)' configuration window, specifically the 'Pressure' tab. The 'View' is set to 'Top / Bottom'. The pressure specifications are:

- Top stage / Condenser pressure: Stage 1 / Condenser pressure: 1,0021 atm
- Stage 2 pressure (optional):
 - Stage 2 pressure: (empty) bar
 - Condenser pressure drop: (empty) bar
- Pressure drop for rest of column (optional):
 - Stage pressure drop: (empty) bar
 - Column pressure drop: (empty) bar

Anexo E 80. Especificación del Colector para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x COLECTOR (Heater) x +

Specifications Flash Options Utility Comments

Flash specifications

Flash Type **Temperature**

Pressure

Temperature **53,39** C

Temperature change C

Degrees of superheating C

Degrees of subcooling C

Pressure **1,0021** atm

Duty cal/sec

Vapor fraction

Pressure drop correlation parameter

Always calculate pressure drop correlation parameter

Valid phases

Vapor-Liquid

Anexo E 81. Especificación del Enfriador para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x ENFRIADO (Heater) x +

Specifications Flash Options Utility Comments

Flash specifications

Flash Type **Temperature**

Pressure

Temperature **22** C

Temperature change C

Degrees of superheating C

Degrees of subcooling C

Pressure **1,0021** atm

Duty cal/sec

Vapor fraction

Pressure drop correlation parameter

Always calculate pressure drop correlation parameter

Valid phases

Vapor-Liquid

Anexo E 82. Resultados de las condiciones energéticas de cada corriente para el mezclador en la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
						L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS
- MIXED Substream								
Phase						Liquid Phase	Liquid Phase	
Temperature	C					22	22	22
Pressure	bar					1,01538	1,01538	1,01538
Molar Vapor Fraction						0,601056	0	0
Molar Liquid Fraction						0,398944	1	1
Molar Solid Fraction						0	0	0
Mass Vapor Fraction						0,719417	0	0
Mass Liquid Fraction						0,280583	1	1
Mass Solid Fraction						0	0	0
Molar Enthalpy	cal/mol					-28361,2	-68578	-68578
Mass Enthalpy	cal/gm					-1104,49	-3025,09	-3025,09
Molar Entropy	cal/mol-K					-14,8315	-33,4223	-33,4223
Mass Entropy	cal/gm-K					-0,577594	-1,47432	-1,47432
Molar Density	mol/cc					6,88418e-05	0,0645675	0,0645675
Mass Density	gm/cc					0,00176773	1,46373	1,46373
Enthalpy Flow	cal/sec					-0,0418257	-5,52379e+06	-5,52378e+06
Average MW						25,6781	22,6697	22,6697

Anexo E 83. Resultados de los flujos y fracciones molares del mezclador para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
						L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS
- Mole Flows								
N2	kmol/hr					5,3091e-06	289,971	289,971
O2	kmol/hr					8,6e-07	0,0415928	0,0415937
AR	kmol/hr					2,19e-06	0,0336627	0,0336643
CO2	kmol/hr					5e-08	0,00109354	0,00109353
H2O	kmol/hr					1,4e-08	0,000580554	0,000580548
CACL2	kmol/hr					2,1951e-06	218,831	218,83
CA++	kmol/hr					8,99e-15	0	0
CL-	kmol/hr					0	23,6878	23,6879
	kmol/hr					0	47,3757	47,3757
- Mole Fractions								
N2						0,161986	0,000143438	0,000143441
O2						0,412499	0,00011609	0,000116096
AR						0,00941779	3,77122e-06	3,77119e-06
CO2						0,00263698	2,00211e-06	2,00209e-06
H2O						0,41346	0,754664	0,754663
CACL2						1,69332e-09	0	0
CA++						0	0,0816904	0,0816905
CL-						0	0,163381	0,163381

Anexo E 84. Resultados de los flujos y fracciones masicos del mezclador para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet × MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) × +									
Material	Heat	Load	Work	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
			Units	L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS			
▶ - Mass Flows			kg/hr	0,000136328	6573,57	6573,56			
▶ N2			kg/hr	2,40916e-05	1,16516	1,16519			
▶ O2			kg/hr	7,00774e-05	1,07716	1,07722			
▶ AR			kg/hr	1,9974e-06	0,0436849	0,0436845			
▶ CO2			kg/hr	6,16137e-07	0,0255501	0,0255498			
▶ H2O			kg/hr	3,95453e-05	3942,3	3942,29			
▶ CACL2			kg/hr	9,97741e-13	0	0			
▶ CA++			kg/hr	0	949,336	949,336			
▶ CL-			kg/hr	0	1679,62	1679,62			
▶ - Mass Fractions									
▶ N2				0,176718	0,000177249	0,000177253			
▶ O2				0,514036	0,000163863	0,000163871			
▶ AR				0,0146514	6,64554e-06	6,64549e-06			
▶ CO2				0,00451953	3,88679e-06	3,88675e-06			
▶ H2O				0,290075	0,59972	0,599719			
▶ CACL2				7,31869e-09	0	0			
▶ CA++				0	0,144417	0,144417			
▶ CL-				0	0,255512	0,255512			
▶ Volume Flow			l/min	0,00128534	74,8496	74,8496			

Anexo E 85. Resultados energéticos del Ventilador 1 para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet × VENT-1 (Compr) - Results × +						
Summary	Balance	Parameters	Performance	Regression	Utility Usage	Status
▶ Compressor model	Isentropic Compressor					
▶ Phase calculations	Vapor phase calculation					
▶ Indicated horsepower	32,7198 Watt					
▶ Brake horsepower	32,7198 Watt					
▶ Net work required	32,7198 Watt					
▶ Power loss	0 Watt					
▶ Efficiency	0,82					
▶ Mechanical efficiency	1					
▶ Outlet pressure	1,00212 atm					
▶ Outlet temperature	34,8525 C					
▶ Isentropic outlet temperature	34,8072 C					
▶ Vapor fraction	1					
▶ Displacement						
▶ Volumetric efficiency						

Anexo E 86. Resultados de los flujos y fracciones molares del Ventilador 1 para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units		AIRE-ABS	VN+1-ABS	
- Mole Flows		kmol/hr		15,865	15,865	
	N2	kmol/hr		11,7023	11,7023	
	O2	kmol/hr		3,15062	3,15062	
	AR	kmol/hr		0,13953	0,13953	
	CO2	kmol/hr		0,0105	0,0105	
	H2O	kmol/hr		0,86204	0,86204	
	CACL2	kmol/hr		0	0	
	CA++	kmol/hr		0	0	
	CL-	kmol/hr		0	0	
- Mole Fractions						
	N2			0,737618	0,737618	
	O2			0,19859	0,19859	
	AR			0,00879484	0,00879484	
	CO2			0,000661835	0,000661835	
	H2O			0,054336	0,054336	
	CACL2			0	0	
	CA++			0	0	
	CL-			0	0	

Anexo E 87. Resultados de los flujos y fracciones máscas del Ventilador 1 para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units		AIRE-ABS	VN+1-ABS	
- Mass Flows		kg/hr		450,204	450,204	
	N2	kg/hr		327,822	327,822	
	O2	kg/hr		100,816	100,816	
	AR	kg/hr		5,57394	5,57394	
	CO2	kg/hr		0,462103	0,462103	
	H2O	kg/hr		15,5299	15,5299	
	CACL2	kg/hr		0	0	
	CA++	kg/hr		0	0	
	CL-	kg/hr		0	0	
- Mass Fractions						
	N2			0,728163	0,728163	
	O2			0,223934	0,223934	
	AR			0,0123809	0,0123809	
	CO2			0,00102643	0,00102643	
	H2O			0,0344952	0,0344952	
	CACL2			0	0	
	CA++			0	0	
	CL-			0	0	
	Volume Flow	l/min		6677,24	6666,86	

Anexo E 88. Resultados energéticos del Ventilador 2 para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet		VENT-2 (Compr) - Results	
Summary	Balance	Parameters	Performance
Compressor model	Isentropic Compressor		
Phase calculations	Vapor phase calculation		
Indicated horsepower	75,0752	Watt	
Brake horsepower	75,0752	Watt	
Net work required	75,0752	Watt	
Power loss	0	Watt	
Efficiency			0,82
Mechanical efficiency			1
Outlet pressure	1,00212	atm	
Outlet temperature	34,8525	C	
Isentropic outlet temperature	34,8072	C	
Vapor fraction			1
Displacement			
Volumetric efficiency			

Anexo E 89. Resultados de los flujos y fracciones molares del Ventilador 2 para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet		VENT-2 (Compr) - Stream Results (Boundary)	
Material	Work	Vol.% Curves	Wt.% Curves
		Petroleum	Polymers
		Solids	
		Units	
		AIRE-DES	VN+1-DES
- Mole Flows	kmol/hr	36,4021	36,4021
N2	kmol/hr	26,8508	26,8508
O2	kmol/hr	7,22907	7,22907
AR	kmol/hr	0,32014	0,32014
CO2	kmol/hr	0,0241	0,0241
H2O	kmol/hr	1,97794	1,97794
CACL2	kmol/hr	0	0
CA++	kmol/hr	0	0
CL-	kmol/hr	0	0
- Mole Fractions			
N2		0,737618	0,737618
O2		0,19859	0,19859
AR		0,00879456	0,00879456
CO2		0,000662051	0,000662051
H2O		0,054336	0,054336
CACL2		0	0
CA++		0	0
CL-		0	0

Anexo E 90. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Ventilador 2 para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x VENT-2 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units		AIRE-DES	VN+1-DES	
- Mass Flows			kg/hr	1032,99	1032,99	
	N2		kg/hr	752,184	752,184	
	O2		kg/hr	231,322	231,322	
	AR		kg/hr	12,789	12,789	
	CO2		kg/hr	1,06064	1,06064	
	H2O		kg/hr	35,6331	35,6331	
	CACL2		kg/hr	0	0	
	CA++		kg/hr	0	0	
	CL-		kg/hr	0	0	
- Mass Fractions						
	N2			0,728163	0,728163	
	O2			0,223934	0,223934	
	AR			0,0123805	0,0123805	
	CO2			0,00102676	0,00102676	
	H2O			0,0344952	0,0344952	
	CACL2			0	0	
	CA++			0	0	
	CL-			0	0	
	Volume Flow		l/min	15320,9	15297	

Anexo E 91. Resultados energéticos e las corrientes del Absorbedor para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units		L0-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- MIXED Substream							
	Phase		Liquid Phase	Vapor Phase	Liquid Phase	Vapor Phase	
	Temperature	C	22	34,8525	24,5422	23,4638	
	Pressure	bar	1,01538	1,0154	1,01538	1,01538	
	Molar Vapor Fraction		0	1	0	1	
	Molar Liquid Fraction		1	0	1	0	
	Molar Solid Fraction		0	0	0	0	
	Mass Vapor Fraction		0	1	0	1	
	Mass Liquid Fraction		1	0	1	0	
	Mass Solid Fraction		0	0	0	0	
	Molar Enthalpy	cal/mol	-68578	-3135,7	-68538,5	-1018,66	
	Mass Enthalpy	cal/gm	-3025,09	-110,501	-3024,48	-35,3819	
	Molar Entropy	cal/mol-K	-33,4223	1,13248	-33,3363	1,05852	
	Mass Entropy	cal/gm-K	-1,47432	0,039908	-1,47107	0,0367661	
	Molar Density	mol/cc	0,0645675	3,96613e-05	0,0644567	4,11778e-05	
	Mass Density	gm/cc	1,46373	0,00112548	1,46067	0,00118553	
	Enthalpy Flow	cal/sec	-5,52378e+06	-13818,9	-5,5333e+06	-4300,37	
	Average MW		22,6697	28,3772	22,6612	28,7905	

Anexo E 92. Resultados de los flujos y fracciones molares del Absorbedor para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LO-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- Mole Flows			kmol/hr	289,971	15,865	290,638	15,1977
N2			kmol/hr	0,0415937	11,7023	0,069977	11,6739
O2			kmol/hr	0,0336643	3,15062	0,0573659	3,12692
AR			kmol/hr	0,00109353	0,13953	0,00178476	0,138839
CO2			kmol/hr	0,000580548	0,0105	0,000682235	0,0103983
H2O			kmol/hr	218,83	0,86204	219,445	0,247637
CACL2			kmol/hr	0	0	0	0
CA++			kmol/hr	23,6879	0	23,6878	0
CL-			kmol/hr	47,3757	0	47,3757	0
- Mole Fractions							
N2				0,000143441	0,737618	0,00024077	0,768136
O2				0,000116096	0,19859	0,000197379	0,205749
AR				3,77119e-06	0,00879484	6,14083e-06	0,00913551
CO2				2,00209e-06	0,000661835	2,34737e-06	0,000684203
H2O				0,754663	0,054336	0,755045	0,0162944
CACL2				0	0	0	0
CA++				0,0816905	0	0,0815029	0
CL-				0,163381	0	0,163006	0

Anexo E 93. Resultados de los flujos y fracciones máscas del Absorbedor para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LO-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- Mass Flows			kg/hr	6573,56	450,204	6586,21	437,55
N2			kg/hr	1,16519	327,822	1,9603	327,027
O2			kg/hr	1,07722	100,816	1,83564	100,058
AR			kg/hr	0,0436845	5,57394	0,0712976	5,54633
CO2			kg/hr	0,0255498	0,462103	0,030025	0,457628
H2O			kg/hr	3942,29	15,5299	3953,36	4,46124
CACL2			kg/hr	0	0	0	0
CA++			kg/hr	949,336	0	949,336	0
CL-			kg/hr	1679,62	0	1679,62	0
- Mass Fractions							
N2				0,000177253	0,728163	0,000297637	0,747405
O2				0,000163871	0,223934	0,000278709	0,228677
AR				6,64549e-06	0,0123809	1,08253e-05	0,0126759
CO2				3,88675e-06	0,00102643	4,55877e-06	0,00104589
H2O				0,599719	0,0344952	0,600247	0,010196
CACL2				0	0	0	0
CA++				0,144417	0	0,14414	0
CL-				0,255512	0	0,255021	0
Volume Flow			l/min	74,8496	6666,86	75,1507	6151,26

Anexo E 94. Resultados energéticos e las corrientes del Desorbedor para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units	LO-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES	
- MIXED Substream							
Phase			Vapor Phase	Liquid Phase	Vapor Phase		
Temperature	C	53,39	34,8525	50,1344	50,9999		
Pressure	bar	1,01538	1,0154	1,01538	1,01538		
Molar Vapor Fraction		0,000185363	1	0	1		
Molar Liquid Fraction		0,999815	0	1	0		
Molar Solid Fraction		0	0	0	0		
Mass Vapor Fraction		0,000232874	1	0	1		
Mass Liquid Fraction		0,999767	0	1	0		
Mass Solid Fraction		0	0	0	0		
Molar Enthalpy	cal/mol	-68227,5	-3135,72	-68276,7	-3921,76		
Mass Enthalpy	cal/gm	-3010,76	-110,501	-3011,8	-139,031		
Molar Entropy	cal/mol-K	-32,3388	1,13248	-32,4476	1,39567		
Mass Entropy	cal/gm-K	-1,42706	0,039908	-1,43132	0,0494781		
Molar Density	mol/cc	0,0484873	3,96613e-05	0,0639291	3,76826e-05		
Mass Density	gm/cc	1,09878	0,00112548	1,44926	0,00106295		
Enthalpy Flow	cal/sec	-5,50819e+06	-31707,4	-5,49952e+06	-40382		
Average MW		22,6612	28,3772	22,6697	28,2079		

Anexo E 95. Resultados de los flujos y fracciones molares del Desorbedor para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units	LO-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES	
- Mole Flows							
		kmol/hr	290,638	36,4021	289,971	37,0689	
N2		kmol/hr	0,069977	26,8508	0,0415928	26,8792	
O2		kmol/hr	0,0573659	7,22907	0,0336627	7,25277	
AR		kmol/hr	0,00178476	0,32014	0,00109354	0,320831	
CO2		kmol/hr	0,000682235	0,0241	0,000580554	0,0242017	
H2O		kmol/hr	219,445	1,97794	218,831	2,59195	
CACL2		kmol/hr	0	0	0	0	
CA++		kmol/hr	23,6878	0	23,6878	0	
CL-		kmol/hr	47,3757	0	47,3757	0	
- Mole Fractions							
N2			0,00024077	0,737618	0,000143438	0,725113	
O2			0,000197379	0,19859	0,00011609	0,195656	
AR			6,14083e-06	0,00879456	3,77122e-06	0,00865499	
CO2			2,34737e-06	0,000662051	2,00211e-06	0,000652883	
H2O			0,755045	0,054336	0,754664	0,0699223	
CACL2			0	0	0	0	
CA++			0,0815029	0	0,0816904	0	
CL-			0,163006	0	0,163381	0	

Anexo E 96. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Desorbedor para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	LO-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- Mass Flows				kg/hr	6586,21	1032,99	6573,57	1045,64
N2				kg/hr	1,9603	752,184	1,16516	752,979
O2				kg/hr	1,83564	231,322	1,07716	232,08
AR				kg/hr	0,0712976	12,789	0,0436849	12,8166
CO2				kg/hr	0,030025	1,06064	0,0255501	1,06511
H2O				kg/hr	3953,36	35,6331	3942,3	46,6946
CACL2				kg/hr	0	0	0	0
CA++				kg/hr	949,336	0	949,336	0
CL-				kg/hr	1679,62	0	1679,62	0
- Mass Fractions								
N2					0,000297637	0,728163	0,000177249	0,720116
O2					0,000278709	0,223934	0,000163863	0,221951
AR					1,08253e-05	0,0123805	6,64554e-06	0,0122572
CO2					4,55877e-06	0,00102676	3,88679e-06	0,00101863
H2O					0,600247	0,0344952	0,59972	0,0446567
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,14414	0	0,144417	0
CL-					0,255021	0	0,255512	0
Volume Flow				l/min	99,9017	15297	75,597	16395,2

Anexo E 97. Resultados energéticos de la Bomba 1 para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x BOMBA-1 (Pump) - Results x +			
Summary	Balance	Performance Curve	Utility Usage
Fluid power	8,63576	Watt	
Brake power	11,5143	Watt	
Electricity	11,5143	Watt	
Volumetric flow rate	75,1507	l/min	
Pressure change	0,068046	atm	
NPSH available	0,562135	meter-head	
NPSH required			
Head developed	0,481334	meter-head	
Pump efficiency used	0,75		
Net work required	0,0115143	kW	
Outlet pressure	1,07015	atm	
Outlet temperature	24,5436	C	

Anexo E 98. Resultados de los flujos y fracciones molares de la Bomba 1 para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet < BOMBA-1 (Pump) - Stream Results (Boundary) < +				
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum Polymers Solids
		Units		LN-ABS LIN-COLE
- Mole Flows		kmol/hr	290,638	290,638
N2		kmol/hr	0,069977	0,069977
O2		kmol/hr	0,0573659	0,0573659
AR		kmol/hr	0,00178476	0,00178476
CO2		kmol/hr	0,000682235	0,000682235
H2O		kmol/hr	219,445	219,445
CACL2		kmol/hr	0	0
CA++		kmol/hr	23,6878	23,6878
CL-		kmol/hr	47,3757	47,3757
- Mole Fractions				
N2			0,00024077	0,00024077
O2			0,000197379	0,000197379
AR			6,14083e-06	6,14083e-06
CO2			2,34737e-06	2,34737e-06
H2O			0,755045	0,755045
CACL2			0	0
CA++			0,0815029	0,0815029
CL-			0,163006	0,163006

Anexo E 99. Resultados de los flujos y fracciones máxicas de la Bomba 1 para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet < BOMBA-1 (Pump) - Stream Results (Boundary) < +				
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum Polymers Solids
		Units		LN-ABS LIN-COLE
- Mass Flows		kg/hr	6586,21	6586,21
N2		kg/hr	1,9603	1,9603
O2		kg/hr	1,83564	1,83564
AR		kg/hr	0,0712976	0,0712976
CO2		kg/hr	0,030025	0,030025
H2O		kg/hr	3953,36	3953,36
CACL2		kg/hr	0	0
CA++		kg/hr	949,336	949,336
CL-		kg/hr	1679,62	1679,62
- Mass Fractions				
N2			0,000297637	0,000297637
O2			0,000278709	0,000278709
AR			1,08253e-05	1,08253e-05
CO2			4,55877e-06	4,55877e-06
H2O			0,600247	0,600247
CACL2			0	0
CA++			0,14414	0,14414
CL-			0,255021	0,255021
Volume Flow		l/min	75,1507	75,1505

Anexo E 100. Resultados energéticos de la Bomba 2 para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet × BOMBA-2 (Pump) - Results × +			
Summary	Balance	Performance Curve	Utility Usage
Fluid power	43,4353	Watt	▼
Brake power	57,9137	Watt	▼
Electricity	57,9137	Watt	▼
Volumetric flow rate	75,597	l/min	▼
Pressure change	0,34023	atm	▼
NPSH available	0,120579	meter-head	▼
NPSH required			▼
Head developed	2,42562	meter-head	▼
Pump efficiency used	0,75		
Net work required	57,9137	Watt	▼
Outlet pressure	1,34233	atm	▼
Outlet temperature	50,1424	C	▼

Anexo E 101. Resultados de los flujos y fracciones molares de la Bomba 2 para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet × BOMBA-2 (Pump) - Stream Results (Boundary) × +						
Material	Work	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units		LN-DESOR	LIN-ENFR	
— Mole Flows		kmol/hr		289,971	289,971	
▶	N2		kmol/hr	0,0415928	0,0415928	
▶	O2		kmol/hr	0,0336627	0,0336627	
▶	AR		kmol/hr	0,00109354	0,00109354	
▶	CO2		kmol/hr	0,000580554	0,000580554	
▶	H2O		kmol/hr	218,831	218,831	
▶	CACL2		kmol/hr	0	0	
▶	CA++		kmol/hr	23,6878	23,6878	
▶	CL-		kmol/hr	47,3757	47,3757	
— Mole Fractions						
▶	N2			0,000143438	0,000143438	
▶	O2			0,00011609	0,00011609	
▶	AR			3,77122e-06	3,77122e-06	
▶	CO2			2,00211e-06	2,00211e-06	
▶	H2O			0,754664	0,754664	
▶	CACL2			0	0	
▶	CA++			0,0816904	0,0816904	
▶	CL-			0,163381	0,163381	

Anexo E 102. Resultados de los flujos y fracciones másicas de la Bomba 2 para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x BOMBA-2 (Pump) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids		
			Units	LN-DESOR	LIN-ENFR			
- Mass Flows			kg/hr	6573,57	6573,57			
	N2		kg/hr	1,16516	1,16516			
	O2		kg/hr	1,07716	1,07716			
	AR		kg/hr	0,0436849	0,0436849			
	CO2		kg/hr	0,0255501	0,0255501			
	H2O		kg/hr	3942,3	3942,3			
	CACL2		kg/hr	0	0			
	CA++		kg/hr	949,336	949,336			
	CL-		kg/hr	1679,62	1679,62			
- Mass Fractions								
	N2			0,000177249	0,000177249			
	O2			0,000163863	0,000163863			
	AR			6,64554e-06	6,64554e-06			
	CO2			3,88679e-06	3,88679e-06			
	H2O			0,59972	0,59972			
	CACL2			0	0			
	CA++			0,144417	0,144417			
	CL-			0,255512	0,255512			
	Volume Flow		l/min	75,597	75,5963			

Anexo E 103. Resultados energéticos del Colector para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x COLECTOR (Heater) - Results x +				
Summary	Balance	Phase Equilibrium	Utility Usage	Status
Outlet temperature	53,39	C		
Outlet pressure	1,0021	atm		
Vapor fraction	0,000185363			
Heat duty	105,115	kW		
Net duty	105,115	kW		
1st liquid / Total liquid	1			
Pressure-drop correlation parameter				
Pressure drop	0,068046	atm		

Anexo E 104. Resultados de los flujos y fracciones molares del Colector para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet × COLECTOR (Heater) - Stream Results (Feeds) × +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units		LIN-COLE	L0-DESOR	
- Mole Flows			kmol/hr		290,638	290,638	
N2			kmol/hr		0,069977	0,069977	
O2			kmol/hr		0,0573659	0,0573659	
AR			kmol/hr		0,00178476	0,00178476	
CO2			kmol/hr		0,000682235	0,000682235	
H2O			kmol/hr		219,445	219,445	
CACL2			kmol/hr		0	0	
CA++			kmol/hr		23,6878	23,6878	
CL-			kmol/hr		47,3757	47,3757	
- Mole Fractions							
N2					0,00024077	0,00024077	
O2					0,000197379	0,000197379	
AR					6,14083e-06	6,14083e-06	
CO2					2,34737e-06	2,34737e-06	
H2O					0,755045	0,755045	
CACL2					0	0	
CA++					0,0815029	0,0815029	
CL-					0,163006	0,163006	

Anexo E 105. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Colector para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet × COLECTOR (Heater) - Stream Results (Feeds) × +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units		LIN-COLE	L0-DESOR	
- Mass Flows			kg/hr		6586,21	6586,21	
N2			kg/hr		1,9603	1,9603	
O2			kg/hr		1,83564	1,83564	
AR			kg/hr		0,0712976	0,0712976	
CO2			kg/hr		0,030025	0,030025	
H2O			kg/hr		3953,36	3953,36	
CACL2			kg/hr		0	0	
CA++			kg/hr		949,336	949,336	
CL-			kg/hr		1679,62	1679,62	
- Mass Fractions							
N2					0,000297637	0,000297637	
O2					0,000278709	0,000278709	
AR					1,08253e-05	1,08253e-05	
CO2					4,55877e-06	4,55877e-06	
H2O					0,600247	0,600247	
CACL2					0	0	
CA++					0,14414	0,14414	
CL-					0,255021	0,255021	
Volume Flow			l/min		75,1505	99,9017	

Anexo E 106. Resultados energéticos del Enfriador para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet × ENFRIADO (Heater) - Results × +				
Summary	Balance	Phase Equilibrium	Utility Usage	Status
Outlet temperature	22	C		
Outlet pressure	1,0021	atm		
Vapor fraction	0			
Heat duty	-101,682	kW		
Net duty	-101,682	kW		
1st liquid / Total liquid	1			
Pressure-drop correlation parameter				
Pressure drop	0,34023	atm		

Anexo E 107. Resultados de los flujos y fracciones molares del Enfriador para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet × ENFRIADO (Heater) - Stream Results (Boundary) × +							
Material	Heat	Load	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
					Units	LIN-ENFR	L0-OUT
- Mole Flows							
					kmol/hr	289,971	289,971
					kmol/hr	0,0415928	0,0415928
					kmol/hr	0,0336627	0,0336627
					kmol/hr	0,00109354	0,00109354
					kmol/hr	0,000580554	0,000580554
					kmol/hr	218,831	218,831
					kmol/hr	0	0
					kmol/hr	23,6878	23,6878
					kmol/hr	47,3757	47,3757
- Mole Fractions							
						0,000143438	0,000143438
						0,00011609	0,00011609
						3,77122e-06	3,77122e-06
						2,00211e-06	2,00211e-06
						0,754664	0,754664
						0	0
						0,0816904	0,0816904
						0,163381	0,163381

Anexo E 108. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Enfriador para la ciudad de Buenaventura.

Main Flowsheet x ENFRIADO (Heater) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	LIN-ENFR	L0-OUT	
- Mass Flows				kg/hr	6573,57	6573,57	
N2				kg/hr	1,16516	1,16516	
O2				kg/hr	1,07716	1,07716	
AR				kg/hr	0,0436849	0,0436849	
CO2				kg/hr	0,0255501	0,0255501	
H2O				kg/hr	3942,3	3942,3	
CACL2				kg/hr	0	0	
CA++				kg/hr	949,336	949,336	
CL-				kg/hr	1679,62	1679,62	
- Mass Fractions							
N2					0,000177249	0,000177249	
O2					0,000163863	0,000163863	
AR					6,64554e-06	6,64554e-06	
CO2					3,88679e-06	3,88679e-06	
H2O					0,59972	0,59972	
CACL2					0	0	
CA++					0,144417	0,144417	
CL-					0,255512	0,255512	
Volume Flow				l/min	75,5963	74,8496	

Anexo E 109. Especificación de la corriente fresca de alimento al proceso para la simulación en Cartagena.

Main Flowsheet x L0-FRESC (MATERIAL) x +						
<input checked="" type="checkbox"/> Mixed	CI Solid	NC Solid	Flash Options	EO Options	Costing	Comments
Specifications						
Flash Type		Temperature	Pressure	Composition		
State variables		Mole-Flow		kmol/hr		
Temperature	22	C		Component	Value	
Pressure	1,0024	atm		N2	8,7e-07	
Vapor fraction				O2	2,22e-06	
Total flow basis	Mole			AR	5e-08	
Total flow rate		kmol/hr		CO2	1,6e-07	
Solvent				H2O	3,104e-06	
Reference Temperature				CACL2	4,97e-15	
Volume flow reference temperature				CA++		
Component concentration reference temperature				CL-		
				Total	6,404e-06	

Anexo E 110. Especificación de la corriente de aire a la entrada del Ventilador 1 para la ciudad de Cartagena.

The screenshot shows the 'AIRE-ABS (MATERIAL)' configuration window. The 'Specifications' section includes:

- Flash Type: Temperature, Pressure
- State variables:
 - Temperature: 36.6 C
 - Pressure: 760 mmHg
 - Vapor fraction: (empty)
 - Total flow basis: Mole
 - Total flow rate: (empty) kmol/hr
 - Solvent: (empty)
- Reference Temperature:
 - Volume flow reference temperature: C
 - Component concentration reference temperature: C

The 'Composition' section shows a table of components and their values in kmol/hr:

Component	Value
N2	11,522
O2	3,10206
AR	0,13738
CO2	0,01034
H2O	0,94375
CACL2	
CA++	
CL-	
Total	15,7155

Anexo E 111. Especificación de la corriente de aire a la entrada del Ventilador 2 para la ciudad de Cartagena.

The screenshot shows the 'AIRE-DES (MATERIAL)' configuration window. The 'Specifications' section includes:

- Flash Type: Temperature, Pressure
- State variables:
 - Temperature: 36,6 C
 - Pressure: 760 mmHg
 - Vapor fraction: (empty)
 - Total flow basis: Mole
 - Total flow rate: (empty) kmol/hr
 - Solvent: (empty)
- Reference Temperature:
 - Volume flow reference temperature: C
 - Component concentration reference temperature: C

The 'Composition' section shows a table of components and their values in kmol/hr:

Component	Value
N2	28,3584
O2	7,63495
AR	0,33812
CO2	0,02545
H2O	2,32279
CACL2	
CA++	
CL-	
Total	38,6797

Anexo E 112. Especificación de la presión de la columna de Absorción y desorción para la ciudad de Cartagena.

The screenshot shows the 'ABS (RadFrac)' configuration window. The 'Pressure' tab is active, showing the following settings:

- View: Top / Bottom
- Top stage / Condenser pressure:
 - Stage 1 / Condenser pressure: 1,0024 atm
- Stage 2 pressure (optional):
 - Stage 2 pressure: (empty) bar
 - Condenser pressure drop: (empty) bar
- Pressure drop for rest of column (optional):
 - Stage pressure drop: (empty) bar
 - Column pressure drop: (empty) bar

Anexo E 113. Especificación del Colector para la ciudad de Cartagena.

Anexo E 114. Especificación del Enfriador para la ciudad de Cartagena.

Anexo E 115. Resultados de las condiciones energéticas de cada corriente para el mezclador en la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet		MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary)						
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units			L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS
▶	MIXED Substream							
▶	Phase						Liquid Phase	Liquid Phase
▶	Temperature		C			22	22	22
▶	Pressure		bar			1,01568	1,01568	1,01568
▶	Molar Vapor Fraction					0,527586	0	0
▶	Molar Liquid Fraction					0,472414	1	1
▶	Molar Solid Fraction					0	0	0
▶	Mass Vapor Fraction					0,659206	0	0

▶	Mass Liquid Fraction		0,340794	1	1
▶	Mass Solid Fraction		0	0	0
▶	Molar Enthalpy	cal/mol	-35352,2	-68578,8	-68578,8
▶	Mass Enthalpy	cal/gm	-1411,73	-3025,14	-3025,14
▶	Molar Entropy	cal/mol-K	-17,6335	-33,4227	-33,4227
▶	Mass Entropy	cal/gm-K	-0,704162	-1,47434	-1,47434
▶	Molar Density	mol/cc	7,8449e-05	0,0645705	0,0645704
▶	Mass Density	gm/cc	0,0019645	1,46379	1,46379
▶	Enthalpy Flow	cal/sec	-0,0628877	-6,32002e+06	-6,32e+06
▶	Average MW		25,0418	22,6696	22,6696

Anexo E 116. Resultados de los flujos y fracciones molares del mezclador para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) x +												
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids				
									Units			
									L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS	
- Mole Flows												
									kmol/hr	6,404e-06	331,765	331,765
▶									kmol/hr	8,7e-07	0,0457454	0,0457463
▶									kmol/hr	2,22e-06	0,0367996	0,0368012
▶									kmol/hr	5e-08	0,0012012	0,00120123
▶									kmol/hr	1,6e-07	0,000651591	0,000651703
▶									kmol/hr	3,104e-06	250,374	250,373
▶									kmol/hr	4,97e-15	0	0
▶									kmol/hr	0	27,1023	27,1023
▶									kmol/hr	0	54,2045	54,2045
- Mole Fractions												
▶										0,135853	0,000137885	0,000137888
▶										0,346658	0,000110921	0,000110926
▶										0,00780762	3,62064e-06	3,62073e-06
▶										0,0249844	1,96401e-06	1,96435e-06
▶										0,484697	0,754672	0,754672
▶										7,76077e-10	0	0
▶										0	0,0816911	0,0816913
▶										0	0,163382	0,163383

Anexo E 117. Resultados de los flujos y fracciones masicos del mezclador para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) x +													
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids					
										Units			
										L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS	
- Mass Flows													
										kg/hr	0,000160367	7521	7520,98
▶										kg/hr	2,43717e-05	1,28149	1,28151
▶										kg/hr	7,10373e-05	1,17754	1,17759
▶										kg/hr	1,9974e-06	0,0479857	0,0479868
▶										kg/hr	7,04157e-06	0,0286764	0,0286813
▶										kg/hr	5,59194e-05	4510,56	4510,55

▶	CACL2	kg/hr	5,51587e-13	0	0
▶	CA++	kg/hr	0	1086,17	1086,17
▶	CL-	kg/hr	0	1921,73	1921,73
▶	- Mass Fractions				
▶	N2		0,151974	0,000170388	0,000170392
▶	O2		0,442966	0,000156567	0,000156574
▶	AR		0,0124551	6,38023e-06	6,38039e-06
▶	CO2		0,043909	3,81285e-06	3,81351e-06
▶	H2O		0,348696	0,599729	0,599728
▶	CACL2		3,43952e-09	0	0
▶	CA++		0	0,144419	0,144419
▶	CL-		0	0,255515	0,255515
▶	Volume Flow	l/min	0,00136054	85,6339	85,6338

Anexo E 118. Resultados energéticos del Ventilador 1 para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Results x +						
Summary	Balance	Parameters	Performance	Regression	Utility Usage	Status
▶	Compressor model	Isentropic Compressor				
▶	Phase calculations	Vapor phase calculation				
▶	Indicated horsepower	32,613 Watt				
▶	Brake horsepower	32,613 Watt				
▶	Net work required	32,613 Watt				
▶	Power loss	0 Watt				
▶	Efficiency	0,82				
▶	Mechanical efficiency	1				
▶	Outlet pressure	1,00238 atm				
▶	Outlet temperature	36,8539 C				
▶	Isentropic outlet temperature	36,8083 C				
▶	Vapor fraction	1				
▶	Displacement					
▶	Volumetric efficiency					

Anexo E 119. Resultados de los flujos y fracciones molares del Ventilador 1 para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	AIRE-ABS	VN+1-ABS
▶	- Mole Flows			kmol/hr	15,7155	15,7155
▶	N2			kmol/hr	11,522	11,522
▶	O2			kmol/hr	3,10206	3,10206
▶	AR			kmol/hr	0,13738	0,13738

▶	CO2	kmol/hr	0,01034	0,01034
▶	H2O	kmol/hr	0,94375	0,94375
▶	CACL2	kmol/hr	0	0
▶	CA++	kmol/hr	0	0
▶	CL-	kmol/hr	0	0
▶	- Mole Fractions			
▶	N2		0,733159	0,733159
▶	O2		0,197389	0,197389
▶	AR		0,00874169	0,00874169
▶	CO2		0,00065795	0,00065795
▶	H2O		0,0600522	0,0600522
▶	CACL2		0	0
▶	CA++		0	0
▶	CL-		0	0

Anexo E 120. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Ventilador 1 para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet		VENT-1 (Compr) - Stream Results (Boundary)				
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	AIRE-ABS	VN+1-ABS	
▶	- Mass Flows		kg/hr	444,977	444,977	
▶	N2		kg/hr	322,77	322,77	
▶	O2		kg/hr	99,2622	99,2622	
▶	AR		kg/hr	5,48806	5,48806	
▶	CO2		kg/hr	0,455061	0,455061	
▶	H2O		kg/hr	17,0019	17,0019	
▶	CACL2		kg/hr	0	0	
▶	CA++		kg/hr	0	0	
▶	CL-		kg/hr	0	0	
▶	- Mass Fractions					
▶	N2			0,725363	0,725363	
▶	O2			0,223072	0,223072	
▶	AR			0,0123333	0,0123333	
▶	CO2			0,00102266	0,00102266	
▶	H2O			0,0382085	0,0382085	
▶	CACL2			0	0	
▶	CA++			0	0	
▶	CL-			0	0	
▶	Volume Flow		l/min	6655,45	6645,09	

Anexo E 121. Resultados energéticos del Ventilador 2 para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x VENT-2 (Compr) - Results x +						
Summary	Balance	Parameters	Performance	Regression	Utility Usage	Status
>	Compressor model	Isentropic Compressor				
>	Phase calculations	Vapor phase calculation				
>	Indicated horsepower	80,2685 Watt				
>	Brake horsepower	80,2685 Watt				
>	Net work required	80,2685 Watt				
>	Power loss	0 Watt				
>	Efficiency	0,82				
>	Mechanical efficiency	1				
>	Outlet pressure	1,00238 atm				
>	Outlet temperature	36,8539 C				
>	Isentropic outlet temperature	36,8083 C				
>	Vapor fraction	1				
>	Displacement					
>	Volumetric efficiency					

Anexo E 122. Resultados de los flujos y fracciones molares del Ventilador 2 para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x VENT-2 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	AIRE-DES	VN+1-DES
>	- Mole Flows			kmol/hr	38,6797	38,6797
>	N2			kmol/hr	28,3584	28,3584
>	O2			kmol/hr	7,63495	7,63495
>	AR			kmol/hr	0,33812	0,33812
>	CO2			kmol/hr	0,02545	0,02545
>	H2O			kmol/hr	2,32279	2,32279
>	CACL2			kmol/hr	0	0
>	CA++			kmol/hr	0	0
>	CL-			kmol/hr	0	0
>	- Mole Fractions					
>	N2				0,733159	0,733159
>	O2				0,197389	0,197389
>	AR				0,00874154	0,00874154
>	CO2				0,000657968	0,000657968
>	H2O				0,0600519	0,0600519
>	CACL2				0	0
>	CA++				0	0
>	CL-				0	0

Anexo E 123. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Ventilador 2 para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet × VENT-2 (Compr) - Stream Results (Boundary) × +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	AIRE-DES	VN+1-DES
▶	- Mass Flows			kg/hr	1095,2	1095,2
▶	N2			kg/hr	794,417	794,417
▶	O2			kg/hr	244,309	244,309
▶	AR			kg/hr	13,5072	13,5072
▶	CO2			kg/hr	1,12005	1,12005
▶	H2O			kg/hr	41,8457	41,8457
▶	CACL2			kg/hr	0	0
▶	CA++			kg/hr	0	0
▶	CL-			kg/hr	0	0
▶	- Mass Fractions					
▶	N2				0,725363	0,725363
▶	O2				0,223073	0,223073
▶	AR				0,0123331	0,0123331
▶	CO2				0,00102269	0,00102269
▶	H2O				0,0382083	0,0382083
▶	CACL2				0	0
▶	CA++				0	0
▶	CL-				0	0
▶	Volume Flow			l/min	16380,7	16355,2

Anexo E 124. Resultados energéticos e las corrientes del Absorbedor para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet × ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) × +									
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids		
					Units	L0-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
▶	- MIXED Substream								
▶	Phase				Liquid Phase	Vapor Phase	Liquid Phase	Vapor Phase	
▶	Temperature		C		22	36,8539	24,5401	23,464	
▶	Pressure		bar		1,01568	1,01566	1,01568	1,01568	
▶	Molar Vapor Fraction				0	1	0	1	
▶	Molar Liquid Fraction				1	0	1	0	
▶	Molar Solid Fraction				0	0	0	0	
▶	Mass Vapor Fraction				0	1	0	1	
▶	Mass Liquid Fraction				1	0	1	0	
▶	Mass Solid Fraction				0	0	0	0	
▶	Molar Enthalpy		cal/mol		-68578,8	-3451,64	-68538,8	-1020,62	
▶	Mass Enthalpy		cal/gm		-3025,14	-121,903	-3024,49	-35,4514	
▶	Molar Entropy		cal/mol-K		-33,4227	1,14242	-33,3364	1,05729	
▶	Mass Entropy		cal/gm-K		-1,47434	0,0403474	-1,47108	0,0367251	
▶	Molar Density		mol/cc		0,0645704	3,94163e-05	0,0644579	4,11901e-05	
▶	Mass Density		gm/cc		1,46379	0,00111606	1,4607	0,00118584	
▶	Enthalpy Flow		cal/sec		-6,32e+06	-15067,8	-6,33083e+06	-4239,3	
▶	Average MW				22,6696	28,3146	22,6612	28,7894	

Anexo E 125. Resultados de los flujos y fracciones molares del Absorbedor para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
			Units		L0-ABS	VN+ 1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- Mole Flows				kmol/hr	331,765	15,7155	332,527	14,9531
N2			kmol/hr	0,0457463	11,522	0,0794005	11,4883	
O2			kmol/hr	0,0368012	3,10206	0,0650345	3,07383	
AR			kmol/hr	0,00120123	0,13738	0,00202498	0,136556	
CO2			kmol/hr	0,000651703	0,01034	0,000776524	0,0102152	
H2O			kmol/hr	250,373	0,94375	251,073	0,244184	
CACL2			kmol/hr	0	0	0	0	
CA++			kmol/hr	27,1023	0	27,1023	0	
CL-			kmol/hr	54,2045	0	54,2045	0	
- Mole Fractions								
N2				0,000137888	0,733159	0,000238779	0,76829	
O2				0,000110926	0,197389	0,000195577	0,205565	
AR				3,62073e-06	0,00874169	6,08966e-06	0,00913231	
CO2				1,96435e-06	0,00065795	2,33522e-06	0,000683148	
H2O				0,754672	0,0600522	0,755045	0,01633	
CACL2				0	0	0	0	
CA++				0,0816913	0	0,081504	0	
CL-				0,163383	0	0,163008	0	

Anexo E 126. Resultados de los flujos y fracciones máscas del Absorbedor para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
			Units		L0-ABS	VN+ 1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- Mass Flows				kg/hr	7520,98	444,977	7535,47	430,49
N2			kg/hr	1,28151	322,77	2,22429	321,827	
O2			kg/hr	1,17759	99,2622	2,08102	98,3588	
AR			kg/hr	0,0479868	5,48806	0,0808938	5,45515	
CO2			kg/hr	0,0286813	0,455061	0,0341747	0,449568	
H2O			kg/hr	4510,55	17,0019	4523,15	4,39905	
CACL2			kg/hr	0	0	0	0	
CA++			kg/hr	1086,17	0	1086,17	0	
CL-			kg/hr	1921,73	0	1921,73	0	
- Mass Fractions								
N2				0,000170392	0,725363	0,000295175	0,747584	
O2				0,000156574	0,223072	0,000276164	0,228461	
AR				6,38039e-06	0,0123333	1,07351e-05	0,012672	
CO2				3,81351e-06	0,00102266	4,53517e-06	0,00104432	
H2O				0,599728	0,0382085	0,600248	0,0102187	
CACL2				0	0	0	0	
CA++				0,144419	0	0,144142	0	
CL-				0,255515	0	0,255024	0	
Volume Flow			l/min	85,6338	6645,09	85,9804	6050,44	

Anexo E 127. Resultados energéticos e las corrientes del Desorbedor para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
			Units		L0-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- MIXED Substream								
Phase					Vapor Phase	Liquid Phase	Vapor Phase	
Temperature			C		55,12	36,8539	51,9822	52,9948
Pressure			bar		1,01568	1,01566	1,01568	1,01568
Molar Vapor Fraction					0,000193217	1	0	1
Molar Liquid Fraction					0,999807	0	1	0
Molar Solid Fraction					0	0	0	0
Mass Vapor Fraction					0,000242238	1	0	1
Mass Liquid Fraction					0,999758	0	1	0
Mass Solid Fraction					0	0	0	0
Molar Enthalpy			cal/mol		-68208,6	-3451,62	-68257,1	-4293,49
Mass Enthalpy			cal/gm		-3009,92	-121,903	-3010,95	-152,604
Molar Entropy			cal/mol-K		-32,2803	1,14242	-32,3853	1,39432
Mass Entropy			cal/gm-K		-1,42447	0,0403475	-1,42858	0,0495584
Molar Density			mol/cc		0,0479109	3,94163e-05	0,0638767	3,74642e-05
Mass Density			gm/cc		1,08572	0,00111606	1,44806	0,00105405
Enthalpy Flow			cal/sec		-6,30033e+06	-37085,4	-6,29038e+06	-47039,1
Average MW					22,6612	28,3146	22,6696	28,1348

Anexo E 128. Resultados de los flujos y fracciones molares del Desorbedor para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
			Units		L0-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- Mole Flows								
			kmol/hr		332,527	38,6797	331,765	39,4412
N2			kmol/hr		0,0794005	28,3584	0,0457454	28,392
O2			kmol/hr		0,0650345	7,63495	0,0367996	7,66318
AR			kmol/hr		0,00202498	0,33812	0,0012012	0,338944
CO2			kmol/hr		0,000776524	0,02545	0,000651591	0,0255749
H2O			kmol/hr		251,073	2,32279	250,374	3,02148
CACL2			kmol/hr		0	0	0	0
CA++			kmol/hr		27,1023	0	27,1023	0
CL-			kmol/hr		54,2045	0	54,2045	0
- Mole Fractions								
N2					0,000238779	0,733159	0,000137885	0,719857
O2					0,000195577	0,197389	0,000110921	0,194294
AR					6,08966e-06	0,00874154	3,62064e-06	0,00859365
CO2					2,33522e-06	0,000657968	1,96401e-06	0,000648432
H2O					0,755045	0,0600519	0,754672	0,0766071
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,081504	0	0,0816911	0
CL-					0,163008	0	0,163382	0

Anexo E 129. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Desorbedor para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	L0-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- Mass Flows				kg/hr	7535,47	1095,2	7521	1109,67
N2				kg/hr	2,22429	794,417	1,28149	795,359
O2				kg/hr	2,08102	244,309	1,17754	245,213
AR				kg/hr	0,0808938	13,5072	0,0479857	13,5401
CO2				kg/hr	0,0341747	1,12005	0,0286764	1,12555
H2O				kg/hr	4523,15	41,8457	4510,56	54,4328
CACL2				kg/hr	0	0	0	0
CA++				kg/hr	1086,17	0	1086,17	0
CL-				kg/hr	1921,73	0	1921,73	0
- Mass Fractions								
N2					0,000295175	0,725363	0,000170388	0,716753
O2					0,000276164	0,223073	0,000156567	0,220978
AR					1,07351e-05	0,0123331	6,38023e-06	0,0122019
CO2					4,53517e-06	0,00102269	3,81285e-06	0,00101431
H2O					0,600248	0,0382083	0,599729	0,0490531
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,144142	0	0,144419	0
CL-					0,255024	0	0,255515	0
Volume Flow				l/min	115,675	16355,2	86,564	17546,2

Anexo E 130. Resultados energéticos de la Bomba 1 para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x BOMBA-1 (Pump) - Results x +			
Summary	Balance	Performance Curve	Utility Usage
Fluid power	9,88023	Watt	
Brake power	13,1736	Watt	
Electricity	13,1736	Watt	
Volumetric flow rate	85,9804	l/min	
Pressure change	0,068046	atm	
NPSH available	0,618845	meter-head	
NPSH required			
Head developed	0,481325	meter-head	
Pump efficiency used	0,75		
Net work required	13,1736	Watt	
Outlet pressure	1,08463	bar	
Outlet temperature	24,5414	C	

Anexo E 131. Resultados de los flujos y fracciones molares de la Bomba 1 para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x BOMBA-1 (Pump) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LN-ABS	LIN-COLE	
- Mole Flows			kmol/hr	332,527	332,527	
	N2		kmol/hr	0,0794005	0,0794005	
	O2		kmol/hr	0,0650345	0,0650345	
	AR		kmol/hr	0,00202498	0,00202498	
	CO2		kmol/hr	0,000776524	0,000776524	
	H2O		kmol/hr	251,073	251,073	
	CACL2		kmol/hr	0	0	
	CA++		kmol/hr	27,1023	27,1023	
	CL-		kmol/hr	54,2045	54,2045	
- Mole Fractions						
	N2			0,000238779	0,000238779	
	O2			0,000195577	0,000195577	
	AR			6,08966e-06	6,08966e-06	
	CO2			2,33522e-06	2,33522e-06	
	H2O			0,755045	0,755045	
	CACL2			0	0	
	CA++			0,081504	0,081504	
	CL-			0,163008	0,163008	

Anexo E 132. Resultados de los flujos y fracciones máxicas de la Bomba 1 para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x BOMBA-1 (Pump) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LN-ABS	LIN-COLE	
- Mass Flows			kg/hr	7535,47	7535,47	
	N2		kg/hr	2,22429	2,22429	
	O2		kg/hr	2,08102	2,08102	
	AR		kg/hr	0,0808938	0,0808938	
	CO2		kg/hr	0,0341747	0,0341747	
	H2O		kg/hr	4523,15	4523,15	
	CACL2		kg/hr	0	0	
	CA++		kg/hr	1086,17	1086,17	
	CL-		kg/hr	1921,73	1921,73	
- Mass Fractions						
	N2			0,000295175	0,000295175	
	O2			0,000276164	0,000276164	
	AR			1,07351e-05	1,07351e-05	
	CO2			4,53517e-06	4,53517e-06	
	H2O			0,600248	0,600248	
	CACL2			0	0	
	CA++			0,144142	0,144142	
	CL-			0,255024	0,255024	
	Volume Flow		l/min	85,9804	85,9802	

Anexo E 133. Resultados energéticos de la Bomba 2 para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x BOMBA-2 (Pump) - Results x +			
Summary	Balance	Performance Curve	Utility Usage
Fluid power	49,7365	Watt	▼
Brake power	66,3153	Watt	▼
Electricity	66,3153	Watt	▼
Volumetric flow rate	86,564	l/min	▼
Pressure change	0,34023	atm	▼
NPSH available	0,110253	meter-head	▼
NPSH required			▼
Head developed	2,42762	meter-head	▼
Pump efficiency used	0,75		
Net work required	66,3153	Watt	▼
Outlet pressure	1,34263	atm	▼
Outlet temperature	51,9902	C	▼

Anexo E 134. Resultados de los flujos y fracciones molares de la Bomba 2 para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x BOMBA-2 (Pump) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units		LN-DESOR	LIN-ENFR	
- Mole Flows		kmol/hr		331,765	331,765	
▶	N2		kmol/hr	0,0457454	0,0457454	
▶	O2		kmol/hr	0,0367996	0,0367996	
▶	AR		kmol/hr	0,0012012	0,0012012	
▶	CO2		kmol/hr	0,000651591	0,000651591	
▶	H2O		kmol/hr	250,374	250,374	
▶	CACL2		kmol/hr	0	0	
▶	CA++		kmol/hr	27,1023	27,1023	
▶	CL-		kmol/hr	54,2045	54,2045	
- Mole Fractions						
▶	N2			0,000137885	0,000137885	
▶	O2			0,000110921	0,000110921	
▶	AR			3,62064e-06	3,62064e-06	
▶	CO2			1,96401e-06	1,96401e-06	
▶	H2O			0,754672	0,754672	
▶	CACL2			0	0	
▶	CA++			0,0816911	0,0816911	
▶	CL-			0,163382	0,163382	

Anexo E 135. Resultados de los flujos y fracciones másicas de la Bomba 2 para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet × BOMBA-2 (Pump) - Stream Results (Boundary) × +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LN-DESOR		LIN-ENFR
- Mass Flows			kg/hr	7521		7521
	N2		kg/hr	1,28149		1,28149
	O2		kg/hr	1,17754		1,17754
	AR		kg/hr	0,0479857		0,0479857
	CO2		kg/hr	0,0286764		0,0286764
	H2O		kg/hr	4510,56		4510,56
	CACL2		kg/hr	0		0
	CA++		kg/hr	1086,17		1086,17
	CL-		kg/hr	1921,73		1921,73
- Mass Fractions						
	N2			0,000170388		0,000170388
	O2			0,000156567		0,000156567
	AR			6,38023e-06		6,38023e-06
	CO2			3,81285e-06		3,81285e-06
	H2O			0,599729		0,599729
	CACL2			0		0
	CA++			0,144419		0,144419
	CL-			0,255515		0,255515
	Volume Flow		l/min	86,564		86,5632

Anexo E 136. Resultados energéticos del Colector para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet × COLECTOR (Heater) - Results × +				
Summary	Balance	Phase Equilibrium	Utility Usage	Status
Outlet temperature	55,12	C		
Outlet pressure	1,0024	atm		
Vapor fraction	0,000193217			
Heat duty	127,685	kW		
Net duty	127,685	kW		
1st liquid / Total liquid	1			
Pressure-drop correlation parameter				
Pressure drop	0,068046	atm		

Anexo E 137. Resultados de los flujos y fracciones molares del Colector para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x COLECTOR (Heater) - Stream Results (Feeds) x +							
Material	Heat	Load	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	LIN-COLE	L0-DESOR	
- Mole Flows				kmol/hr	332,527	332,527	
N2				kmol/hr	0,0794005	0,0794005	
O2				kmol/hr	0,0650345	0,0650345	
AR				kmol/hr	0,00202498	0,00202498	
CO2				kmol/hr	0,000776524	0,000776524	
H2O				kmol/hr	251,073	251,073	
CACL2				kmol/hr	0	0	
CA++				kmol/hr	27,1023	27,1023	
CL-				kmol/hr	54,2045	54,2045	
- Mole Fractions							
N2					0,000238779	0,000238779	
O2					0,000195577	0,000195577	
AR					6,08966e-06	6,08966e-06	
CO2					2,33522e-06	2,33522e-06	
H2O					0,755045	0,755045	
CACL2					0	0	
CA++					0,081504	0,081504	
CL-					0,163008	0,163008	

Anexo E 138. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Colector para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x COLECTOR (Heater) - Stream Results (Feeds) x +							
Material	Heat	Load	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	LIN-COLE	L0-DESOR	
- Mass Flows				kg/hr	7535,47	7535,47	
N2				kg/hr	2,22429	2,22429	
O2				kg/hr	2,08102	2,08102	
AR				kg/hr	0,0808938	0,0808938	
CO2				kg/hr	0,0341747	0,0341747	
H2O				kg/hr	4523,15	4523,15	
CACL2				kg/hr	0	0	
CA++				kg/hr	1086,17	1086,17	
CL-				kg/hr	1921,73	1921,73	
- Mass Fractions							
N2					0,000295175	0,000295175	
O2					0,000276164	0,000276164	
AR					1,07351e-05	1,07351e-05	
CO2					4,53517e-06	4,53517e-06	
H2O					0,600248	0,600248	
CACL2					0	0	
CA++					0,144142	0,144142	
CL-					0,255024	0,255024	
Volume Flow				l/min	85,9802	115,675	

Anexo E 139. Resultados energéticos del Enfriador para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x ENFRIADO (Heater) - Results x +				
Summary	Balance	Phase Equilibrium	Utility Usage	Status
Outlet temperature	22	C		
Outlet pressure	1,0024	atm		
Vapor fraction	0			
Heat duty	-124,171	kW		
Net duty	-124,171	kW		
1st liquid / Total liquid	1			
Pressure-drop correlation parameter				
Pressure drop	0,34023	atm		

Anexo E 140. Resultados de los flujos y fracciones molares del Enfriador para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet x ENFRIADO (Heater) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
	Units		LIN-ENFR	L0-OUT			
- Mole Flows		kmol/hr	331,765	331,765			
N2		kmol/hr	0,0457454	0,0457454			
O2		kmol/hr	0,0367996	0,0367996			
AR		kmol/hr	0,0012012	0,0012012			
CO2		kmol/hr	0,000651591	0,000651591			
H2O		kmol/hr	250,374	250,374			
CACL2		kmol/hr	0	0			
CA++		kmol/hr	27,1023	27,1023			
CL-		kmol/hr	54,2045	54,2045			
- Mole Fractions							
N2			0,000137885	0,000137885			
O2			0,000110921	0,000110921			
AR			3,62064e-06	3,62064e-06			
CO2			1,96401e-06	1,96401e-06			
H2O			0,754672	0,754672			
CACL2			0	0			
CA++			0,0816911	0,0816911			
CL-			0,163382	0,163382			

Anexo E 141. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Enfriador para la ciudad de Cartagena.

Main Flowsheet		ENFRIADO (Heater) - Stream Results (Boundary)					
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LIN-ENFR	L0-OUT		
- Mass Flows			kg/hr	7521	7521		
	N2		kg/hr	1,28149	1,28149		
	O2		kg/hr	1,17754	1,17754		
	AR		kg/hr	0,0479857	0,0479857		
	CO2		kg/hr	0,0286764	0,0286764		
	H2O		kg/hr	4510,56	4510,56		
	CACL2		kg/hr	0	0		
	CA++		kg/hr	1086,17	1086,17		
	CL-		kg/hr	1921,73	1921,73		
- Mass Fractions							
	N2			0,000170388	0,000170388		
	O2			0,000156567	0,000156567		
	AR			6,38023e-06	6,38023e-06		
	CO2			3,81285e-06	3,81285e-06		
	H2O			0,599729	0,599729		
	CACL2			0	0		
	CA++			0,144419	0,144419		
	CL-			0,255515	0,255515		
	Volume Flow		l/min	86,5632	85,6339		

Anexo E 142. Especificación de la corriente fresca de alimento al proceso para la simulación en Inírida.

Main Flowsheet		L0-FRESC (MATERIAL)				
<input checked="" type="radio"/> Mixed	CI Solid	NC Solid	Flash Options	EO Options	Costing	Comments
Specifications						
Flash Type	Temperature	Pressure				
State variables						
Temperature	22	C				
Pressure	0,9853	atm				
Vapor fraction						
Total flow basis	Mole					
Total flow rate						
Solvent						
Reference Temperature						
Volume flow reference temperature						
Component concentration reference temperature						
Composition						
Mole-Flow		kmol/hr				
Component	Value					
N2	1,85239e-07					
O2	2,96639e-06					
AR	7,11947e-08					
CO2	1,45616e-07					
H2O	2,46257e-06					
CACL2	6,2723e-11					
CA++						
CL-						
Total	5,83107e-06					

Anexo E 143. Especificación de la corriente de aire a la entrada del Ventilador 1 para la ciudad de Inírida.

The screenshot shows the 'AIRE-ABS (MATERIAL)' configuration window. The 'Specifications' section includes:

- Flash Type: Temperature, Pressure
- State variables:
 - Temperature: 34 C
 - Pressure: 747 mmHg
 - Vapor fraction: (empty)
 - Total flow basis: Mole
 - Total flow rate: (empty) kmol/hr
 - Solvent: (empty)
- Reference Temperature:
 - Volume flow reference temperature: (empty) C
 - Component concentration reference temperature: (empty) C

The 'Composition' section shows a table of components and their values in kmol/hr:

Component	Value
N2	11,7692
O2	3,16862
AR	0,14032
CO2	0,01056
H2O	0,85217
CACL2	
CA++	
CL-	
Total	15,9408

Anexo E 144. Especificación de la corriente de aire a la entrada del Ventilador 2 para la ciudad de Inírida.

The screenshot shows the 'AIRE-DES (MATERIAL)' configuration window. The 'Specifications' section includes:

- Flash Type: Temperature, Pressure
- State variables:
 - Temperature: 34 C
 - Pressure: 747 mmHg
 - Vapor fraction: (empty)
 - Total flow basis: Mole
 - Total flow rate: (empty) kmol/hr
 - Solvent: (empty)
- Reference Temperature:
 - Volume flow reference temperature: (empty) C
 - Component concentration reference temperature: (empty) C

The 'Composition' section shows a table of components and their values in kmol/hr:

Component	Value
N2	21,9729
O2	5,91579
AR	0,26198
CO2	0,01972
H2O	1,59099
CACL2	
CA++	
CL-	
Total	29,7614

Anexo E 145. Especificación de la presión de la columna de Absorción y desorción para la ciudad de Inírida.

The screenshot shows the 'ABS (RadFrac)' configuration window. The 'Pressure' tab is active, showing the following settings:

- View: Top / Bottom
- Top stage / Condenser pressure: Stage 1 / Condenser pressure: 0,9853 atm
- Stage 2 pressure (optional):
 - Stage 2 pressure: (empty) bar
 - Condenser pressure drop: (empty) bar
- Pressure drop for rest of column (optional):
 - Stage pressure drop: (empty) bar
 - Column pressure drop: (empty) bar

Anexo E 146. Especificación del Colector para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x COLECTOR (Heater) x +

Specifications Flash Options Utility Comments

Flash specifications

Flash Type Temperature Pressure

Temperature 53,55 C

Temperature change C

Degrees of superheating C

Degrees of subcooling C

Pressure 0,9853 atm

Duty cal/sec

Vapor fraction

Pressure drop correlation parameter

Always calculate pressure drop correlation parameter

Valid phases Vapor-Liquid

Anexo E 147. Especificación del Enfriador para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x ENFRIADO (Heater) x +

Specifications Flash Options Utility Comments

Flash specifications

Flash Type Temperature Pressure

Temperature 22 C

Temperature change C

Degrees of superheating C

Degrees of subcooling C

Pressure 0,9853 atm

Duty cal/sec

Vapor fraction

Pressure drop correlation parameter

Always calculate pressure drop correlation parameter

Valid phases Vapor-Liquid

Anexo E 148. Resultados de las condiciones energéticas de cada corriente para el mezclador en la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
						LO-FRESC	LO-OUT	LO-ABS
				Units				
- MIXED Substream								
Phase						Liquid Phase	Liquid Phase	
Temperature				C		22	22	22
Pressure				bar		0,998355	0,998355	0,998355
Molar Vapor Fraction						0,591915	0	0
Molar Liquid Fraction						0,408085	1	1
Molar Solid Fraction						0	0	0
Mass Vapor Fraction						0,720238	0	0
Mass Liquid Fraction						0,279762	1	1
Mass Solid Fraction						0	0	0
Molar Enthalpy				cal/mol		-31069,1	-68578,5	-68578,5
Mass Enthalpy				cal/gm		-1178,47	-3025,12	-3025,12
Molar Entropy				cal/mol-K		-15,3899	-33,4225	-33,4225
Mass Entropy				cal/gm-K		-0,583749	-1,47433	-1,47433
Molar Density				mol/cc		6,87488e-05	0,0645692	0,0645692
Mass Density				gm/cc		0,00181249	1,46376	1,46376
Enthalpy Flow				cal/sec		-0,050325	-5,36078e+06	-5,36078e+06
Average MW						26,364	22,6697	22,6697

Anexo E 149. Resultados de los flujos y fracciones molares del mezclador para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
						LO-FRESC	LO-OUT	LO-ABS
				Units				
- Mole Flows								
N2				kmol/hr		5,8312e-06	281,412	281,412
O2				kmol/hr		1,85239e-07	0,0393678	0,039368
AR				kmol/hr		2,96639e-06	0,0319142	0,0319171
CO2				kmol/hr		7,11947e-08	0,00103657	0,00103665
H2O				kmol/hr		1,45616e-07	0,000552102	0,000552247
CACL2				kmol/hr		2,46257e-06	212,373	212,373
CA++				kmol/hr		0	0	0
CL-				kmol/hr		6,2723e-11	22,9889	22,9889
				kmol/hr		1,25446e-10	45,9777	45,9777
- Mole Fractions								
N2						0,0317669	0,000139894	0,000139894
O2						0,50871	0,000113407	0,000113418
AR						0,0122093	3,68347e-06	3,68373e-06
CO2						0,0249719	1,9619e-06	1,96241e-06
H2O						0,422309	0,754668	0,754668
CACL2						0	0	0
CA++						1,07565e-05	0,0816911	0,0816911
CL-						2,15129e-05	0,163382	0,163382

Anexo E 150. Resultados de los flujos y fracciones masicos del mezclador para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS		
- Mass Flows			kg/hr	0,000153734	6379,52	6379,52		
N2			kg/hr	5,18919e-06	1,10283	1,10283		
O2			kg/hr	9,49209e-05	1,02121	1,02131		
AR			kg/hr	2,84409e-06	0,0414091	0,0414119		
CO2			kg/hr	6,40853e-06	0,0242979	0,0243043		
H2O			kg/hr	4,43639e-05	3825,95	3825,95		
CACL2			kg/hr	0	0	0		
CA++			kg/hr	2,51374e-09	921,323	921,323		
CL-			kg/hr	4,44747e-09	1630,06	1630,06		
- Mass Fractions								
N2				0,0337544	0,00017287	0,000172871		
O2				0,617438	0,000160077	0,000160092		
AR				0,0185001	6,49093e-06	6,49138e-06		
CO2				0,041686	3,80873e-06	3,80973e-06		
H2O				0,288576	0,599724	0,599724		
CACL2				0	0	0		
CA++				1,63513e-05	0,144419	0,144419		
CL-				2,89297e-05	0,255514	0,255514		
Volume Flow			l/min	0,00141365	72,6383	72,6383		

Anexo E 151. Resultados energéticos del Ventilador 1 para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Results x +						
Summary	Balance	Parameters	Performance	Regression	Utility Usage	Status
Compressor model	Isentropic Compressor					
Phase calculations	Vapor phase calculation					
Indicated horsepower	33,374 Watt					
Brake horsepower	33,374 Watt					
Net work required	33,374 Watt					
Power loss	0 Watt					
Efficiency	0,82					
Mechanical efficiency	1					
Outlet pressure	0,985276 atm					
Outlet temperature	34,2564 C					
Isentropic outlet temperature	34,2104 C					
Vapor fraction	1					
Displacement						
Volumetric efficiency						

Anexo E 152. Resultados de los flujos y fracciones molares del Ventilador 1 para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +				
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum Polymers Solids
			Units	AIRE-ABS VN+ 1-ABS
- Mole Flows			kmol/hr	15,9408 15,9408
N2			kmol/hr	11,7692 11,7692
O2			kmol/hr	3,16862 3,16862
AR			kmol/hr	0,14032 0,14032
CO2			kmol/hr	0,01056 0,01056
H2O			kmol/hr	0,85217 0,85217
CACL2			kmol/hr	0 0
CA++			kmol/hr	0 0
CL-			kmol/hr	0 0
- Mole Fractions				
N2				0,738303 0,738303
O2				0,198774 0,198774
AR				0,00880255 0,00880255
CO2				0,000662449 0,000662449
H2O				0,0534583 0,0534583
CACL2				0 0
CA++				0 0
CL-				0 0

Anexo E 153. Resultados de los flujos y fracciones máscas del Ventilador 1 para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +				
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum Polymers Solids
			Units	AIRE-ABS VN+ 1-ABS
- Mass Flows			kg/hr	452,51 452,51
N2			kg/hr	329,695 329,695
O2			kg/hr	101,392 101,392
AR			kg/hr	5,6055 5,6055
CO2			kg/hr	0,464743 0,464743
H2O			kg/hr	15,3521 15,3521
CACL2			kg/hr	0 0
CA++			kg/hr	0 0
CL-			kg/hr	0 0
- Mass Fractions				
N2				0,728593 0,728593
O2				0,224066 0,224066
AR				0,0123876 0,0123876
CO2				0,00102704 0,00102704
H2O				0,0339265 0,0339265
CACL2				0 0
CA++				0 0
CL-				0 0
Volume Flow			l/min	6810,86 6800,08

Anexo E 156. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Ventilador 2 para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x VENT-2 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Work	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	AIRE-DES	VN+1-DES	
- Mass Flows				kg/hr	844,832	844,832	
	N2			kg/hr	615,538	615,538	
	O2			kg/hr	189,298	189,298	
	AR			kg/hr	10,4656	10,4656	
	CO2			kg/hr	0,867873	0,867873	
	H2O			kg/hr	28,6621	28,6621	
	CACL2			kg/hr	0	0	
	CA++			kg/hr	0	0	
	CL-			kg/hr	0	0	
- Mass Fractions							
	N2				0,728592	0,728592	
	O2				0,224066	0,224066	
	AR				0,0123878	0,0123878	
	CO2				0,00102727	0,00102727	
	H2O				0,0339264	0,0339264	
	CACL2				0	0	
	CA++				0	0	
	CL-				0	0	
	Volume Flow			l/min	12715,8	12695,7	

Anexo E 157. Resultados energéticos e las corrientes del Absorbedor para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	L0-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- MIXED Substream								
	Phase				Liquid Phase	Vapor Phase	Liquid Phase	Vapor Phase
	Temperature	C			22	34,2564	24,5451	23,4581
	Pressure	bar			0,998355	0,998331	0,998355	0,998355
	Molar Vapor Fraction				0	1	0	1
	Molar Liquid Fraction				1	0	1	0
	Molar Solid Fraction				0	0	0	0
	Mass Vapor Fraction				0	1	0	1
	Mass Liquid Fraction				1	0	1	0
	Mass Solid Fraction				0	0	0	0
	Molar Enthalpy	cal/mol			-68578,5	-3089,19	-68539	-1032,87
	Mass Enthalpy	cal/gm			-3025,12	-108,825	-3024,52	-35,8786
	Molar Entropy	cal/mol-K			-33,4225	1,15789	-33,3364	1,09126
	Mass Entropy	cal/gm-K			-1,47433	0,0407896	-1,47108	0,0379067
	Molar Density	mol/cc			0,0645692	3,90702e-05	0,0644587	4,04882e-05
	Mass Density	gm/cc			1,46376	0,00110908	1,46071	0,00116557
	Enthalpy Flow	cal/sec			-5,36078e+06	-13679	-5,37007e+06	-4387,01
	Average MW				22,6697	28,3868	22,6611	28,788

Anexo E 158. Resultados de los flujos y fracciones molares del Absorbedor para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	L0-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- Mole Flows			kmol/hr	281,412	15,9408	282,062	15,2906
N2			kmol/hr	0,039368	11,7692	0,0667467	11,7418
O2			kmol/hr	0,0319171	3,16862	0,0547358	3,1458
AR			kmol/hr	0,00103665	0,14032	0,0017026	0,139654
CO2			kmol/hr	0,000552247	0,01056	0,000650788	0,0104615
H2O			kmol/hr	212,373	0,85217	212,972	0,252907
CACL2			kmol/hr	0	0	0	0
CA++			kmol/hr	22,9889	0	22,9889	0
CL-			kmol/hr	45,9777	0	45,9777	0
- Mole Fractions							
N2				0,000139894	0,738303	0,000236638	0,767908
O2				0,000113418	0,198774	0,000194056	0,205734
AR				3,68373e-06	0,00880255	6,03625e-06	0,00913332
CO2				1,96241e-06	0,000662449	2,30725e-06	0,000684175
H2O				0,754668	0,0534583	0,755053	0,01654
CACL2				0	0	0	0
CA++				0,0816911	0	0,0815028	0
CL-				0,163382	0	0,163006	0

Anexo E 159. Resultados de los flujos y fracciones máscas del Absorbedor para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	L0-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- Mass Flows			kg/hr	6379,52	452,51	6391,85	440,186
N2			kg/hr	1,10283	329,695	1,86981	328,928
O2			kg/hr	1,02131	101,392	1,75148	100,662
AR			kg/hr	0,0414119	5,6055	0,0680154	5,5789
CO2			kg/hr	0,0243043	0,464743	0,0286411	0,460407
H2O			kg/hr	3825,95	15,3521	3836,75	4,55618
CACL2			kg/hr	0	0	0	0
CA++			kg/hr	921,323	0	921,323	0
CL-			kg/hr	1630,06	0	1630,06	0
- Mass Fractions							
N2				0,000172871	0,728593	0,00029253	0,747249
O2				0,000160092	0,224066	0,000274018	0,22868
AR				6,49138e-06	0,0123876	1,0641e-05	0,012674
CO2				3,80973e-06	0,00102704	4,48087e-06	0,00104594
H2O				0,599724	0,0339265	0,600256	0,0103506
CACL2				0	0	0	0
CA++				0,144419	0	0,14414	0
CL-				0,255514	0	0,255022	0
Volume Flow			l/min	72,6383	6800,08	72,931	6294,27

Anexo E 160. Resultados energéticos e las corrientes del Desorbedor para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	LO-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- MIXED Substream								
Phase					Vapor Phase	Liquid Phase	Vapor Phase	
Temperature				C	53,55	34,2564	50,4324	51,2496
Pressure				bar	0,998355	0,998331	0,998355	0,998355
Molar Vapor Fraction					0,000183793	1	0	1
Molar Liquid Fraction					0,999816	0	1	0
Molar Solid Fraction					0	0	0	0
Mass Vapor Fraction					0,000230749	1	0	1
Mass Liquid Fraction					0,999769	0	1	0
Mass Solid Fraction					0	0	0	0
Molar Enthalpy				cal/mol	-68226,2	-3089,2	-68273,8	-4041,01
Mass Enthalpy				cal/gm	-3010,72	-108,825	-3011,68	-143,374
Molar Entropy				cal/mol-K	-32,3336	1,15789	-32,4376	1,4212
Mass Entropy				cal/gm-K	-1,42683	0,0407898	-1,43088	0,0504238
Molar Density				mol/cc	0,0483815	3,90702e-05	0,063922	3,70226e-05
Mass Density				gm/cc	1,09638	0,00110908	1,44909	0,00104349
Enthalpy Flow				cal/sec	-5,34557e+06	-25538,6	-5,33697e+06	-34137
Average MW					22,6611	28,3868	22,6697	28,1851

Anexo E 161. Resultados de los flujos y fracciones molares del Desorbedor para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	LO-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- Mole Flows								
				kmol/hr	282,062	29,7614	281,412	30,4116
N2				kmol/hr	0,0667467	21,9729	0,0393678	22,0003
O2				kmol/hr	0,0547358	5,91579	0,0319142	5,9386
AR				kmol/hr	0,0017026	0,26198	0,00103657	0,262646
CO2				kmol/hr	0,000650788	0,01972	0,000552102	0,0198181
H2O				kmol/hr	212,972	1,59099	212,373	2,19022
CACL2				kmol/hr	0	0	0	0
CA++				kmol/hr	22,9889	0	22,9889	0
CL-				kmol/hr	45,9777	0	45,9777	0
- Mole Fractions								
N2					0,000236638	0,738303	0,000139894	0,723418
O2					0,000194056	0,198774	0,000113407	0,195274
AR					6,03625e-06	0,00880268	3,68347e-06	0,0086364
CO2					2,30725e-06	0,000662603	1,9619e-06	0,000651665
H2O					0,755053	0,0534582	0,754668	0,0720192
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,0815028	0	0,0816911	0
CL-					0,163006	0	0,163382	0

Anexo E 162. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Desorbedor para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +											
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids				
		Units		L0-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES				
- Mass Flows		kg/hr		6391,85	844,832	6379,52	857,154				
	N2	kg/hr		1,86981	615,538	1,10283	616,305				
	O2	kg/hr		1,75148	189,298	1,02121	190,028				
	AR	kg/hr		0,0680154	10,4656	0,0414091	10,4922				
	CO2	kg/hr		0,0286411	0,867873	0,0242979	0,872192				
	H2O	kg/hr		3836,75	28,6621	3825,95	39,4574				
	CACL2	kg/hr		0	0	0	0				
	CA++	kg/hr		921,323	0	921,323	0				
	CL-	kg/hr		1630,06	0	1630,06	0				
- Mass Fractions											
	N2			0,00029253	0,728592	0,00017287	0,719012				
	O2			0,000274018	0,224066	0,000160077	0,221696				
	AR			1,0641e-05	0,0123878	6,49093e-06	0,0122407				
	CO2			4,48087e-06	0,00102727	3,80873e-06	0,00101754				
	H2O			0,600256	0,0339264	0,599724	0,046033				
	CACL2			0	0	0	0				
	CA++			0,14414	0	0,144419	0				
	CL-			0,255022	0	0,255514	0				
	Volume Flow	l/min		97,1659	12695,7	73,3738	13690,5				

Anexo E 163. Resultados energéticos de la Bomba 1 para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x BOMBA-1 (Pump) - Results x +			
Summary	Balance	Performance Curve	Utility Usage
Fluid power	8,3807	Watt	
Brake power	11,1743	Watt	
Electricity	11,1743	Watt	
Volumetric flow rate	72,931	l/min	
Pressure change	0,068046	atm	
NPSH available	0,552779	meter-head	
NPSH required			
Head developed	0,481322	meter-head	
Pump efficiency used	0,75		
Net work required	11,1743	Watt	
Outlet pressure	1,05335	atm	
Outlet temperature	24,5465	C	

Anexo E 164. Resultados de los flujos y fracciones molares de la Bomba 1 para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet × BOMBA-1 (Pump) - Stream Results (Boundary) × +				
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum Polymers Solids
			Units	LN-ABS LIN-COLE
- Mole Flows			kmol/hr	282,062 282,062
	N2		kmol/hr	0,0667467 0,0667467
	O2		kmol/hr	0,0547358 0,0547358
	AR		kmol/hr	0,0017026 0,0017026
	CO2		kmol/hr	0,000650788 0,000650788
	H2O		kmol/hr	212,972 212,972
	CACL2		kmol/hr	0 0
	CA++		kmol/hr	22,9889 22,9889
	CL-		kmol/hr	45,9777 45,9777
- Mole Fractions				
	N2			0,000236638 0,000236638
	O2			0,000194056 0,000194056
	AR			6,03625e-06 6,03625e-06
	CO2			2,30725e-06 2,30725e-06
	H2O			0,755053 0,755053
	CACL2			0 0
	CA++			0,0815028 0,0815028
	CL-			0,163006 0,163006

Anexo E 165. Resultados de los flujos y fracciones máxicas de la Bomba 1 para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet × BOMBA-1 (Pump) - Stream Results (Boundary) × +				
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum Polymers Solids
			Units	LN-ABS LIN-COLE
- Mass Flows			kg/hr	6391,85 6391,85
	N2		kg/hr	1,86981 1,86981
	O2		kg/hr	1,75148 1,75148
	AR		kg/hr	0,0680154 0,0680154
	CO2		kg/hr	0,0286411 0,0286411
	H2O		kg/hr	3836,75 3836,75
	CACL2		kg/hr	0 0
	CA++		kg/hr	921,323 921,323
	CL-		kg/hr	1630,06 1630,06
- Mass Fractions				
	N2			0,00029253 0,00029253
	O2			0,000274018 0,000274018
	AR			1,0641e-05 1,0641e-05
	CO2			4,48087e-06 4,48087e-06
	H2O			0,600256 0,600256
	CACL2			0 0
	CA++			0,14414 0,14414
	CL-			0,255022 0,255022
	Volume Flow		l/min	72,931 72,9309

Anexo E 166. Resultados energéticos de la Bomba 2 para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x BOMBA-2 (Pump) - Results x +			
Summary	Balance	Performance Curve	Utility Usage
Fluid power	42,1579	Watt	
Brake power	56,2105	Watt	
Electricity	56,2105	Watt	
Volumetric flow rate	73,3738	l/min	
Pressure change	0,34023	atm	
NPSH available	0,11654	meter-head	
NPSH required			
Head developed	2,4259	meter-head	
Pump efficiency used	0,75		
Net work required	56,2105	Watt	
Outlet pressure	1,32553	atm	
Outlet temperature	50,4404	C	

Anexo E 167. Resultados de los flujos y fracciones molares de la Bomba 2 para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x BOMBA-2 (Pump) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LN-DESOR	LIN-ENFR	
- Mole Flows			kmol/hr	281,412	281,412	
>	N2		kmol/hr	0,0393678	0,0393678	
>	O2		kmol/hr	0,0319142	0,0319142	
>	AR		kmol/hr	0,00103657	0,00103657	
>	CO2		kmol/hr	0,000552102	0,000552102	
>	H2O		kmol/hr	212,373	212,373	
>	CACL2		kmol/hr	0	0	
>	CA++		kmol/hr	22,9889	22,9889	
>	CL-		kmol/hr	45,9777	45,9777	
- Mole Fractions						
>	N2			0,000139894	0,000139894	
>	O2			0,000113407	0,000113407	
>	AR			3,68347e-06	3,68347e-06	
>	CO2			1,9619e-06	1,9619e-06	
>	H2O			0,754668	0,754668	
>	CACL2			0	0	
>	CA++			0,0816911	0,0816911	
>	CL-			0,163382	0,163382	

Anexo E 168. Resultados de los flujos y fracciones másicas de la Bomba 2 para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x BOMBA-2 (Pump) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	LN-DESOR	LIN-ENFR
- Mass Flows				kg/hr	6379,52	6379,52
	N2			kg/hr	1,10283	1,10283
	O2			kg/hr	1,02121	1,02121
	AR			kg/hr	0,0414091	0,0414091
	CO2			kg/hr	0,0242979	0,0242979
	H2O			kg/hr	3825,95	3825,95
	CACL2			kg/hr	0	0
	CA++			kg/hr	921,323	921,323
	CL-			kg/hr	1630,06	1630,06
- Mass Fractions						
	N2				0,00017287	0,00017287
	O2				0,000160077	0,000160077
	AR				6,49093e-06	6,49093e-06
	CO2				3,80873e-06	3,80873e-06
	H2O				0,599724	0,599724
	CACL2				0	0
	CA++				0,144419	0,144419
	CL-				0,255514	0,255514
	Volume Flow			l/min	73,3738	73,3731

Anexo E 169. Resultados energéticos del Colector para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x COLECTOR (Heater) - Results x +				
Summary	Balance	Phase Equilibrium	Utility Usage	Status
Outlet temperature	53,55	C		
Outlet pressure	0,998355	bar		
Vapor fraction	0,000183793			
Heat duty	102,585	kW		
Net duty	102,585	kW		
1st liquid / Total liquid	1			
Pressure-drop correlation parameter				
Pressure drop	0,068046	atm		

Anexo E 170. Resultados de los flujos y fracciones molares del Colector para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x COLECTOR (Heater) - Stream Results (Feeds) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
					Units	LIN-COLE	L0-DESOR
- Mole Flows					kmol/hr	282,062	282,062
N2					kmol/hr	0,0667467	0,0667467
O2					kmol/hr	0,0547358	0,0547358
AR					kmol/hr	0,0017026	0,0017026
CO2					kmol/hr	0,000650788	0,000650788
H2O					kmol/hr	212,972	212,972
CACL2					kmol/hr	0	0
CA++					kmol/hr	22,9889	22,9889
CL-					kmol/hr	45,9777	45,9777
- Mole Fractions							
N2						0,000236638	0,000236638
O2						0,000194056	0,000194056
AR						6,03625e-06	6,03625e-06
CO2						2,30725e-06	2,30725e-06
H2O						0,755053	0,755053
CACL2						0	0
CA++						0,0815028	0,0815028
CL-						0,163006	0,163006

Anexo E 171. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Colector para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x COLECTOR (Heater) - Stream Results (Feeds) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
					Units	LIN-COLE	L0-DESOR
- Mass Flows					kg/hr	6391,85	6391,85
N2					kg/hr	1,86981	1,86981
O2					kg/hr	1,75148	1,75148
AR					kg/hr	0,0680154	0,0680154
CO2					kg/hr	0,0286411	0,0286411
H2O					kg/hr	3836,75	3836,75
CACL2					kg/hr	0	0
CA++					kg/hr	921,323	921,323
CL-					kg/hr	1630,06	1630,06
- Mass Fractions							
N2						0,00029253	0,00029253
O2						0,000274018	0,000274018
AR						1,0641e-05	1,0641e-05
CO2						4,48087e-06	4,48087e-06
H2O						0,600256	0,600256
CACL2						0	0
CA++						0,14414	0,14414
CL-						0,255022	0,255022
Volume Flow					l/min	72,9309	97,1659

Anexo E 172. Resultados energéticos del Enfriador para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x ENFRIADO (Heater) - Results x +				
Summary	Balance	Phase Equilibrium	Utility Usage	Status
Outlet temperature	22	C		
Outlet pressure	0,9853	atm		
Vapor fraction	0			
Heat duty	-99,7512	kW		
Net duty	-99,7512	kW		
1st liquid / Total liquid	1			
Pressure-drop correlation parameter				
Pressure drop	0,34023	atm		

Anexo E 173. Resultados de los flujos y fracciones molares del Enfriador para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet x ENFRIADO (Heater) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
	Units						
						LIN-ENFR	L0-OUT
- Mole Flows		kmol/hr				281,412	281,412
N2		kmol/hr				0,0393678	0,0393678
O2		kmol/hr				0,0319142	0,0319142
AR		kmol/hr				0,00103657	0,00103657
CO2		kmol/hr				0,000552102	0,000552102
H2O		kmol/hr				212,373	212,373
CACL2		kmol/hr				0	0
CA++		kmol/hr				22,9889	22,9889
CL-		kmol/hr				45,9777	45,9777
- Mole Fractions							
N2						0,000139894	0,000139894
O2						0,000113407	0,000113407
AR						3,68347e-06	3,68347e-06
CO2						1,9619e-06	1,9619e-06
H2O						0,754668	0,754668
CACL2						0	0
CA++						0,0816911	0,0816911
CL-						0,163382	0,163382

Anexo E 174. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Enfriador para la ciudad de Inírida.

Main Flowsheet × ENFRIADO (Heater) - Stream Results (Boundary) × +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units		LIN-ENFR	L0-OUT		
— Mass Flows		kg/hr		6379,52	6379,52		
	N2	kg/hr		1,10283	1,10283		
	O2	kg/hr		1,02121	1,02121		
	AR	kg/hr		0,0414091	0,0414091		
	CO2	kg/hr		0,0242979	0,0242979		
	H2O	kg/hr		3825,95	3825,95		
	CACL2	kg/hr		0	0		
	CA++	kg/hr		921,323	921,323		
	CL-	kg/hr		1630,06	1630,06		
— Mass Fractions							
	N2			0,00017287	0,00017287		
	O2			0,000160077	0,000160077		
	AR			6,49093e-06	6,49093e-06		
	CO2			3,80873e-06	3,80873e-06		
	H2O			0,599724	0,599724		
	CACL2			0	0		
	CA++			0,144419	0,144419		
	CL-			0,255514	0,255514		
	Volume Flow	l/min		73,3731	72,6383		

Anexo E 175. Especificación de la corriente fresca de alimento al proceso para la simulación en San Andrés.

Main Flowsheet × L0-FRESC (MATERIAL) × +	
<input checked="" type="checkbox"/> Mixed	<input type="checkbox"/> CI Solid <input type="checkbox"/> NC Solid <input type="checkbox"/> Flash Options <input type="checkbox"/> EO Options <input type="checkbox"/> Costing <input type="checkbox"/> Comments
Specifications	
Flash Type	Temperature <input type="text" value="22"/> C <input type="text" value="1,0024"/> atm
State variables	
Temperature	<input type="text" value="22"/> C
Pressure	<input type="text" value="1,0024"/> atm
Vapor fraction	<input type="text"/>
Total flow basis	Mole
Total flow rate	<input type="text"/> kmol/hr
Solvent	<input type="text"/>
Reference Temperature	
Volume flow reference temperature	<input type="text"/> C
Component concentration reference temperature	<input type="text"/> C
Composition	
Mole-Flow	kmol/hr
Component	Value
N2	2,8839e-07
O2	1,76885e-06
AR	4,03372e-08
CO2	1,0875e-07
H2O	1,07181e-06
CACL2	3,1151e-11
CA++	
CL-	
Total	3,27816e-06

Anexo E 176. Especificación de la corriente de aire a la entrada del Ventilador 1 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x AIRE-ABS (MATERIAL) x +

Mixed CI Solid NC Solid Flash Options EO Options Costing Comments

Specifications

Flash Type **Temperature** Pressure

State variables

Temperature 31,8 C

Pressure 760 mmHg

Vapor fraction

Total flow basis Mole

Total flow rate kmol/hr

Solvent

Reference Temperature

Volume flow reference temperature C

Component concentration reference temperature C

Composition

Mole-Flow kmol/hr

Component	Value
N2	12,0925
O2	3,25566
AR	0,14418
CO2	0,01085
H2O	0,75494
CACL2	
CA++	
CL-	
Total	16,2581

Anexo E 177. Especificación de la corriente de aire a la entrada del Ventilador 2 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x AIRE-DES (MATERIAL) x +

Mixed CI Solid NC Solid Flash Options EO Options Costing Comments

Specifications

Flash Type **Temperature** Pressure

State variables

Temperature 31,8 C

Pressure 760 mmHg

Vapor fraction

Total flow basis Mole

Total flow rate kmol/hr

Solvent

Reference Temperature

Volume flow reference temperature C

Component concentration reference temperature C

Composition

Mole-Flow kmol/hr

Component	Value
N2	12,8207
O2	3,4517
AR	0,1529
CO2	0,0115
H2O	0,8004
CACL2	
CA++	
CL-	
Total	17,2372

Anexo E 178. Especificación de la presión de la columna de Absorción y desorción para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) x +

Configuration Streams Pressure Condenser Reboiler

View Top / Bottom

Top stage / Condenser pressure

Stage 1 / Condenser pressure 1,0024 atm

Stage 2 pressure (optional)

Stage 2 pressure bar

Condenser pressure drop bar

Pressure drop for rest of column (optional)

Stage pressure drop bar

Column pressure drop bar

Anexo E 179. Especificación del Colector para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x **COLECTOR (Heater)** x +

Specifications Flash Options Utility Comments

Flash specifications

Flash Type **Temperature**

Pressure

Temperature **54,04** C

Temperature change C

Degrees of superheating C

Degrees of subcooling C

Pressure **1,0024** atm

Duty cal/sec

Vapor fraction

Pressure drop correlation parameter

Always calculate pressure drop correlation parameter

Valid phases

Vapor-Liquid

Anexo E 180. Especificación del Enfriador para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x **ENFRIADO (Heater)** x +

Specifications Flash Options Utility Comments

Flash specifications

Flash Type **Temperature**

Pressure

Temperature **22** C

Temperature change C

Degrees of superheating C

Degrees of subcooling C

Pressure **1,0024** atm

Duty cal/sec

Vapor fraction

Pressure drop correlation parameter

Always calculate pressure drop correlation parameter

Valid phases

Vapor-Liquid

Anexo E 181. Resultados de las condiciones energéticas de cada corriente para el mezclador en la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS	
- MIXED Substream								
Phase						Liquid Phase	Liquid Phase	
Temperature				C	22	22	22	
Pressure				bar	1,01568	1,01568	1,01568	
Molar Vapor Fraction					0,690009	0	0	
Molar Liquid Fraction					0,309991	1	1	
Molar Solid Fraction					0	0	0	
Mass Vapor Fraction					0,796818	0	0	
Mass Liquid Fraction					0,203182	1	1	
Mass Solid Fraction					0	0	0	
Molar Enthalpy				cal/mol	-25298,6	-68578,4	-68578,4	
Mass Enthalpy				cal/gm	-917,522	-3025,11	-3025,11	
Molar Entropy				cal/mol-K	-11,2632	-33,4225	-33,4225	
Mass Entropy				cal/gm-K	-0,408492	-1,47432	-1,47432	
Molar Density				mol/cc	6,00081e-05	0,0645691	0,0645691	
Mass Density				gm/cc	0,00165459	1,46376	1,46376	
Enthalpy Flow				cal/sec	-0,0230374	-4,44505e+06	-4,44505e+06	
Average MW					27,5727	22,6697	22,6697	

Anexo E 182. Resultados de los flujos y fracciones molares del mezclador para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS	
- Mole Flows								
				kmol/hr	3,27823e-06	233,341	233,342	
N2				kmol/hr	2,8839e-07	0,0327882	0,0327885	
O2				kmol/hr	1,76885e-06	0,0264792	0,026481	
AR				kmol/hr	4,03372e-08	0,000862085	0,000862127	
CO2				kmol/hr	1,0875e-07	0,000462724	0,000462833	
H2O				kmol/hr	1,07181e-06	176,095	176,095	
CACL2				kmol/hr	0	0	0	
CA++				kmol/hr	3,1151e-11	19,062	19,062	
CL-				kmol/hr	6,2302e-11	38,124	38,124	
- Mole Fractions								
N2					0,0879713	0,000140516	0,000140517	
O2					0,539575	0,000113478	0,000113486	
AR					0,0123046	3,69452e-06	3,6947e-06	
CO2					0,0331734	1,98303e-06	1,9835e-06	
H2O					0,326947	0,754666	0,754666	
CACL2					0	0	0	
CA++					9,50239e-06	0,0816914	0,0816913	
CL-					1,90048e-05	0,163383	0,163383	

Anexo E 183. Resultados de los flujos y fracciones masicos del mezclador para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x MIXER (Mixer) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Work	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	L0-FRESC	L0-OUT	L0-ABS		
- Mass Flows			kg/hr	9,03897e-05	5289,78	5289,79		
	N2		kg/hr	8,07881e-06	0,91851	0,918521		
	O2		kg/hr	5,66011e-05	0,847302	0,84736		
	AR		kg/hr	1,61139e-06	0,0344386	0,0344403		
	CO2		kg/hr	4,78607e-06	0,0203644	0,0203692		
	H2O		kg/hr	1,93089e-05	3172,4	3172,4		
	CACL2		kg/hr	0	0	0		
	CA++		kg/hr	1,24844e-09	763,945	763,945		
	CL-		kg/hr	2,20881e-09	1351,62	1351,62		
- Mass Fractions								
	N2			0,0893775	0,000173639	0,00017364		
	O2			0,62619	0,000160177	0,000160188		
	AR			0,0178272	6,51039e-06	6,51071e-06		
	CO2			0,0529492	3,84976e-06	3,85067e-06		
	H2O			0,213618	0,599722	0,599722		
	CACL2			0	0	0		
	CA++			1,38117e-05	0,144419	0,144419		
	CL-			2,44365e-05	0,255515	0,255515		
	Volume Flow		l/min	0,000910496	60,2304	60,2305		

Anexo E 184. Resultados energéticos del Ventilador 1 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Results x +						
Summary	Balance	Parameters	Performance	Regression	Utility Usage	Statu
Compressor model			Isentropic Compressor			
Phase calculations			Vapor phase calculation			
Indicated horsepower			33,2175 Watt			
Brake horsepower			33,2175 Watt			
Net work required			33,2175 Watt			
Power loss			0 Watt			
Efficiency					0,82	
Mechanical efficiency					1	
Outlet pressure			1,00238 atm			
Outlet temperature			32,0505 C			
Isentropic outlet temperature			32,0056 C			
Vapor fraction					1	
Displacement						
Volumetric efficiency						

Anexo E 185. Resultados de los flujos y fracciones molares del Ventilador 1 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	AIRE-ABS	VN+1-ABS	
- Mole Flows			kmol/hr	16,2581	16,2581	
	N2		kmol/hr	12,0925	12,0925	
	O2		kmol/hr	3,25566	3,25566	
	AR		kmol/hr	0,14418	0,14418	
	CO2		kmol/hr	0,01085	0,01085	
	H2O		kmol/hr	0,75494	0,75494	
	CACL2		kmol/hr	0	0	
	CA++		kmol/hr	0	0	
	CL-		kmol/hr	0	0	
- Mole Fractions						
	N2			0,743781	0,743781	
	O2			0,200249	0,200249	
	AR			0,0088682	0,0088682	
	CO2			0,00066736	0,00066736	
	H2O			0,0464347	0,0464347	
	CACL2			0	0	
	CA++			0	0	
	CL-			0	0	

Anexo E 186. Resultados de los flujos y fracciones máscicas del Ventilador 1 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x VENT-1 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	AIRE-ABS	VN+1-ABS	
- Mass Flows			kg/hr	462,767	462,767	
	N2		kg/hr	338,752	338,752	
	O2		kg/hr	104,177	104,177	
	AR		kg/hr	5,7597	5,7597	
	CO2		kg/hr	0,477506	0,477506	
	H2O		kg/hr	13,6005	13,6005	
	CACL2		kg/hr	0	0	
	CA++		kg/hr	0	0	
	CL-		kg/hr	0	0	
- Mass Fractions						
	N2			0,732014	0,732014	
	O2			0,225118	0,225118	
	AR			0,0124462	0,0124462	
	CO2			0,00103185	0,00103185	
	H2O			0,0293894	0,0293894	
	CACL2			0	0	
	CA++			0	0	
	CL-			0	0	
	Volume Flow		l/min	6778,81	6768,28	

Anexo E 187. Resultados energéticos del Ventilador 2 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet × VENT-2 (Compr) - Results × +	
Summary Balance Parameters Performance Regression Utility Usage Status	
Compressor model	Isentropic Compressor
Phase calculations	Vapor phase calculation
Indicated horsepower	35,2179 Watt
Brake horsepower	35,2179 Watt
Net work required	35,2179 Watt
Power loss	0 Watt
Efficiency	0,82
Mechanical efficiency	1
Outlet pressure	1,00238 atm
Outlet temperature	32,0505 C
Isentropic outlet temperature	32,0056 C
Vapor fraction	1
Displacement	
Volumetric efficiency	

Anexo E 188. Resultados de los flujos y fracciones molares del Ventilador 2 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet × VENT-2 (Compr) - Stream Results (Boundary) × +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	AIRE-DES	VN+1-DES	
— Mole Flows			kmol/hr	17,2372	17,2372	
N2			kmol/hr	12,8207	12,8207	
O2			kmol/hr	3,4517	3,4517	
AR			kmol/hr	0,1529	0,1529	
CO2			kmol/hr	0,0115	0,0115	
H2O			kmol/hr	0,8004	0,8004	
CACL2			kmol/hr	0	0	
CA++			kmol/hr	0	0	
CL-			kmol/hr	0	0	
— Mole Fractions						
N2				0,743781	0,743781	
O2				0,200247	0,200247	
AR				0,00887035	0,00887035	
CO2				0,000667162	0,000667162	
H2O				0,0464345	0,0464345	
CACL2				0	0	
CA++				0	0	
CL-				0	0	

Anexo E 189. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Ventilador 2 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x VENT-2 (Compr) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	AIRE-DES	VN+1-DES
- Mass Flows				kg/hr	490,636	490,636
	N2			kg/hr	359,152	359,152
	O2			kg/hr	110,45	110,45
	AR			kg/hr	6,10805	6,10805
	CO2			kg/hr	0,506113	0,506113
	H2O			kg/hr	14,4194	14,4194
	CACL2			kg/hr	0	0
	CA++			kg/hr	0	0
	CL-			kg/hr	0	0
- Mass Fractions						
	N2				0,732014	0,732014
	O2				0,225116	0,225116
	AR				0,0124492	0,0124492
	CO2				0,00103154	0,00103154
	H2O				0,0293892	0,0293892
	CACL2				0	0
	CA++				0	0
	CL-				0	0
	Volume Flow			l/min	7187,05	7175,88

Anexo E 190. Resultados energéticos e las corrientes del Absorbedor para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +									
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids		
					Units	L0-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- MIXED Substream									
	Phase				Liquid Phase	Vapor Phase	Liquid Phase	Vapor Phase	
	Temperature			C	22	32,0505	24,5482	23,465	
	Pressure			bar	1,01568	1,01566	1,01568	1,01568	
	Molar Vapor Fraction				0	1	0	1	
	Molar Liquid Fraction				1	0	1	0	
	Molar Solid Fraction				0	0	0	0	
	Mass Vapor Fraction				0	1	0	1	
	Mass Liquid Fraction				1	0	1	0	
	Mass Solid Fraction				0	0	0	0	
	Molar Enthalpy			cal/mol	-68578,4	-2699,23	-68538,3	-1015,11	
	Mass Enthalpy			cal/gm	-3025,11	-94,8302	-3024,48	-35,2569	
	Molar Entropy			cal/mol-K	-33,4225	1,11421	-33,3361	1,05861	
	Mass Entropy			cal/gm-K	-1,47432	0,0391447	-1,47107	0,0367678	
	Molar Density			mol/cc	0,0645691	4,0035e-05	0,064456	4,11899e-05	
	Mass Density			gm/cc	1,46376	0,00113955	1,46065	0,00118593	
	Enthalpy Flow			cal/sec	-4,44505e+06	-12190,1	-4,45281e+06	-4430,95	
	Average MW				22,6697	28,4638	22,6611	28,7919	

Anexo E 191. Resultados de los flujos y fracciones molares del Absorbedor para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet × ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) × +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	L0-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- Mole Flows				kmol/hr	233,342	16,2581	233,886	15,714
N2				kmol/hr	0,0327885	12,0925	0,0565194	12,0687
O2				kmol/hr	0,026481	3,25566	0,0463438	3,2358
AR				kmol/hr	0,000862127	0,14418	0,0014412	0,143601
CO2				kmol/hr	0,000462833	0,01085	0,000549657	0,0107632
H2O				kmol/hr	176,095	0,75494	176,595	0,255067
CACL2				kmol/hr	0	0	0	0
CA++				kmol/hr	19,062	0	19,062	0
CL-				kmol/hr	38,124	0	38,124	0
- Mole Fractions								
N2					0,000140517	0,743781	0,000241654	0,768026
O2					0,000113486	0,200249	0,000198147	0,205919
AR					3,6947e-06	0,0088682	6,16197e-06	0,00913843
CO2					1,9835e-06	0,00066736	2,35011e-06	0,000684944
H2O					0,754666	0,0464347	0,755048	0,0162319
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,0816913	0	0,0815012	0
CL-					0,163383	0	0,163002	0

Anexo E 192. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Absorbedor para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet × ABS (RadFrac) - Stream Results (Boundary) × +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt.% Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
				Units	L0-ABS	VN+1-ABS	LN-ABS	V1-ABS
- Mass Flows				kg/hr	5289,79	462,767	5300,12	452,434
N2				kg/hr	0,918521	338,752	1,58331	338,087
O2				kg/hr	0,84736	104,177	1,48295	103,542
AR				kg/hr	0,0344403	5,7597	0,0575729	5,73657
CO2				kg/hr	0,0203692	0,477506	0,0241903	0,473685
H2O				kg/hr	3172,4	13,6005	3181,41	4,5951
CACL2				kg/hr	0	0	0	0
CA++				kg/hr	763,945	0	763,945	0
CL-				kg/hr	1351,62	0	1351,62	0
- Mass Fractions								
N2					0,00017364	0,732014	0,00029873	0,747263
O2					0,000160188	0,225118	0,000279795	0,228855
AR					6,51071e-06	0,0124462	1,08626e-05	0,0126793
CO2					3,85067e-06	0,00103185	4,5641e-06	0,00104697
H2O					0,599722	0,0293894	0,600252	0,0101564
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,144419	0	0,144137	0
CL-					0,255515	0	0,255017	0
Volume Flow				l/min	60,2305	6768,28	60,4769	6358,34

Anexo E 193. Resultados energéticos e las corrientes del Desorbedor para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
			Units		L0-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- MIXED Substream								
Phase					Vapor Phase	Liquid Phase	Vapor Phase	
Temperature			C		54,04	32,0505	51,1258	51,9256
Pressure			bar		1,01568	1,01566	1,01568	1,01568
Molar Vapor Fraction					0,000191338	1	0	1
Molar Liquid Fraction					0,999809	0	1	0
Molar Solid Fraction					0	0	0	0
Mass Vapor Fraction					0,000240229	1	0	1
Mass Liquid Fraction					0,99976	0	1	0
Mass Solid Fraction					0	0	0	0
Molar Enthalpy			cal/mol		-68220,1	-2699,19	-68266,2	-4100,75
Mass Enthalpy			cal/gm		-3010,45	-94,8289	-3011,34	-145,552
Molar Entropy			cal/mol-K		-32,3168	1,11422	-32,4141	1,39485
Mass Entropy			cal/gm-K		-1,42609	0,0391451	-1,42984	0,0495087
Molar Density			mol/cc		0,048084	4,0035e-05	0,0639012	3,7587e-05
Mass Density			gm/cc		1,08964	0,00113955	1,44862	0,00105897
Enthalpy Flow			cal/sec		-4,43214e+06	-12924	-4,42481e+06	-20254,9
Average MW					22,6611	28,4638	22,6697	28,1738

Anexo E 194. Resultados de los flujos y fracciones molares del Desorbedor para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +								
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	
			Units		L0-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES
- Mole Flows								
N2			kmol/hr		233,886	17,2372	233,341	17,7815
O2			kmol/hr		0,0565194	12,8207	0,0327882	12,8444
AR			kmol/hr		0,0463438	3,4517	0,0264792	3,47156
CO2			kmol/hr		0,0014412	0,1529	0,000862085	0,153479
H2O			kmol/hr		0,000549657	0,0115	0,000462724	0,0115869
H2O			kmol/hr		176,595	0,8004	176,095	1,30046
CACL2			kmol/hr		0	0	0	0
CA++			kmol/hr		19,062	0	19,062	0
CL-			kmol/hr		38,124	0	38,124	0
- Mole Fractions								
N2					0,000241654	0,743781	0,000140516	0,722347
O2					0,000198147	0,200247	0,000113478	0,195234
AR					6,16197e-06	0,00887035	3,69452e-06	0,00863138
CO2					2,35011e-06	0,000667162	1,98303e-06	0,000651628
H2O					0,755048	0,0464345	0,754666	0,0731353
CACL2					0	0	0	0
CA++					0,0815012	0	0,0816914	0
CL-					0,163002	0	0,163383	0

Anexo E 195. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Desorbedor para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x DESORB (RadFrac) - Stream Results (Boundary) x +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units	LO-DESOR	VN+1-DES	LN-DESOR	V1-DES	
— Mass Flows		kg/hr	5300,12	490,636	5289,78	500,972	
	N2	kg/hr	1,58331	359,152	0,91851	359,817	
	O2	kg/hr	1,48295	110,45	0,847302	111,086	
	AR	kg/hr	0,0575729	6,10805	0,0344386	6,13118	
	CO2	kg/hr	0,0241903	0,506113	0,0203644	0,509939	
	H2O	kg/hr	3181,41	14,4194	3172,4	23,4281	
	CACL2	kg/hr	0	0	0	0	
	CA++	kg/hr	763,945	0	763,945	0	
	CL-	kg/hr	1351,62	0	1351,62	0	
— Mass Fractions							
	N2		0,00029873	0,732014	0,000173639	0,718238	
	O2		0,000279795	0,225116	0,000160177	0,221741	
	AR		1,08626e-05	0,0124492	6,51039e-06	0,0122386	
	CO2		4,5641e-06	0,00103154	3,84976e-06	0,0010179	
	H2O		0,600252	0,0293892	0,599722	0,0467653	
	CACL2		0	0	0	0	
	CA++		0,144137	0	0,144419	0	
	CL-		0,255017	0	0,255515	0	
	Volume Flow	l/min	81,0684	7175,88	60,8599	7884,61	

Anexo E 196. Resultados energéticos de la Bomba 1 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x BOMBA-1 (Pump) - Results x +			
Summary	Balance	Performance Curve	Utility Usage
Fluid power	6,94956	Watt	
Brake power	9,26607	Watt	
Electricity	9,26607	Watt	
Volumetric flow rate	60,4769	l/min	
Pressure change	0,068046	atm	
NPSH available	0,539534	meter-head	
NPSH required			
Head developed	0,481341	meter-head	
Pump efficiency used	0,75		
Net work required	9,26607	Watt	
Outlet pressure	1,07045	atm	
Outlet temperature	24,5499	C	

Anexo E 197. Resultados de los flujos y fracciones molares de la Bomba 1 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x BOMBA-1 (Pump) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	LN-ABS	LIN-COLE
- Mole Flows				kmol/hr	233,886	233,886
	N2			kmol/hr	0,0565194	0,0565194
	O2			kmol/hr	0,0463438	0,0463438
	AR			kmol/hr	0,0014412	0,0014412
	CO2			kmol/hr	0,000549657	0,000549657
	H2O			kmol/hr	176,595	176,595
	CACL2			kmol/hr	0	0
	CA++			kmol/hr	19,062	19,062
	CL-			kmol/hr	38,124	38,124
- Mole Fractions						
	N2				0,000241654	0,000241654
	O2				0,000198147	0,000198147
	AR				6,16197e-06	6,16197e-06
	CO2				2,35011e-06	2,35011e-06
	H2O				0,755048	0,755048
	CACL2				0	0
	CA++				0,0815012	0,0815012
	CL-				0,163002	0,163002

Anexo E 198. Resultados de los flujos y fracciones máscas de la Bomba 1 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x BOMBA-1 (Pump) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
				Units	LN-ABS	LIN-COLE
- Mass Flows				kg/hr	5300,12	5300,12
	N2			kg/hr	1,58331	1,58331
	O2			kg/hr	1,48295	1,48295
	AR			kg/hr	0,0575729	0,0575729
	CO2			kg/hr	0,0241903	0,0241903
	H2O			kg/hr	3181,41	3181,41
	CACL2			kg/hr	0	0
	CA++			kg/hr	763,945	763,945
	CL-			kg/hr	1351,62	1351,62
- Mass Fractions						
	N2				0,00029873	0,00029873
	O2				0,000279795	0,000279795
	AR				1,08626e-05	1,08626e-05
	CO2				4,5641e-06	4,5641e-06
	H2O				0,600252	0,600252
	CACL2				0	0
	CA++				0,144137	0,144137
	CL-				0,255017	0,255017
	Volume Flow			l/min	60,4769	60,4767

Anexo E 199. Resultados energéticos de la Bomba 2 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x BOMBA-2 (Pump) - Results x +				
Summary	Balance	Performance Curve	Utility Usage	Sta
Fluid power	34,9679	Watt		
Brake power	46,6238	Watt		
Electricity	46,6238	Watt		
Volumetric flow rate	60,8599	l/min		
Pressure change	0,34023	atm		
NPSH available	0,110643	meter-head		
NPSH required				
Head developed	2,42668	meter-head		
Pump efficiency used	0,75			
Net work required	46,6238	Watt		
Outlet pressure	1,34263	atm		
Outlet temperature	51,1337	C		

Anexo E 200. Resultados de los flujos y fracciones molares de la Bomba 2 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet x BOMBA-2 (Pump) - Stream Results (Boundary) x +						
Material	Work	Vol. % Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
		Units		LN-DESOR	LIN-ENFR	
- Mole Flows		kmol/hr		233,341	233,341	
	N2		kmol/hr	0,0327882	0,0327882	
	O2		kmol/hr	0,0264792	0,0264792	
	AR		kmol/hr	0,000862085	0,000862085	
	CO2		kmol/hr	0,000462724	0,000462724	
	H2O		kmol/hr	176,095	176,095	
	CACL2		kmol/hr	0	0	
	CA++		kmol/hr	19,062	19,062	
	CL-		kmol/hr	38,124	38,124	
- Mole Fractions						
	N2			0,000140516	0,000140516	
	O2			0,000113478	0,000113478	
	AR			3,69452e-06	3,69452e-06	
	CO2			1,98303e-06	1,98303e-06	
	H2O			0,754666	0,754666	
	CACL2			0	0	
	CA++			0,0816914	0,0816914	
	CL-			0,163383	0,163383	

Anexo E 201. Resultados de los flujos y fracciones másicas de la Bomba 2 para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet × BOMBA-2 (Pump) - Stream Results (Boundary) × +						
Material	Work	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
			Units	LN-DESOR	LIN-ENFR	
- Mass Flows			kg/hr	5289,78	5289,78	
	N2		kg/hr	0,91851	0,91851	
	O2		kg/hr	0,847302	0,847302	
	AR		kg/hr	0,0344386	0,0344386	
	CO2		kg/hr	0,0203644	0,0203644	
	H2O		kg/hr	3172,4	3172,4	
	CACL2		kg/hr	0	0	
	CA++		kg/hr	763,945	763,945	
	CL-		kg/hr	1351,62	1351,62	
- Mass Fractions						
	N2			0,000173639	0,000173639	
	O2			0,000160177	0,000160177	
	AR			6,51039e-06	6,51039e-06	
	CO2			3,84976e-06	3,84976e-06	
	H2O			0,599722	0,599722	
	CACL2			0	0	
	CA++			0,144419	0,144419	
	CL-			0,255515	0,255515	
	Volume Flow		l/min	60,8599	60,8594	

Anexo E 202. Resultados energéticos del Colector para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet × COLECTOR (Heater) - Results × +				
Summary	Balance	Phase Equilibrium	Utility Usage	Status
Outlet temperature	54,04	C		
Outlet pressure	1,01568	bar		
Vapor fraction	0,000191338			
Heat duty	86,5296	kW		
Net duty	86,5296	kW		
1st liquid / Total liquid	1			
Pressure-drop correlation parameter				
Pressure drop	0,068046	atm		

Anexo E 203. Resultados de los flujos y fracciones molares del Colector para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet × COLECTOR (Heater) - Stream Results (Feeds) × +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
					Units	LIN-COLE	L0-DESOR
— Mole Flows					kmol/hr	233,886	233,886
					kmol/hr	0,0565194	0,0565194
					kmol/hr	0,0463438	0,0463438
					kmol/hr	0,0014412	0,0014412
					kmol/hr	0,000549657	0,000549657
					kmol/hr	176,595	176,595
					kmol/hr	0	0
					kmol/hr	19,062	19,062
					kmol/hr	38,124	38,124
— Mole Fractions							
						0,000241654	0,000241654
						0,000198147	0,000198147
						6,16197e-06	6,16197e-06
						2,35011e-06	2,35011e-06
						0,755048	0,755048
						0	0
						0,0815012	0,0815012
						0,163002	0,163002

Anexo E 204. Resultados de los flujos y fracciones máscas del Colector para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet × COLECTOR (Heater) - Stream Results (Feeds) × +							
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids
					Units	LIN-COLE	L0-DESOR
— Mass Flows					kg/hr	5300,12	5300,12
					kg/hr	1,58331	1,58331
					kg/hr	1,48295	1,48295
					kg/hr	0,0575729	0,0575729
					kg/hr	0,0241903	0,0241903
					kg/hr	3181,41	3181,41
					kg/hr	0	0
					kg/hr	763,945	763,945
					kg/hr	1351,62	1351,62
— Mass Fractions							
						0,00029873	0,00029873
						0,000279795	0,000279795
						1,08626e-05	1,08626e-05
						4,5641e-06	4,5641e-06
						0,600252	0,600252
						0	0
						0,144137	0,144137
						0,255017	0,255017

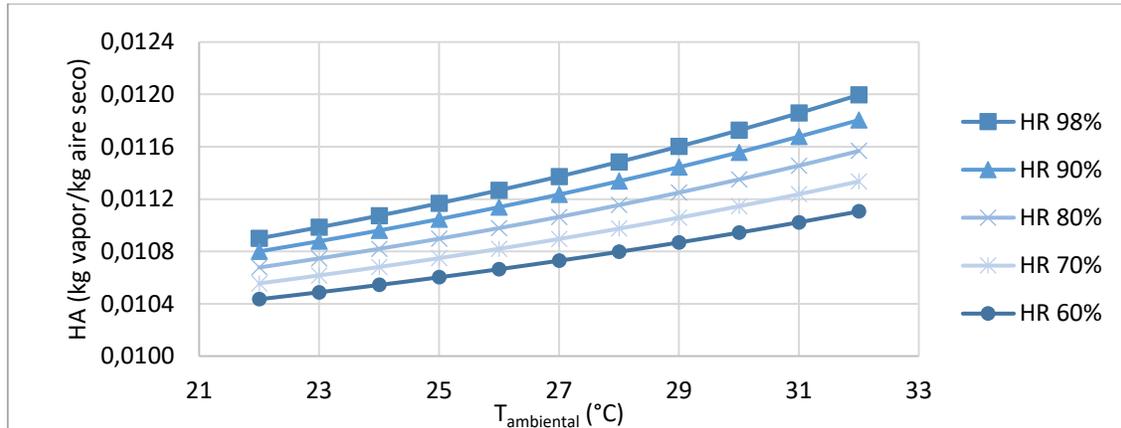
Anexo E 207. Resultados de los flujos y fracciones másicas del Enfriador para la ciudad de San Andrés.

Main Flowsheet × ENFRIADO (Heater) - Stream Results (Boundary) × +									
Material	Heat	Load	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids		
								Units	
								LIN-ENFR	L0-OUT
▶	- Mass Flows			kg/hr				5289,78	5289,78
▶	N2			kg/hr				0,91851	0,91851
▶	O2			kg/hr				0,847302	0,847302
▶	AR			kg/hr				0,0344386	0,0344386
▶	CO2			kg/hr				0,0203644	0,0203644
▶	H2O			kg/hr				3172,4	3172,4
▶	CACL2			kg/hr				0	0
▶	CA++			kg/hr				763,945	763,945
▶	CL-			kg/hr				1351,62	1351,62
▶	- Mass Fractions								
▶	N2							0,000173639	0,000173639
▶	O2							0,000160177	0,000160177
▶	AR							6,51039e-06	6,51039e-06
▶	CO2							3,84976e-06	3,84976e-06
▶	H2O							0,599722	0,599722
▶	CACL2							0	0
▶	CA++							0,144419	0,144419
▶	CL-							0,255515	0,255515
▶	Volume Flow			l/min				60,8594	60,2304

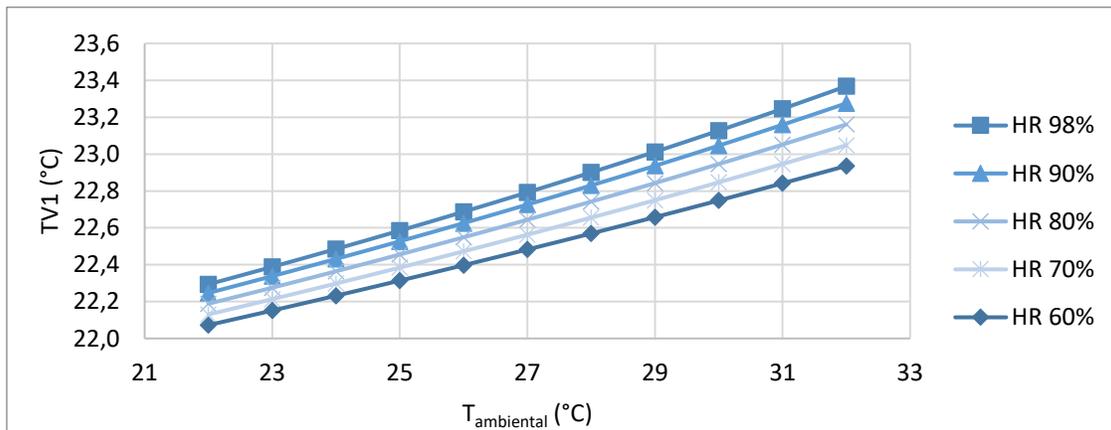
ANEXO F. Resultados del análisis de simulación del sistema de aire acondicionado por absorción.

Análisis de sensibilidad de la temperatura y humedad relativa ambiental.

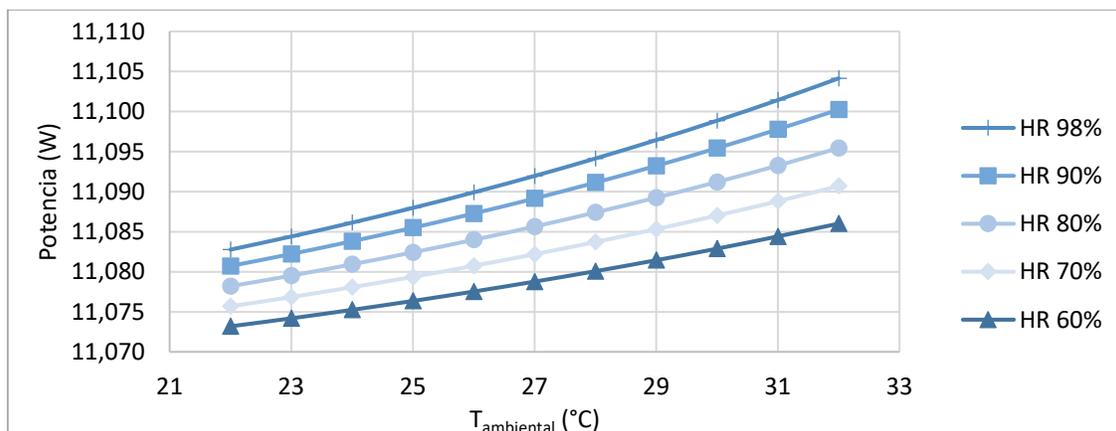
Anexo F 1. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Medellín.



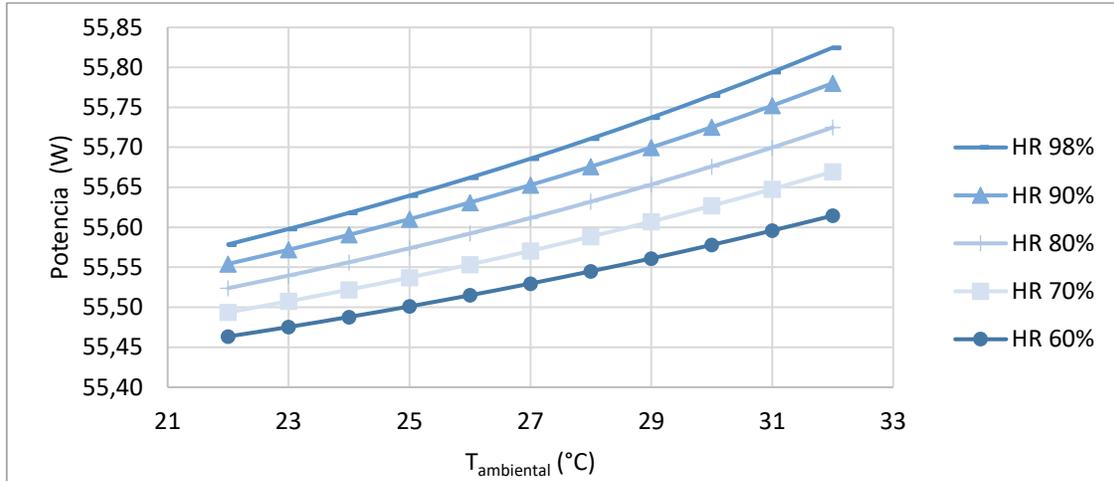
Anexo F 2. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Medellín.



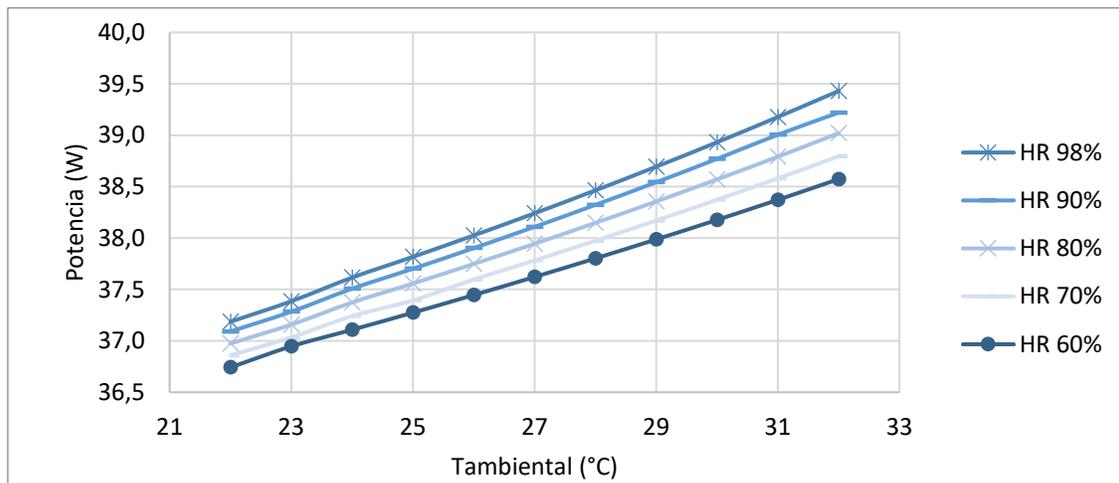
Anexo F 3. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Medellín.



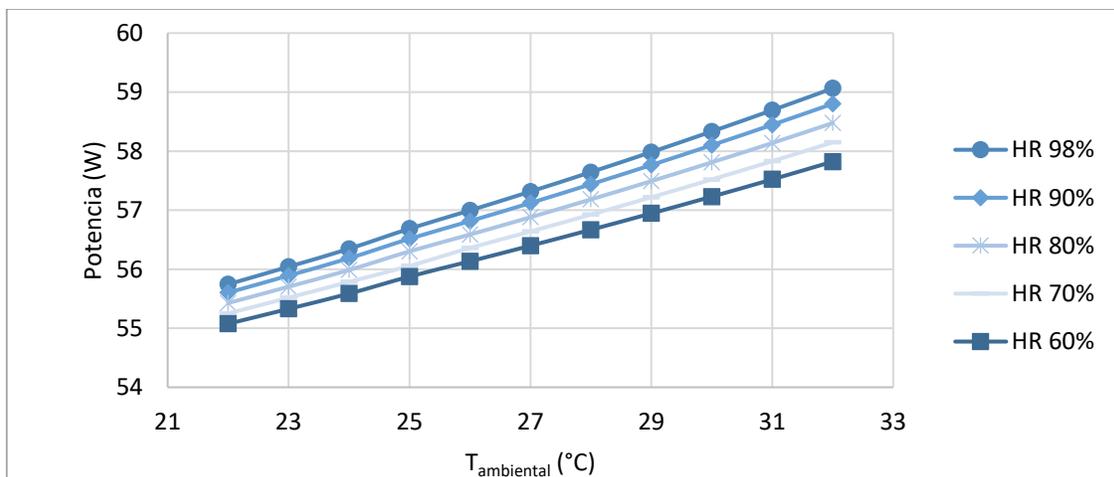
Anexo F 4. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Medellín.



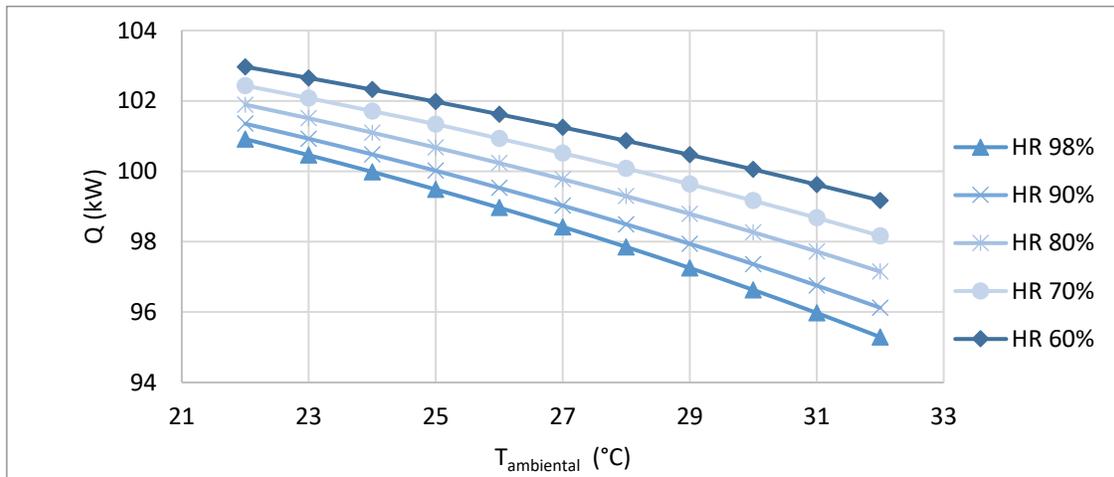
Anexo F 5. Potencia neta requerida del ventilador 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Medellín.



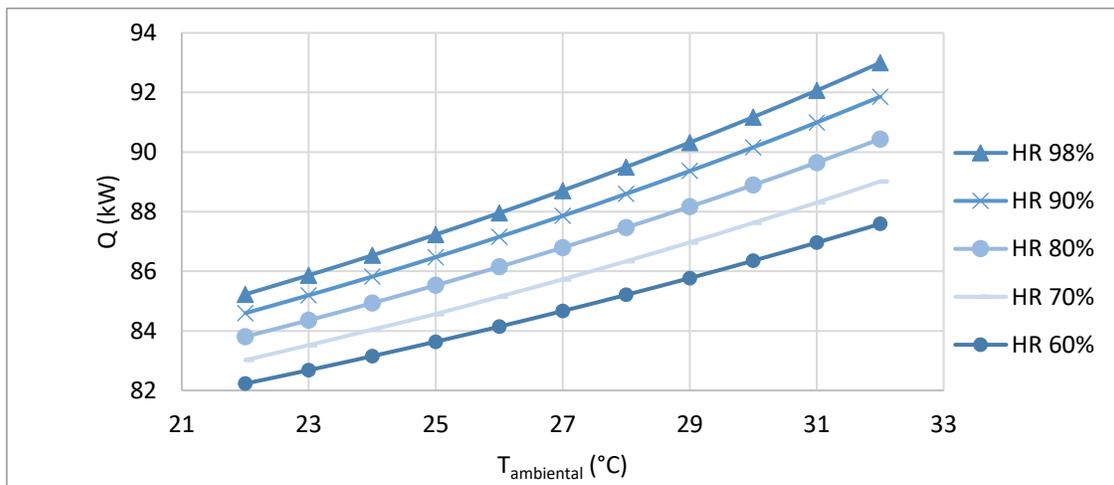
Anexo F 6. Potencia neta requerida del ventilador 2 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Medellín.



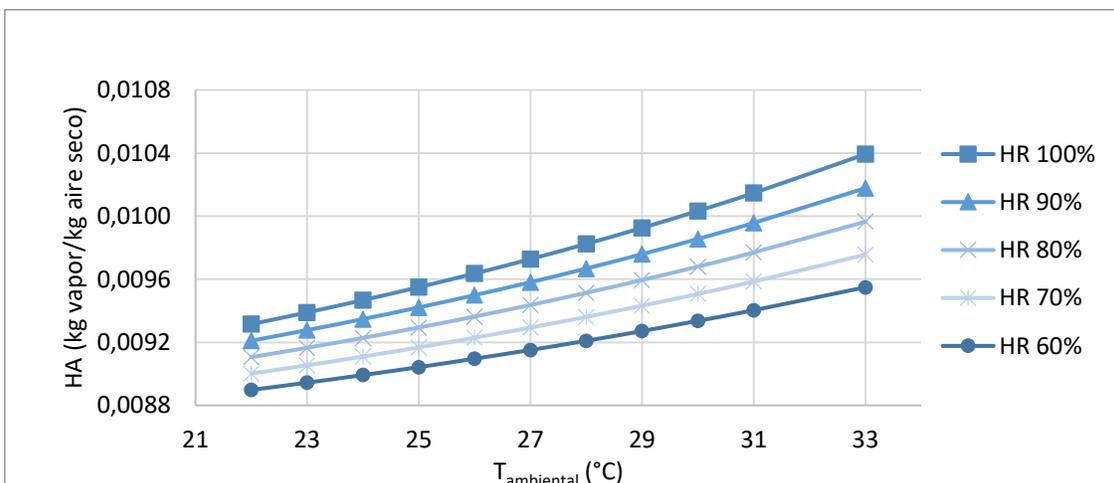
Anexo F 7. Carga térmica del colector en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Medellín.



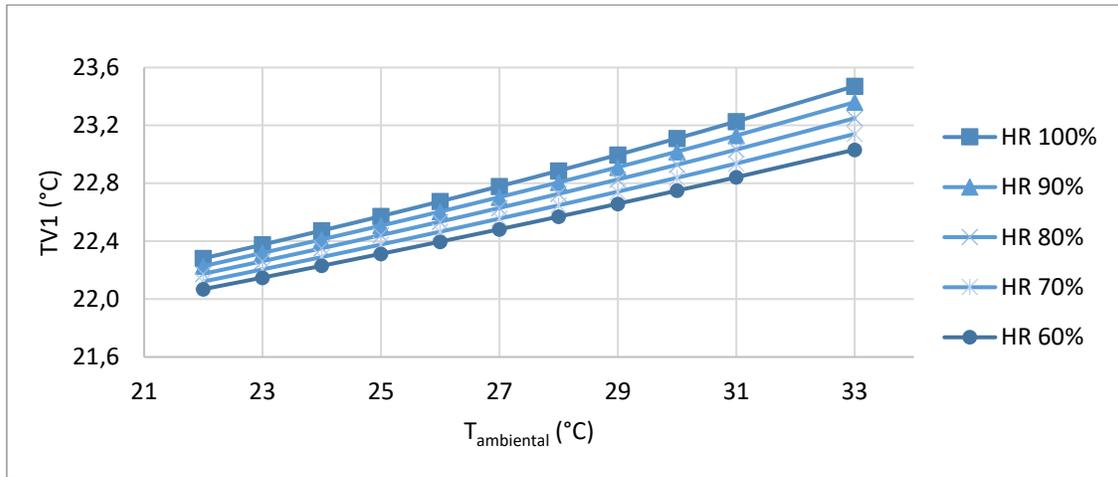
Anexo F 8. Carga térmica del enfriador en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Medellín.



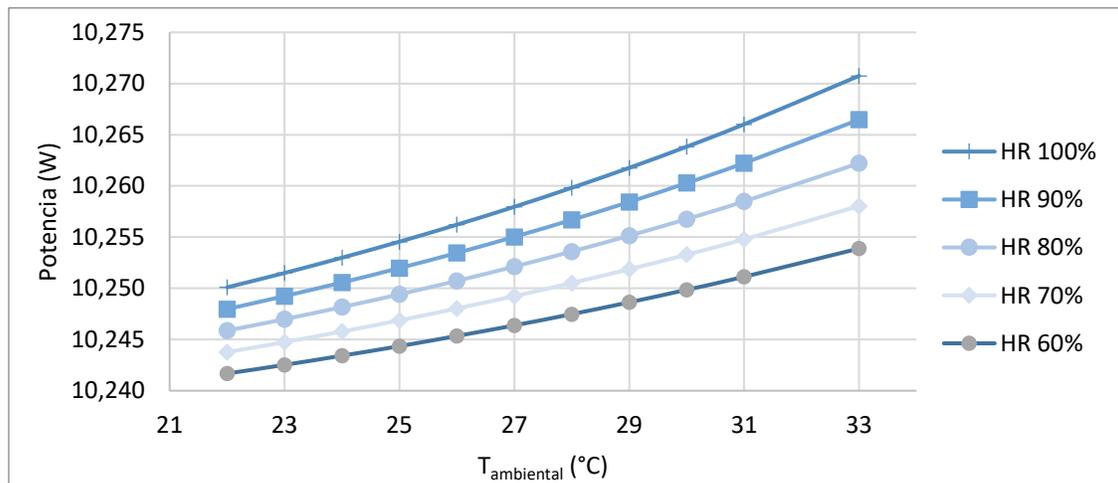
Anexo F 9. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Arauca.



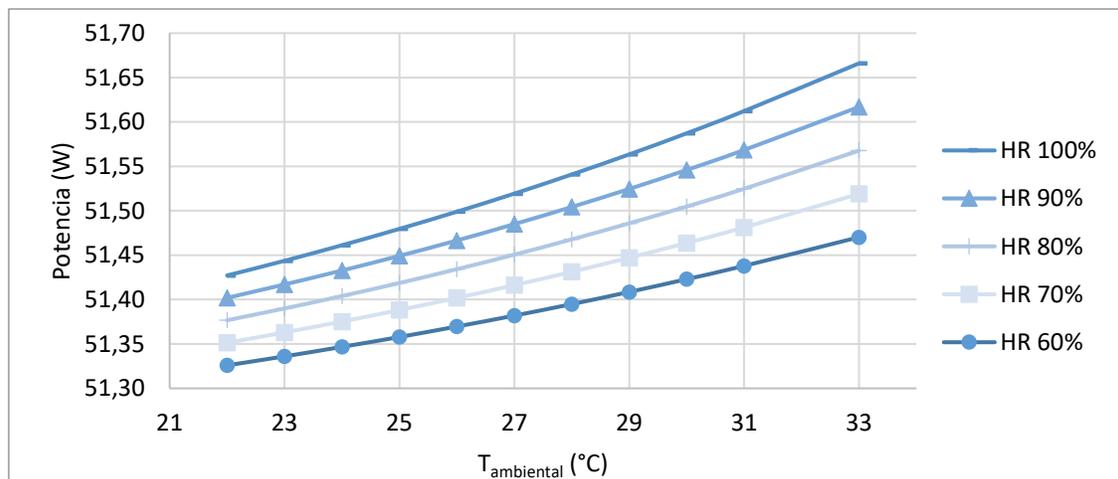
Anexo F 10. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Arauca.



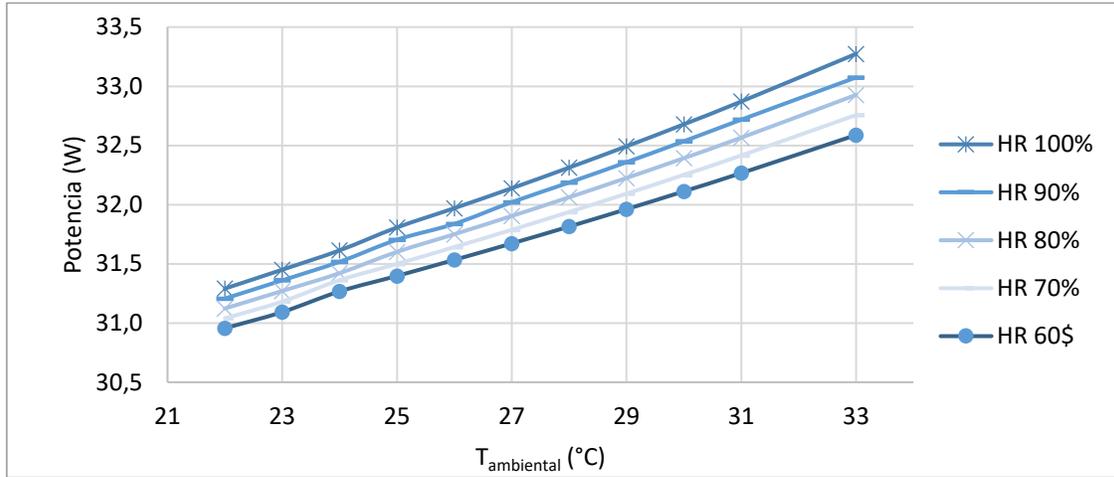
Anexo F 11. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Arauca.



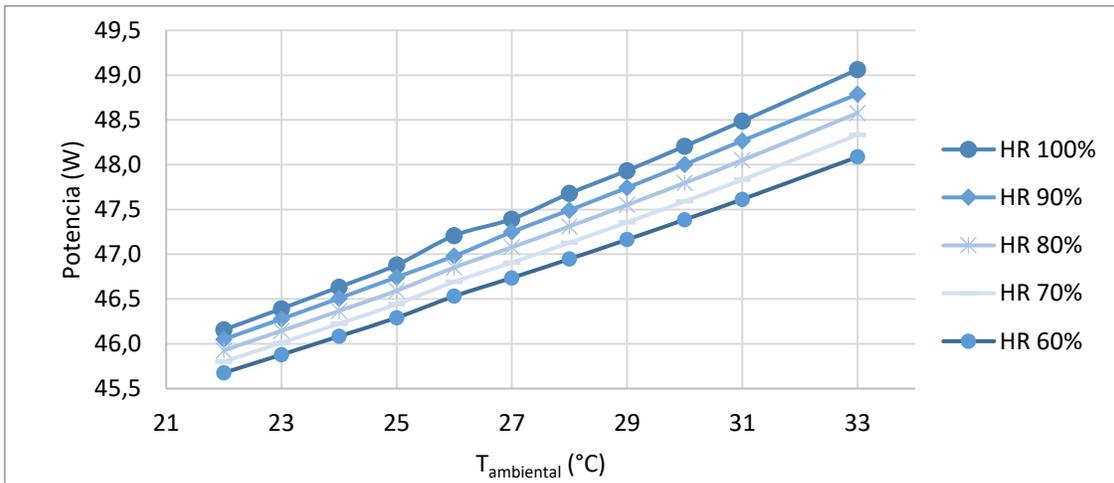
Anexo F 12. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Arauca.



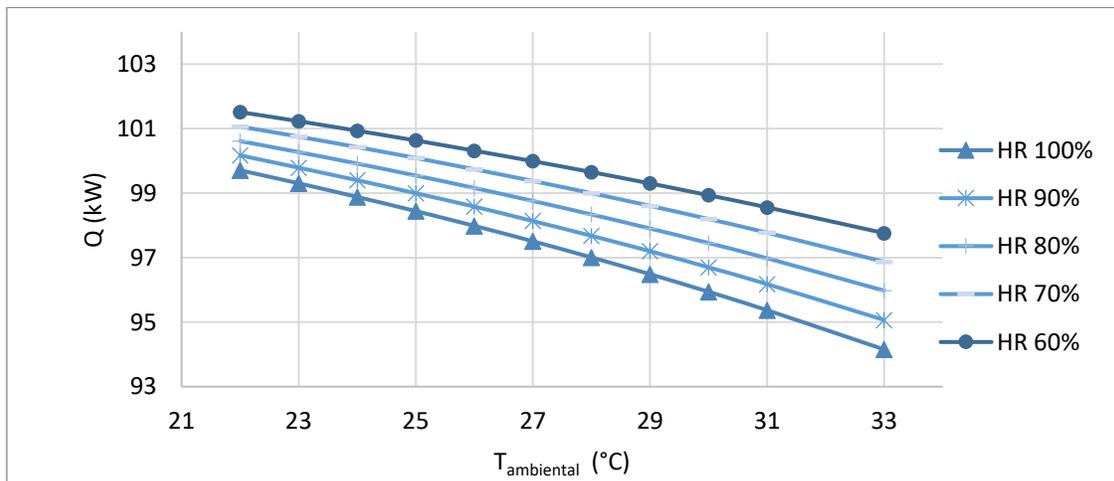
Anexo F 13. Potencia neta requerida del ventilador 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Arauca.



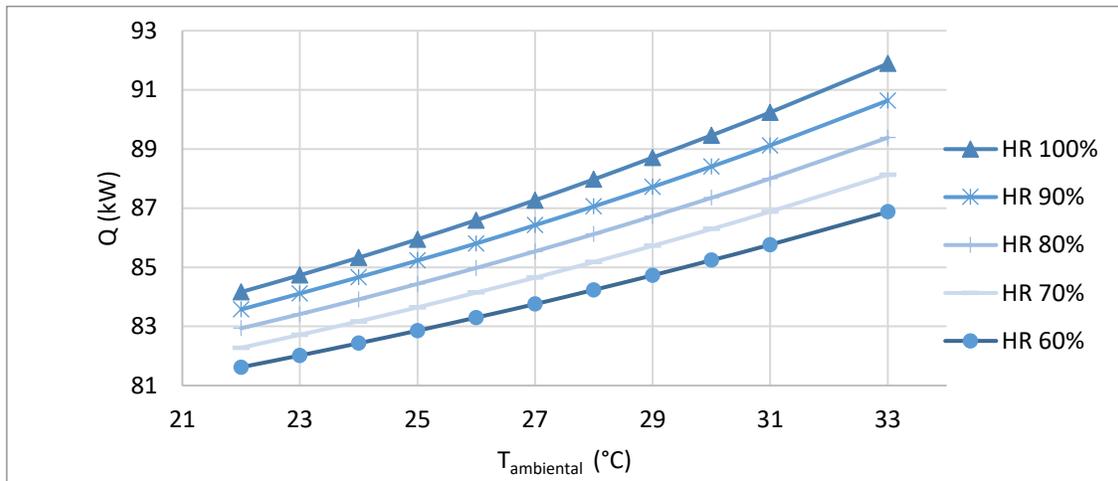
Anexo F 14. Potencia neta requerida del ventilador 2 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Arauca.



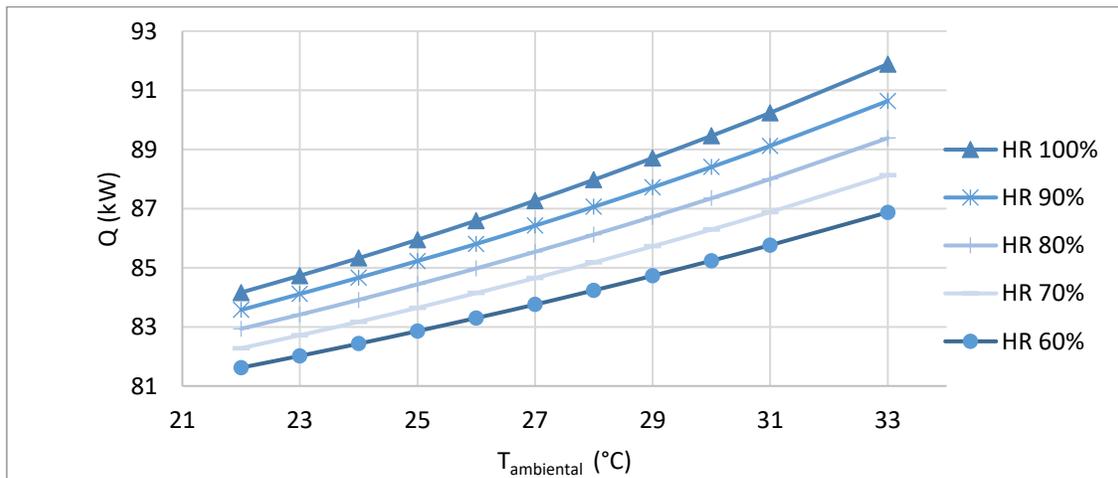
Anexo F 15. Carga térmica del colector en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Arauca.



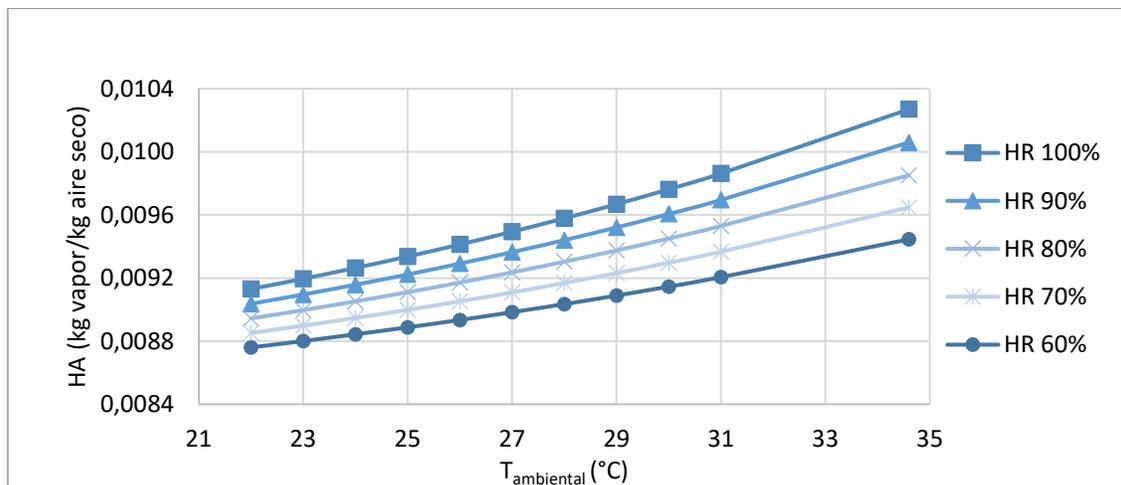
Anexo F 16. Carga térmica del enfriador en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Arauca.



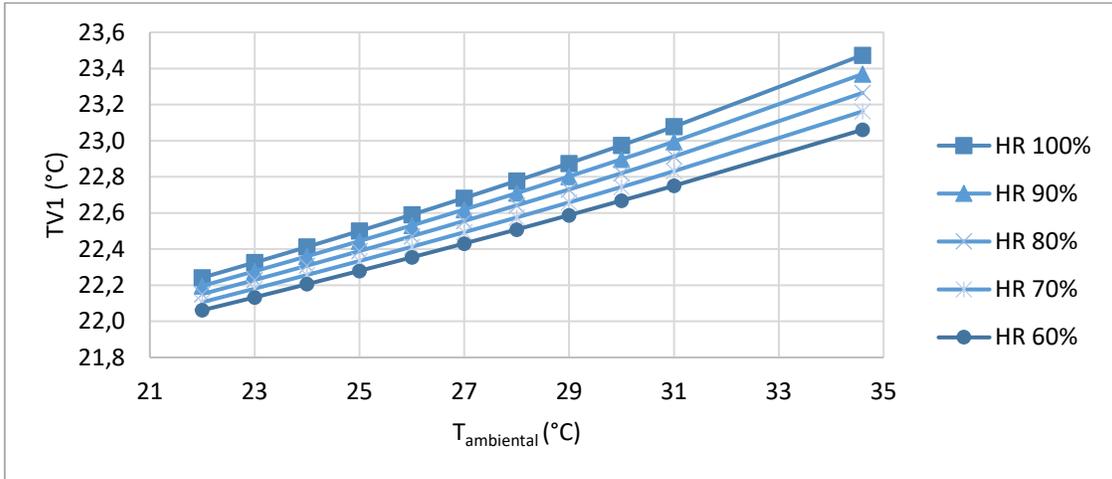
Anexo F 17. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Buenaventura.



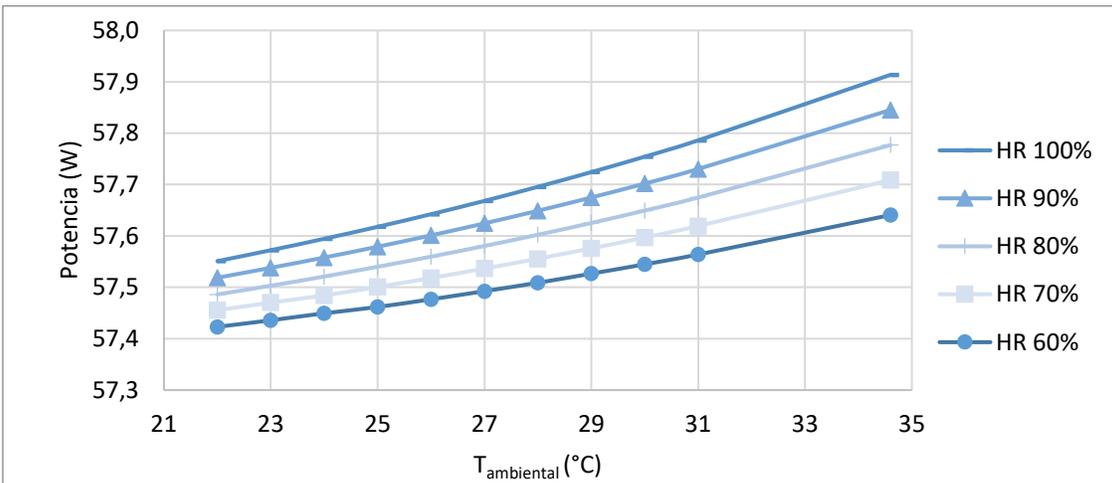
Anexo F 18. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Buenaventura.



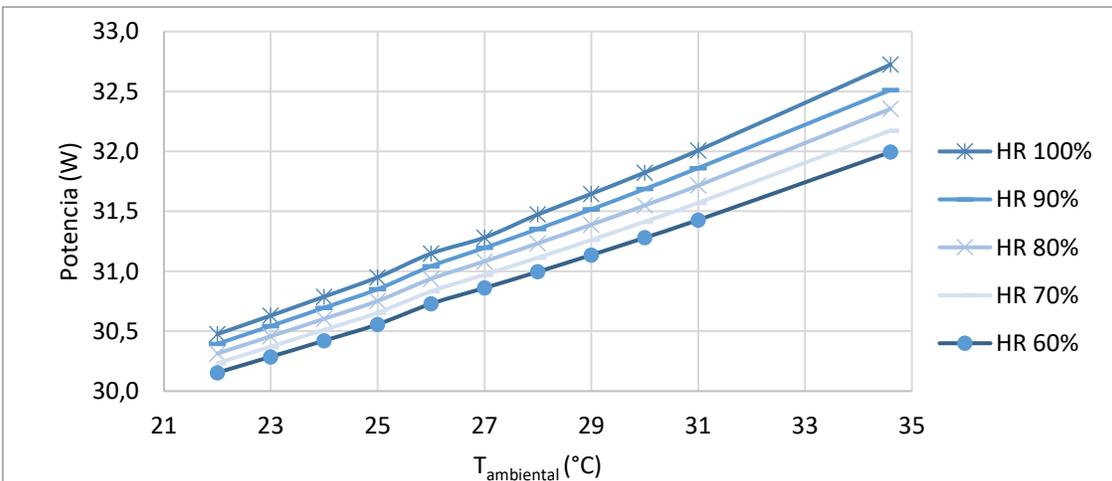
Anexo F 19. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Buenaventura.



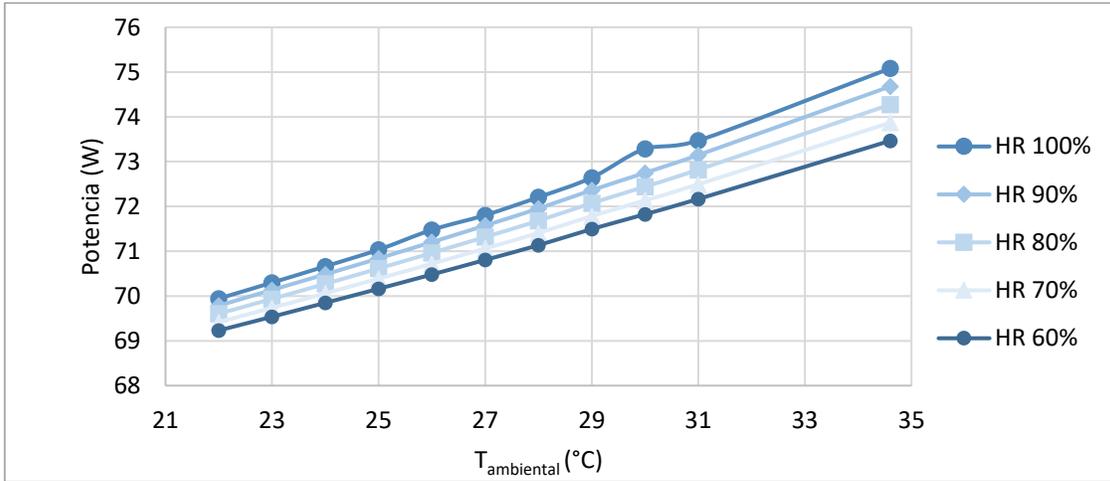
Anexo F 20. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Buenaventura.



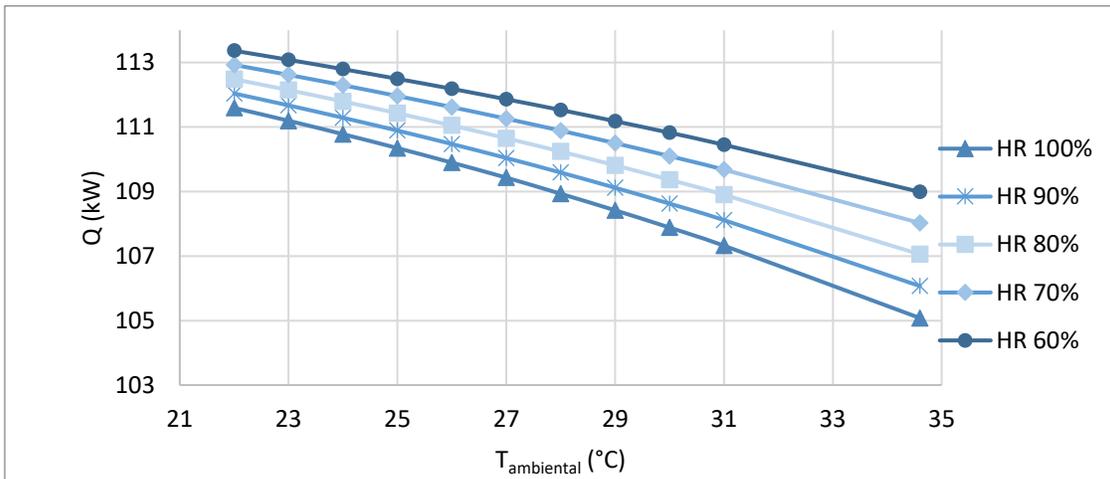
Anexo F 21. Potencia neta requerida del ventilador 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Buenaventura.



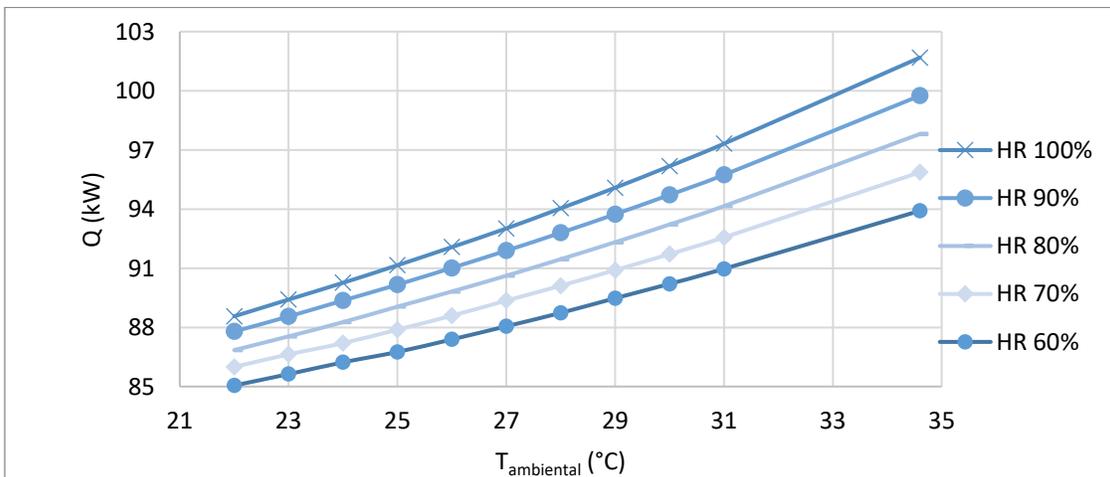
Anexo F 22. Potencia neta requerida del ventilador 2 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Buenaventura.



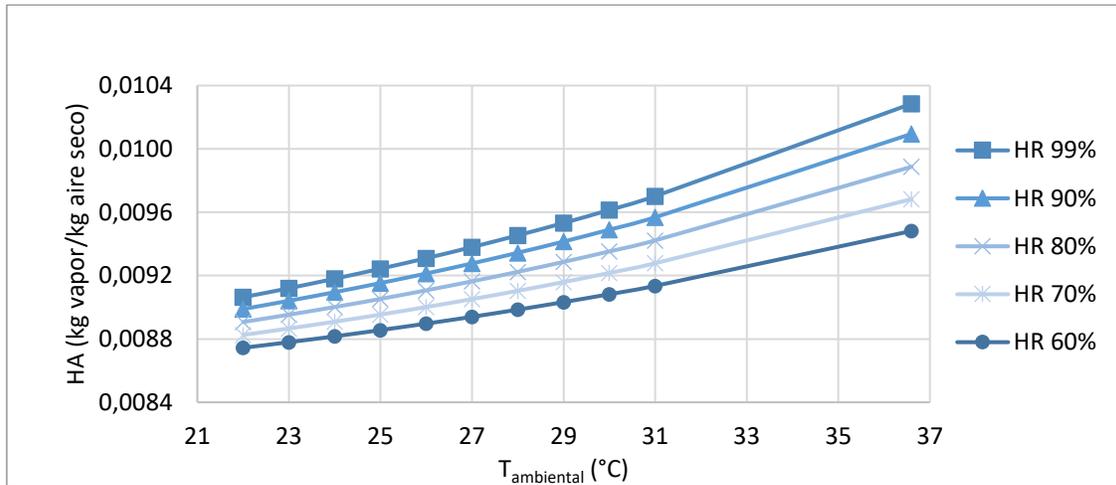
Anexo F 23. Carga térmica del colector en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Buenaventura.



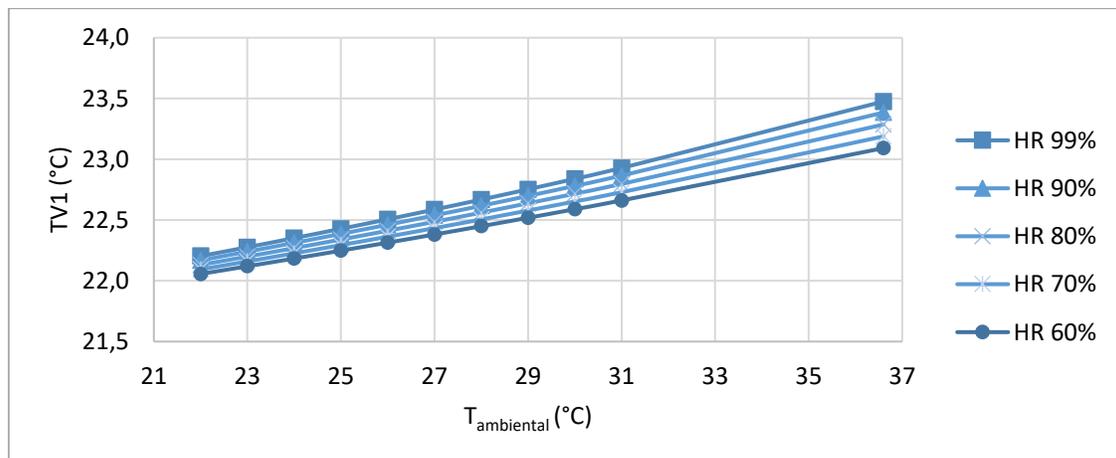
Anexo F 24. Carga térmica del enfriador en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Buenaventura.



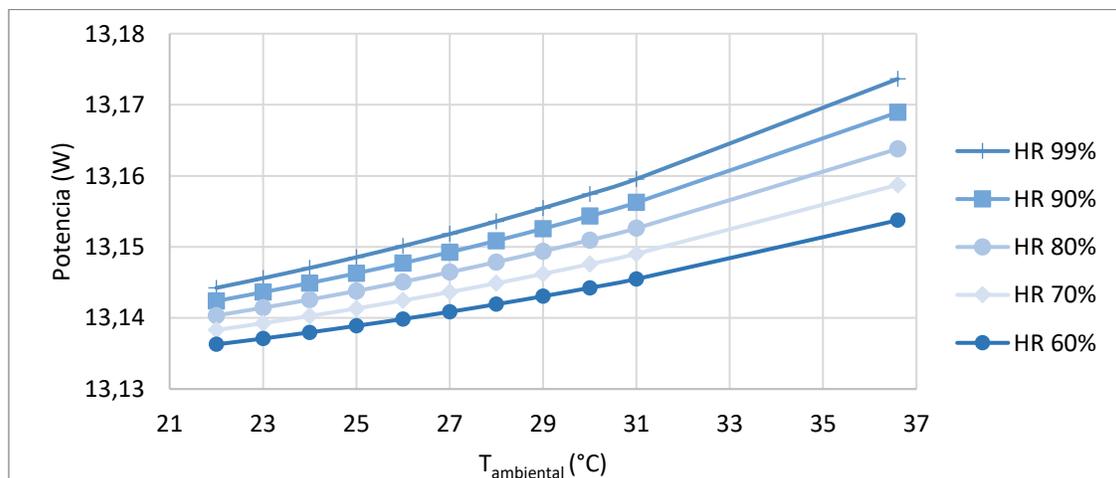
Anexo F 25. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Cartagena.



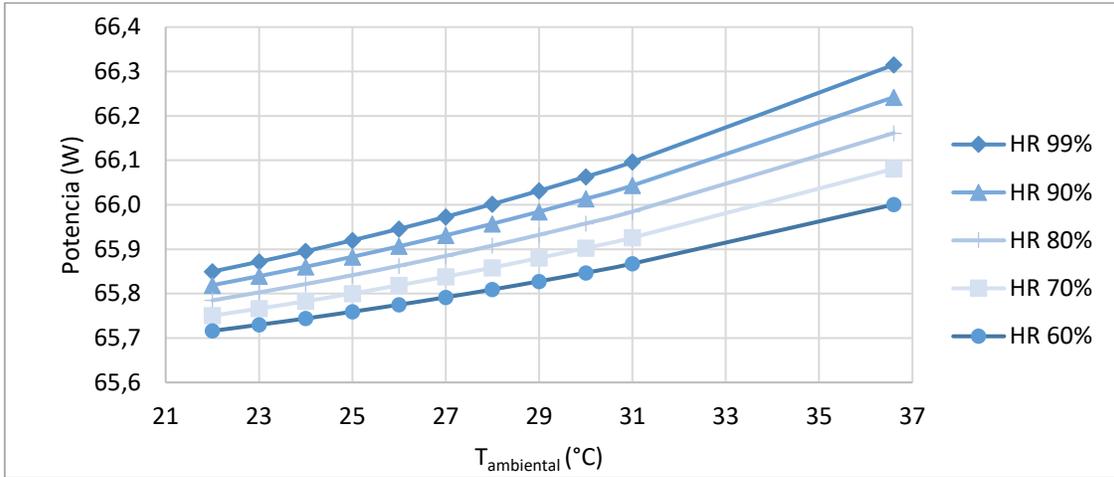
Anexo F 26. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Cartagena.



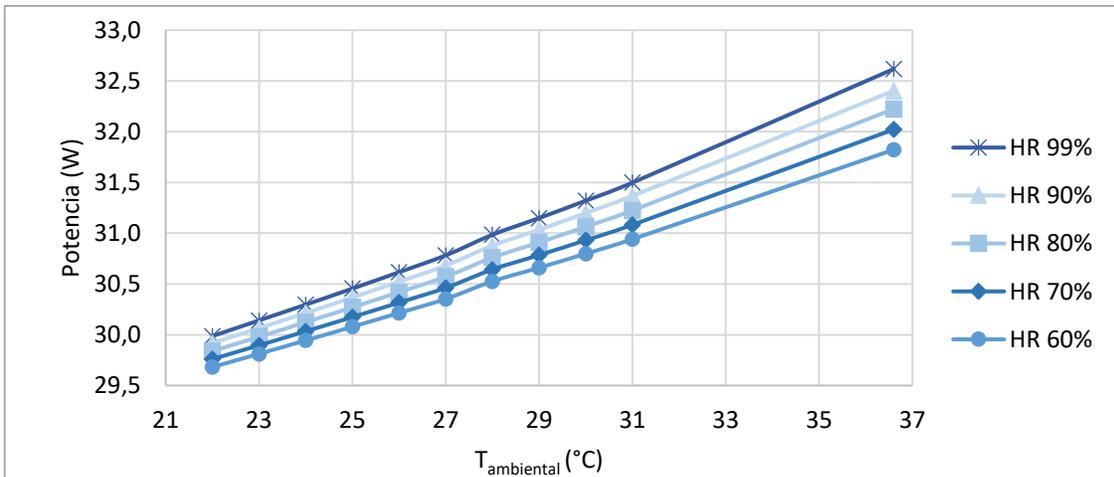
Anexo F 27. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Cartagena.



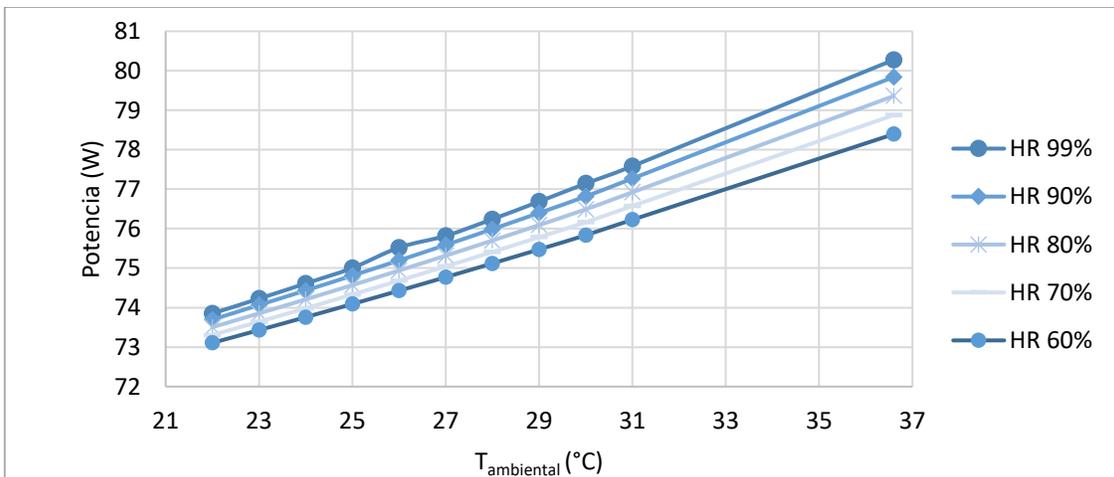
Anexo F 28. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Cartagena.



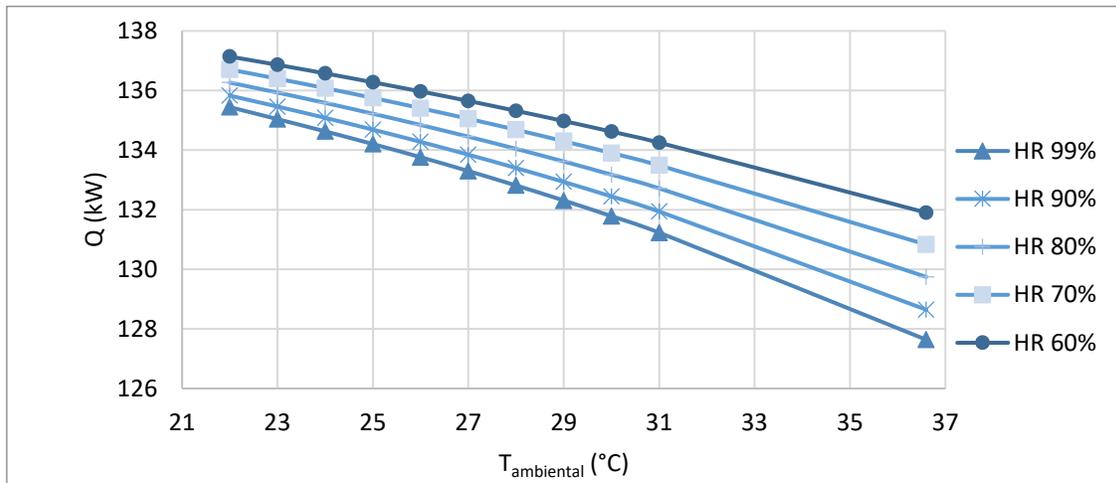
Anexo F 29. Potencia neta requerida del ventilador 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Cartagena.



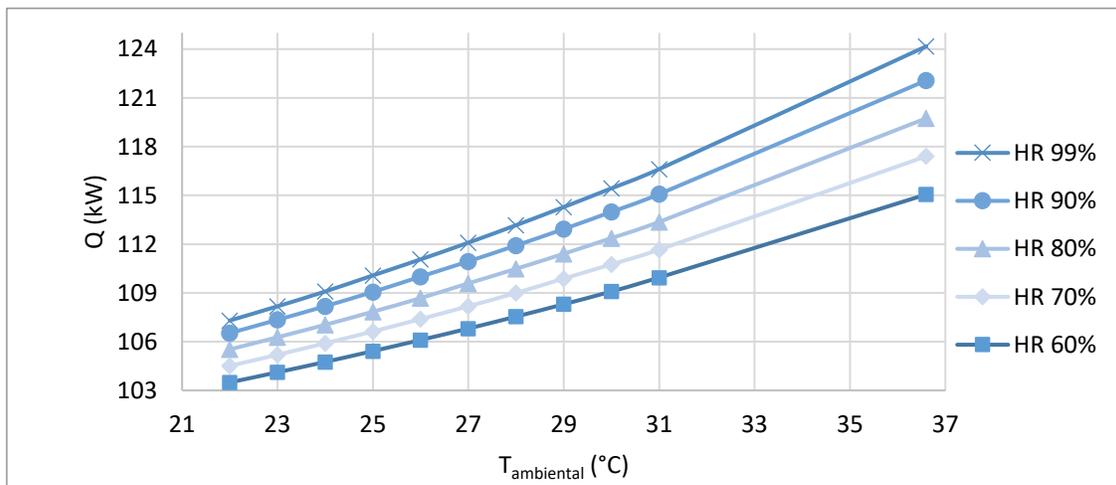
Anexo F 30. Potencia neta requerida del ventilador 2 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Cartagena.



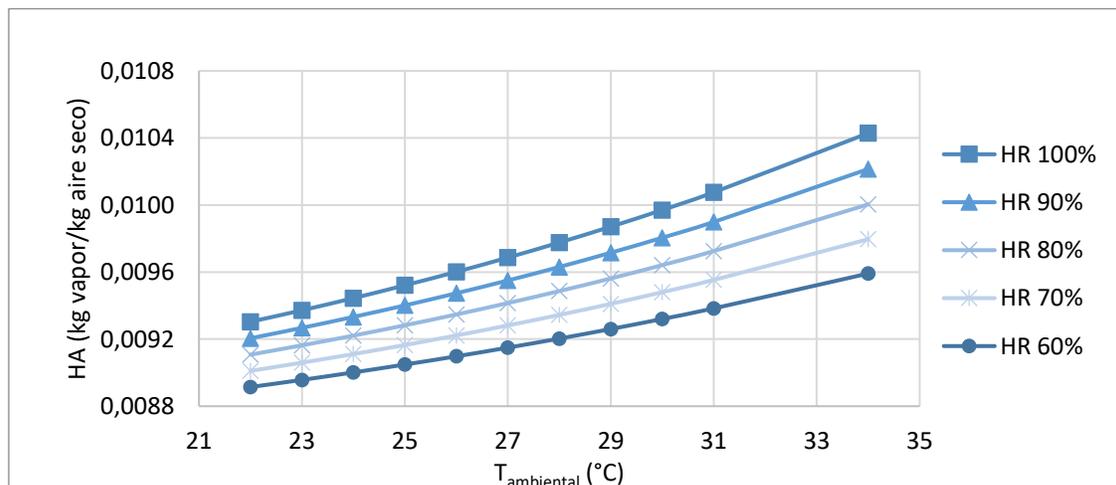
Anexo F 31. Carga térmica del colector en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Cartagena.



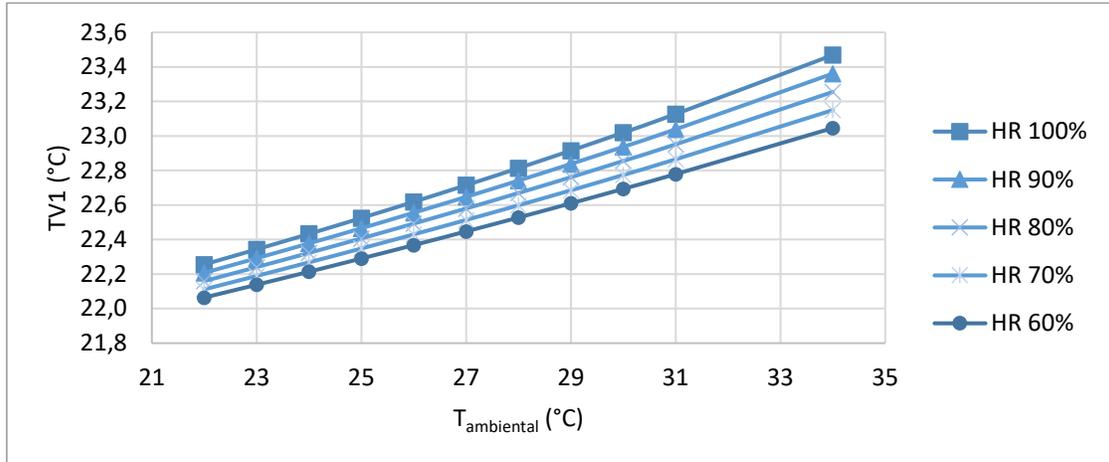
Anexo F 32. Carga térmica del enfriador en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Cartagena.



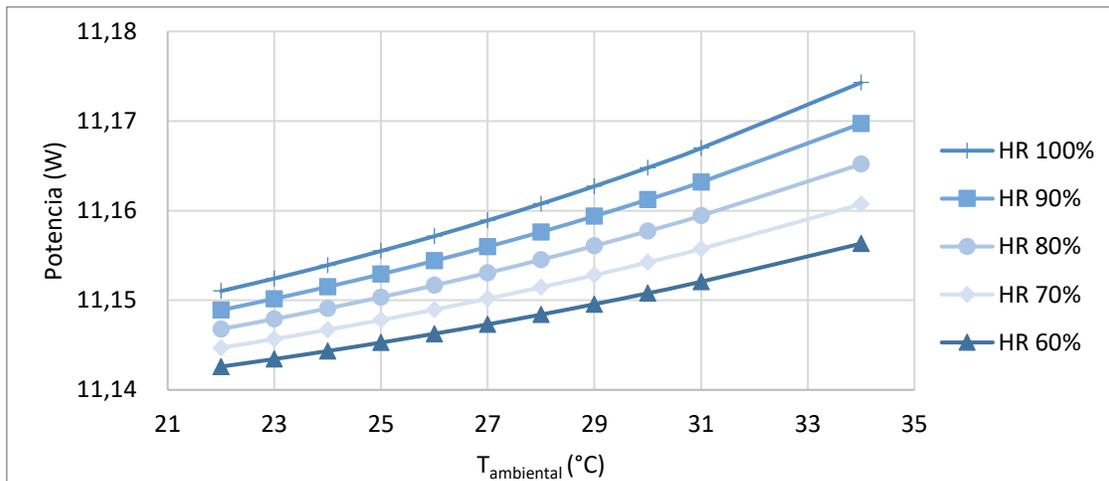
Anexo F 33. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Inírida.



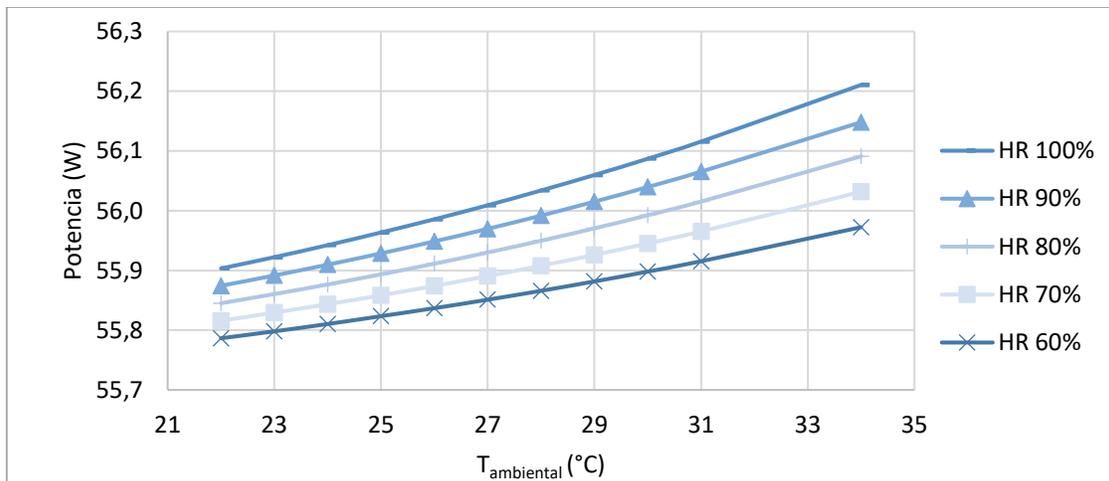
Anexo F 34. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Inírida.



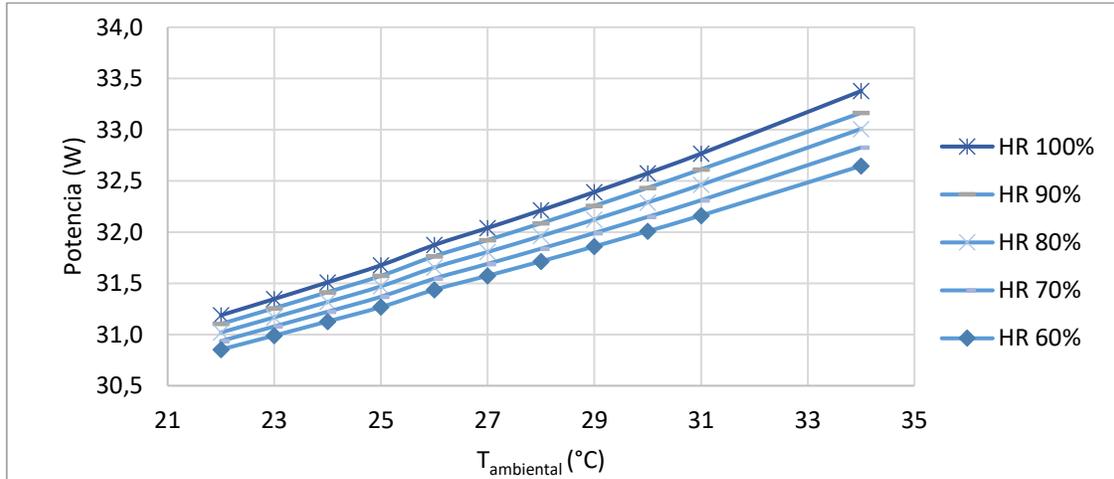
Anexo F 35. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Inírida.



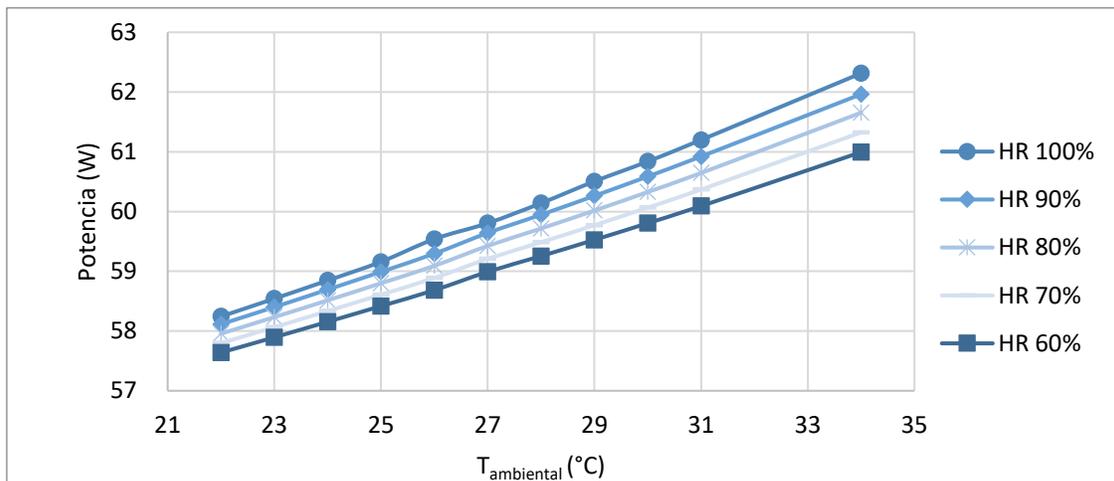
Anexo F 36. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Inírida.



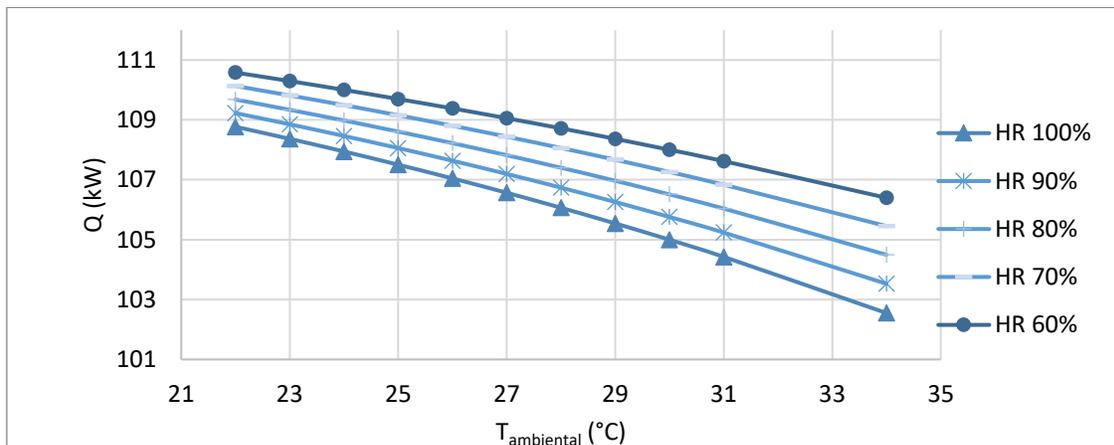
Anexo F 37. Potencia neta requerida del ventilador 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Inírida.



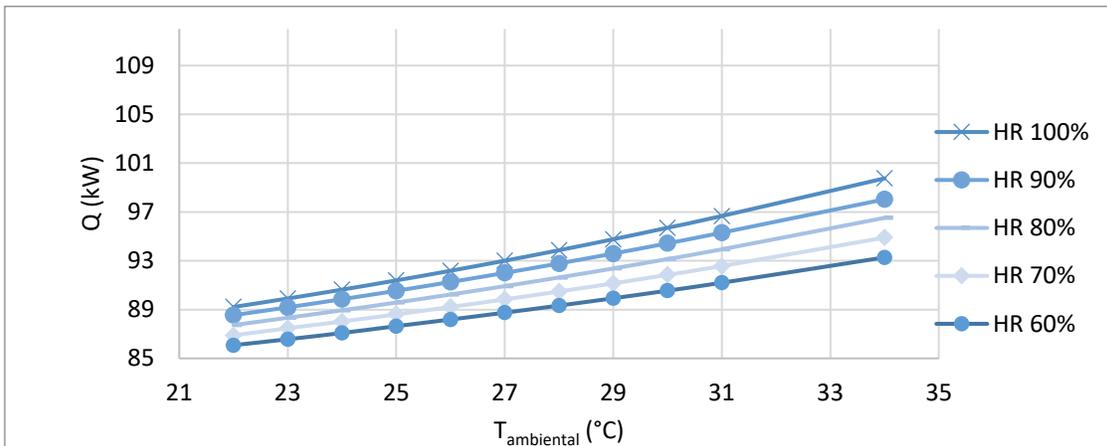
Anexo F 38. Potencia neta requerida del ventilador 2 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Inírida.



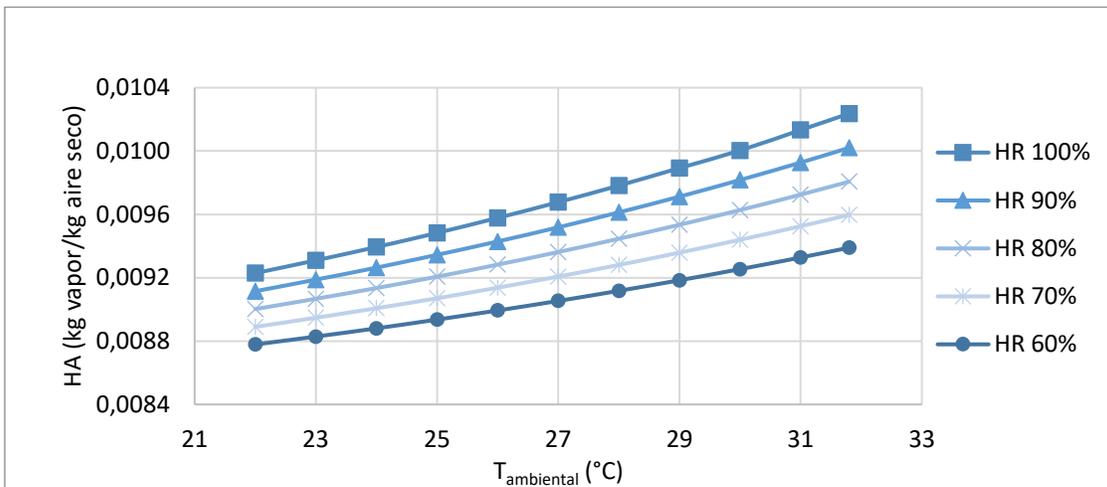
Anexo F 39. Carga térmica del colector en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Inírida.



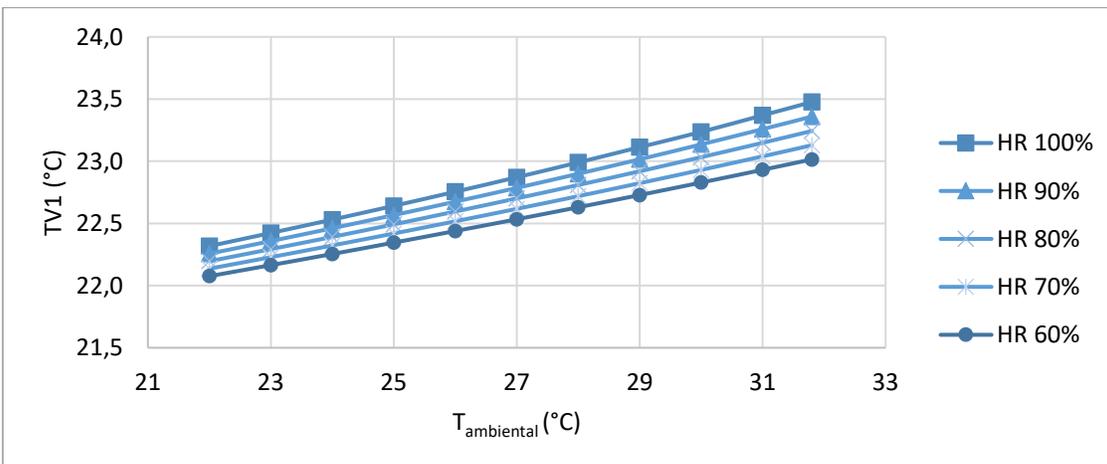
Anexo F 40. Carga térmica del enfriador en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en Inírida.



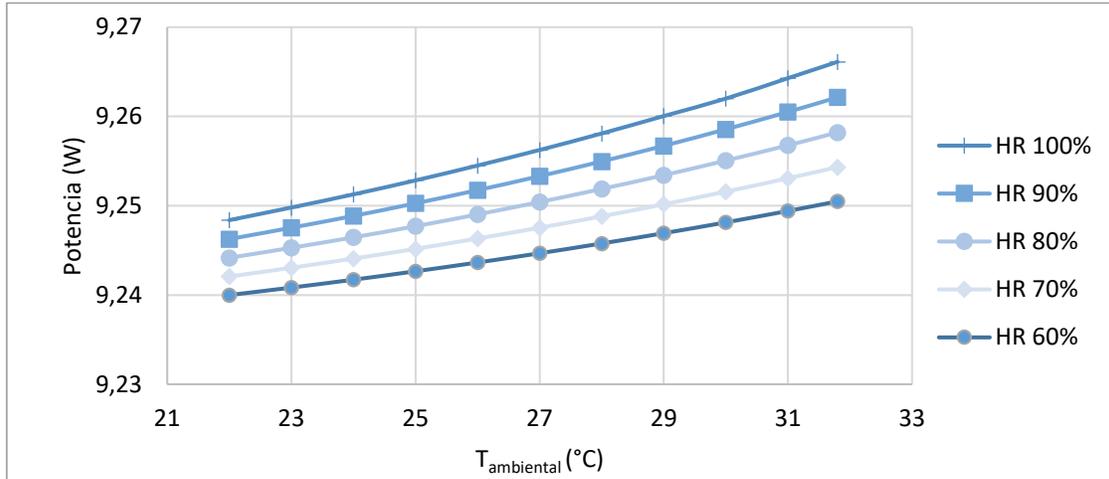
Anexo F 41. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en San Andrés.



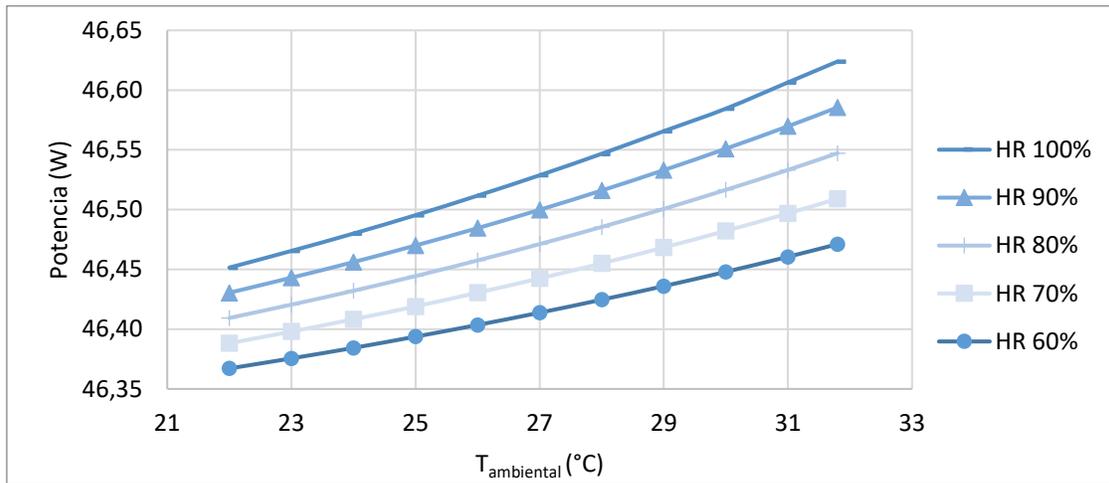
Anexo F 42. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en San Andrés.



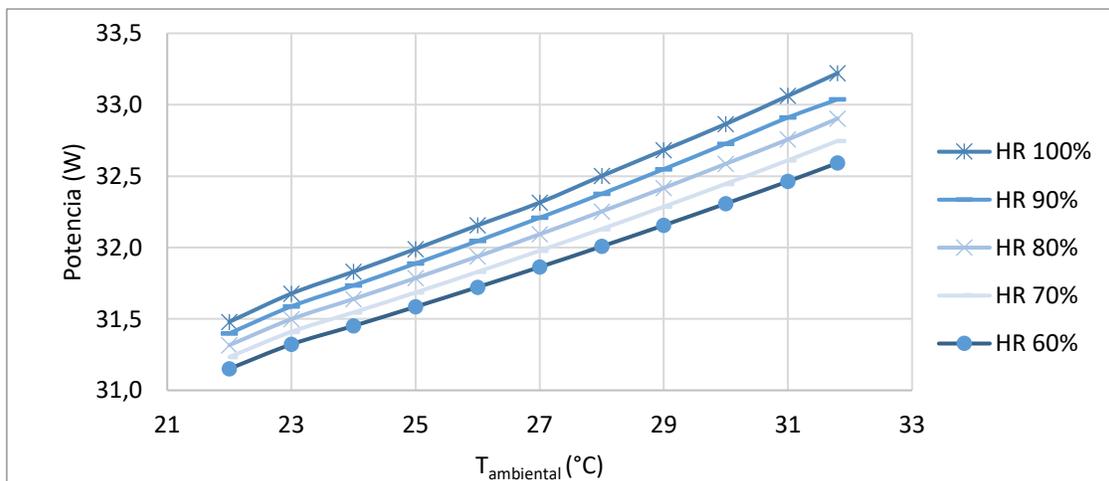
Anexo F 43. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en San Andrés.



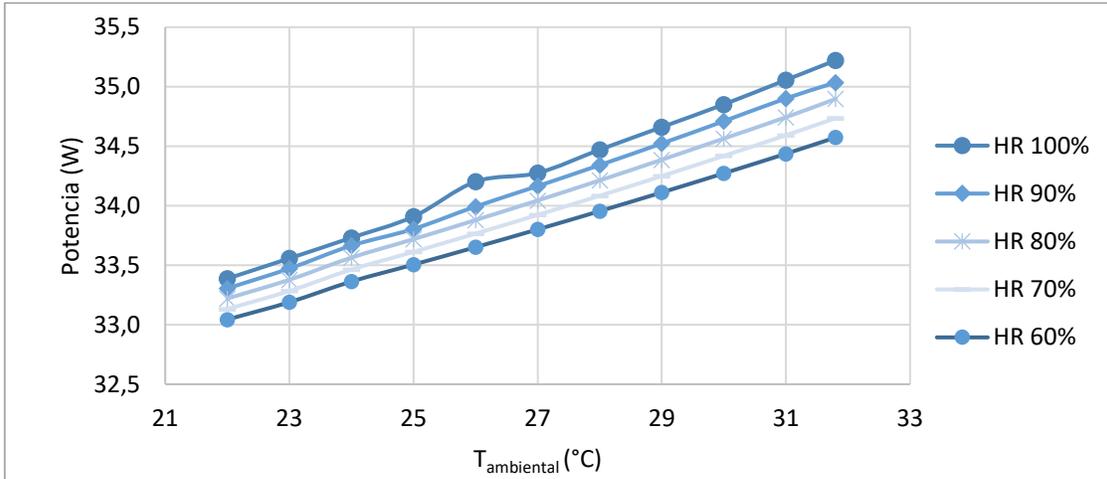
Anexo F 44. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en San Andrés.



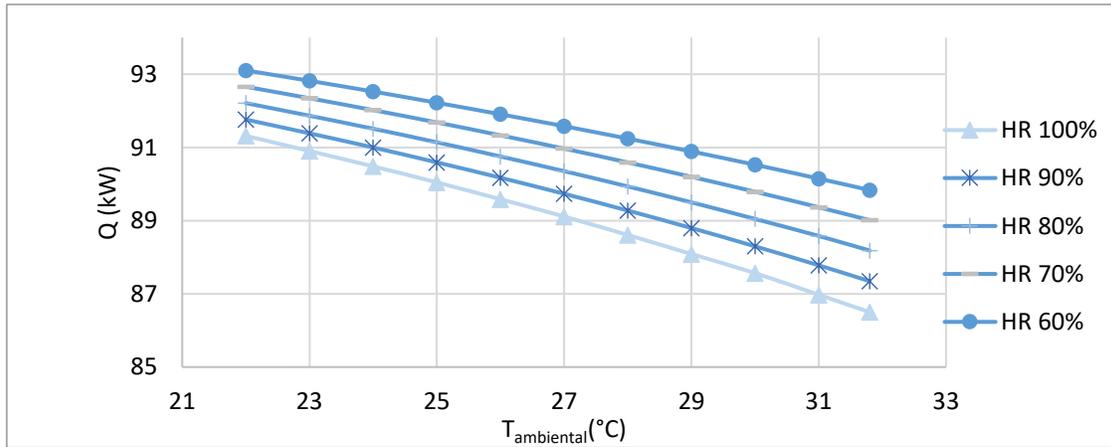
Anexo F 45. Potencia neta requerida del ventilador 1 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en San Andrés.



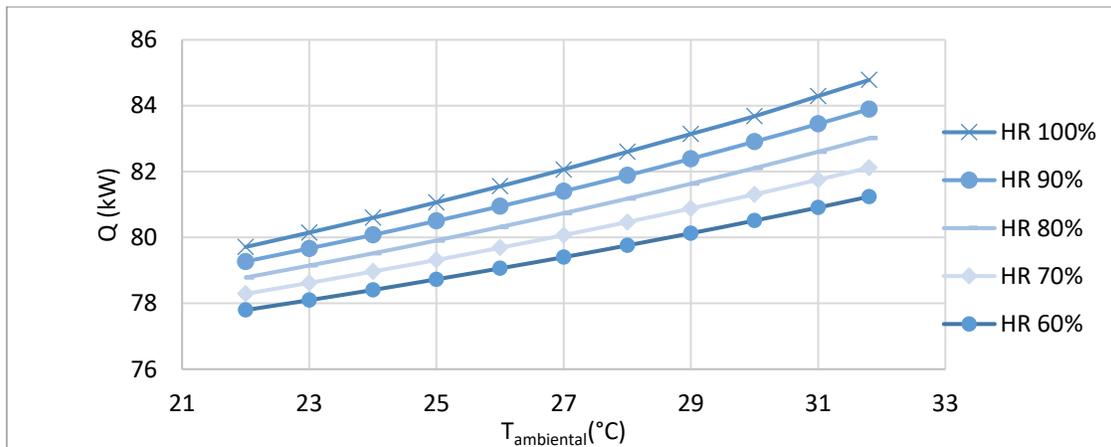
Anexo F 46. Potencia neta requerida del ventilador 2 en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en San Andrés.



Anexo F 47. Carga térmica del colector en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en San Andrés.

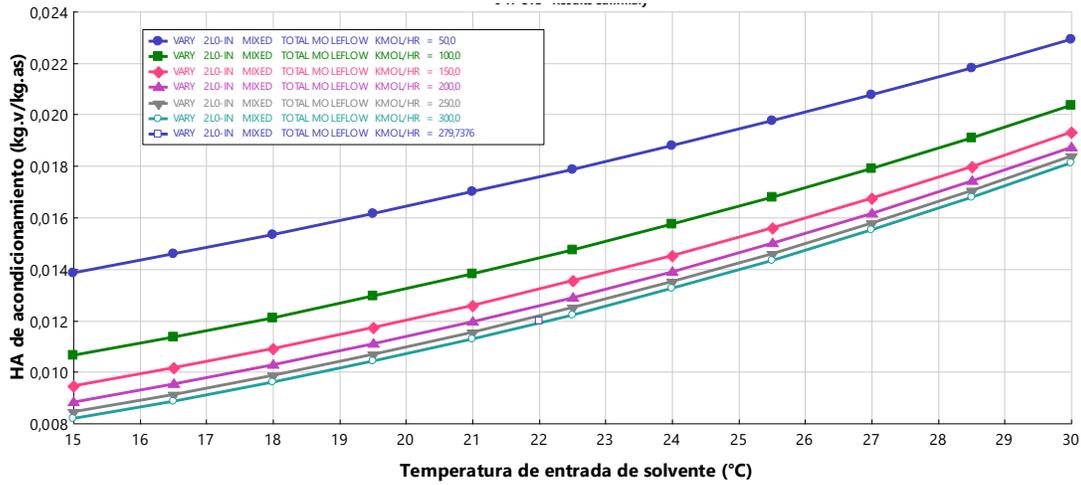


Anexo F 48. Carga térmica del enfriador en función de la temperatura y humedad relativa ambiental, en San Andrés.

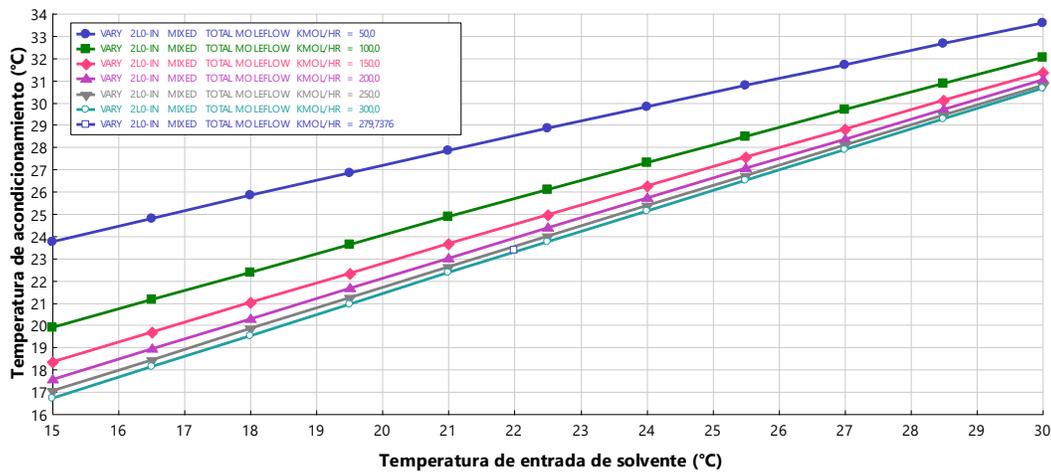


Análisis de sensibilidad de la temperatura de solvente y flujo de solvente.

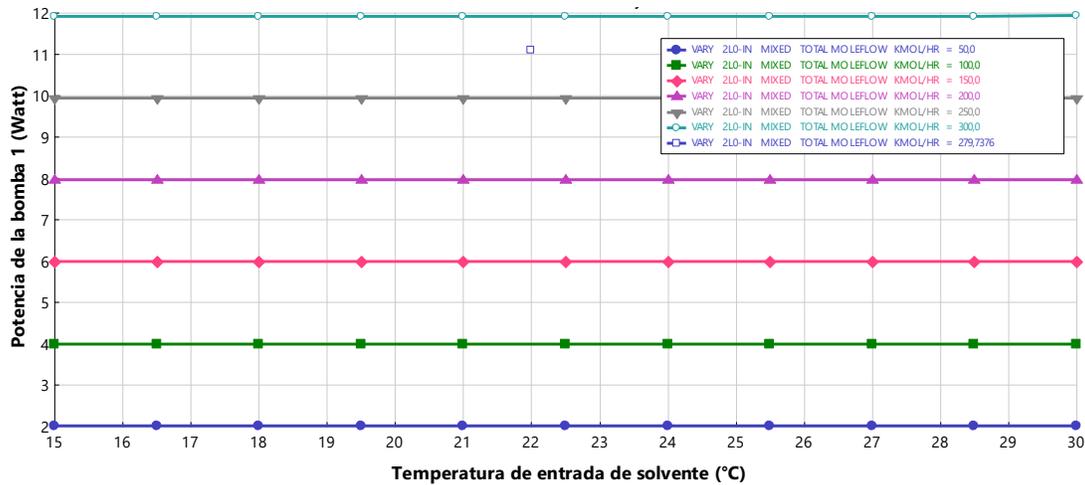
Anexo F 49. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo de solvente, en Medellín.



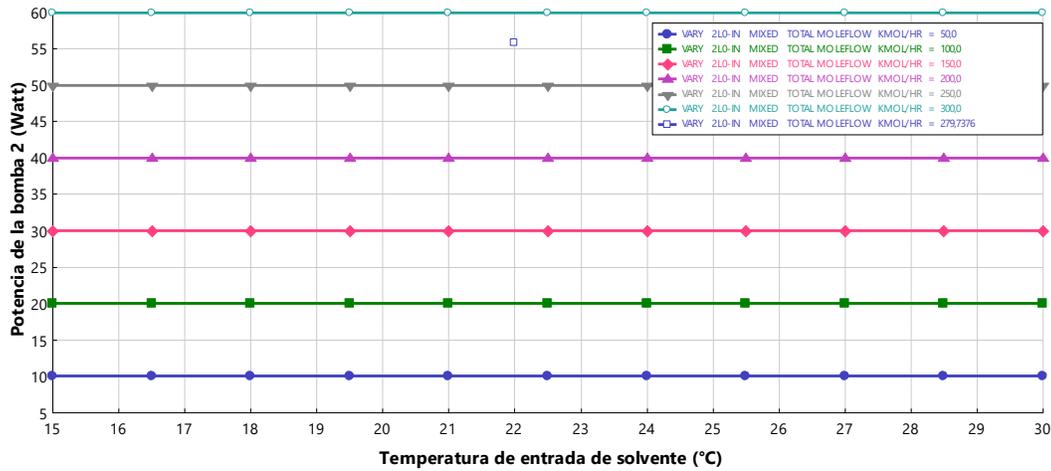
Anexo F 50. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo del solvente, en Medellín.



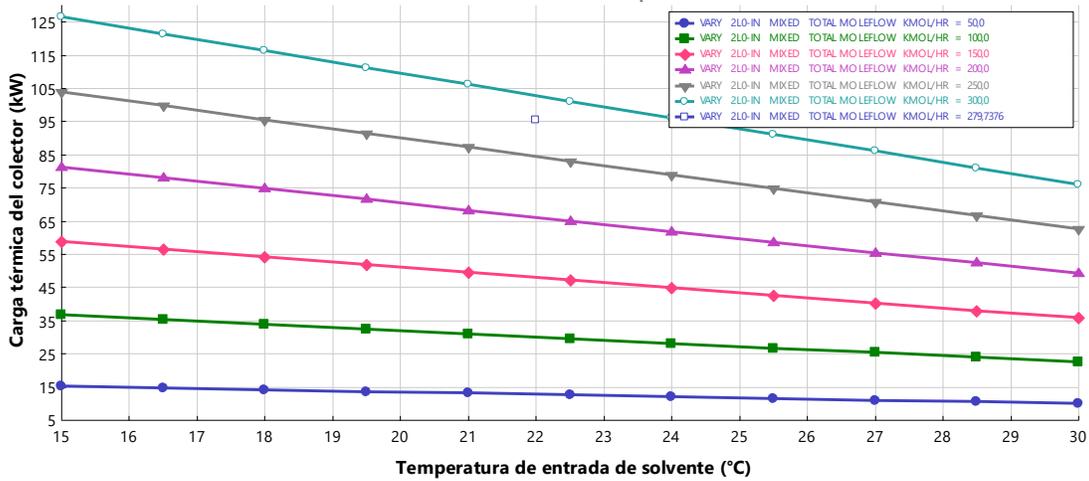
Anexo F 51. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y flujo de solvente, en Medellín.



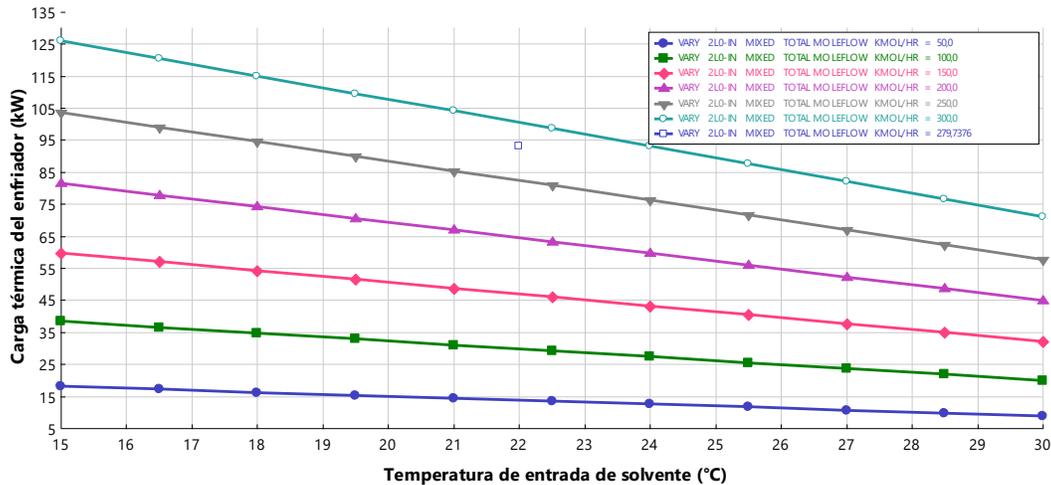
Anexo F 52. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la temperatura y flujo de solvente, en Medellín.



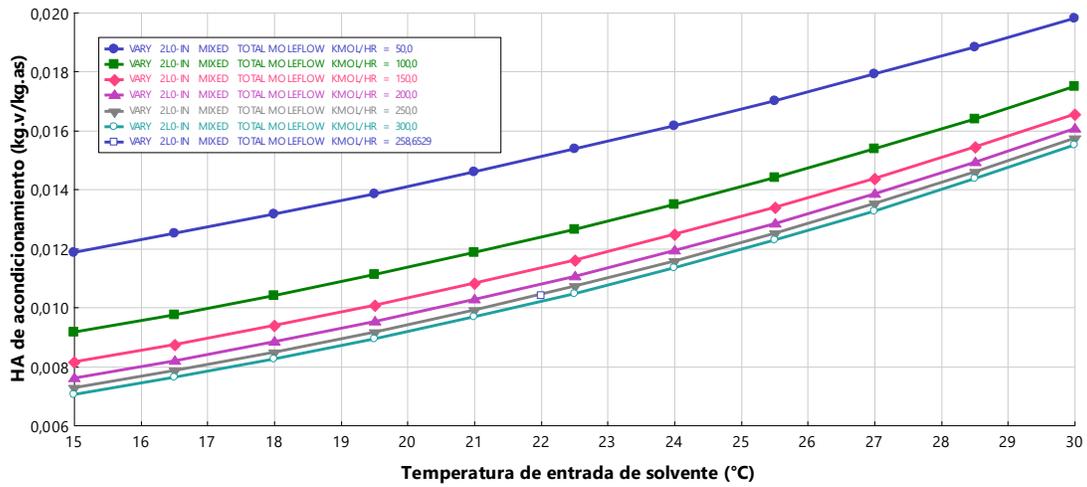
Anexo F 53. Carga térmica del colector en función de la temperatura y flujo de solvente, en Medellín.



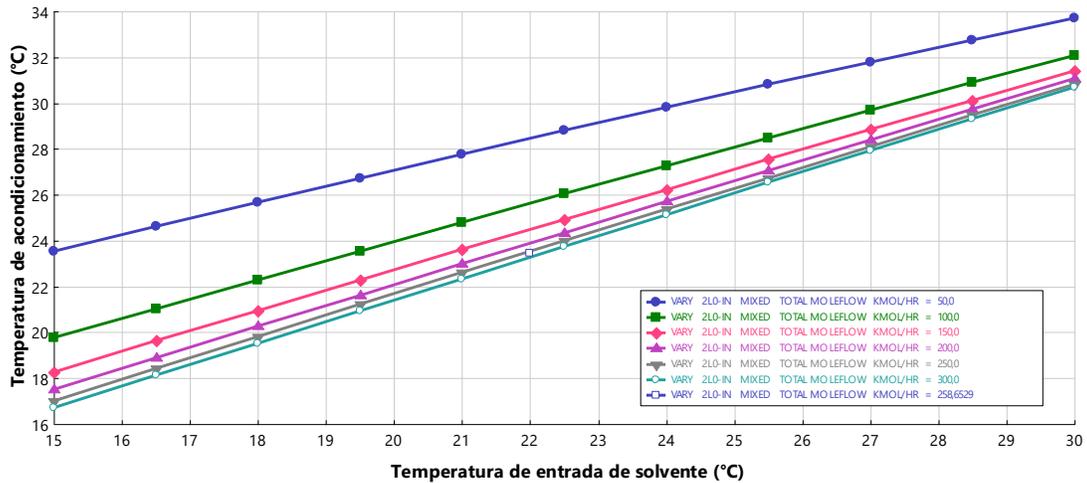
Anexo F 54. Carga térmica del enfriador en función de la temperatura y flujo de solvente, en Medellín.



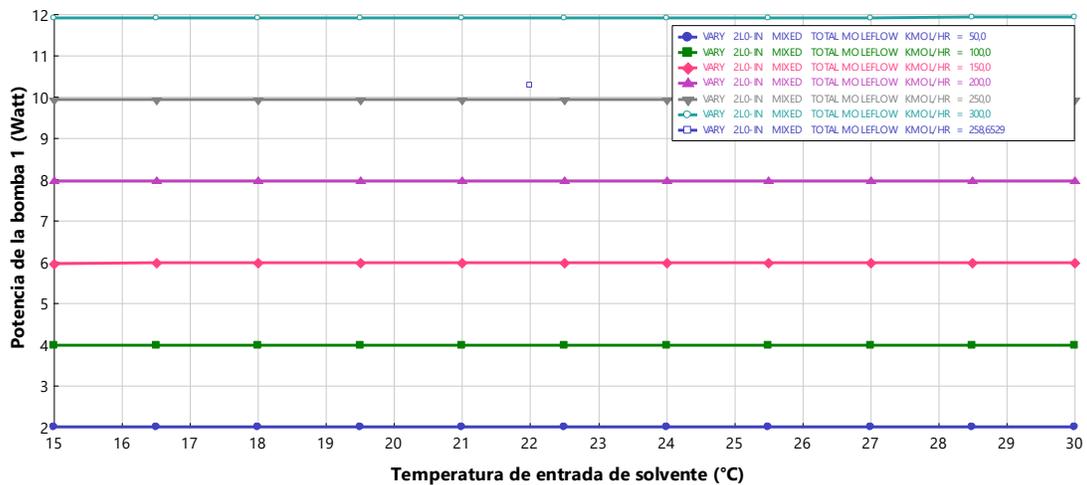
Anexo F 55. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo de solvente, en Arauca.



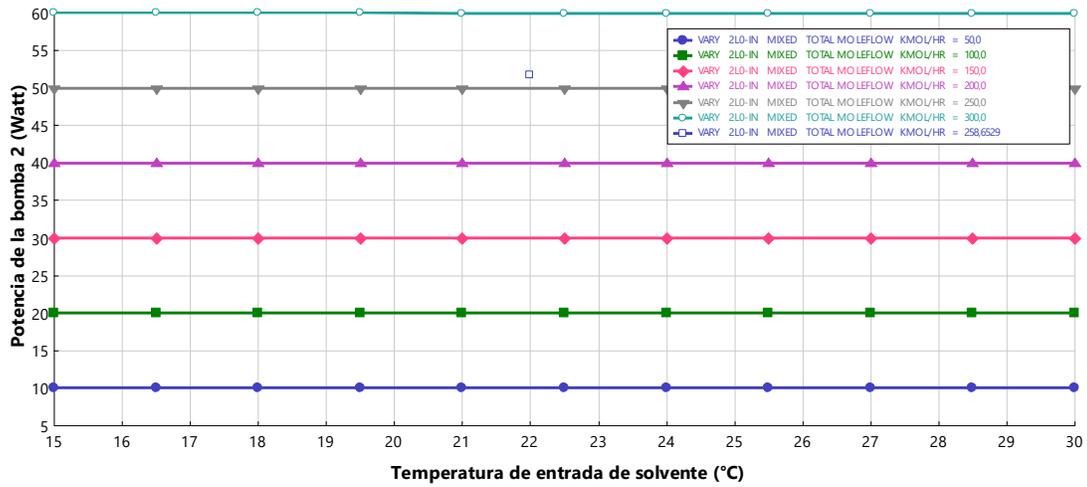
Anexo F 56. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo del solvente, en Arauca.



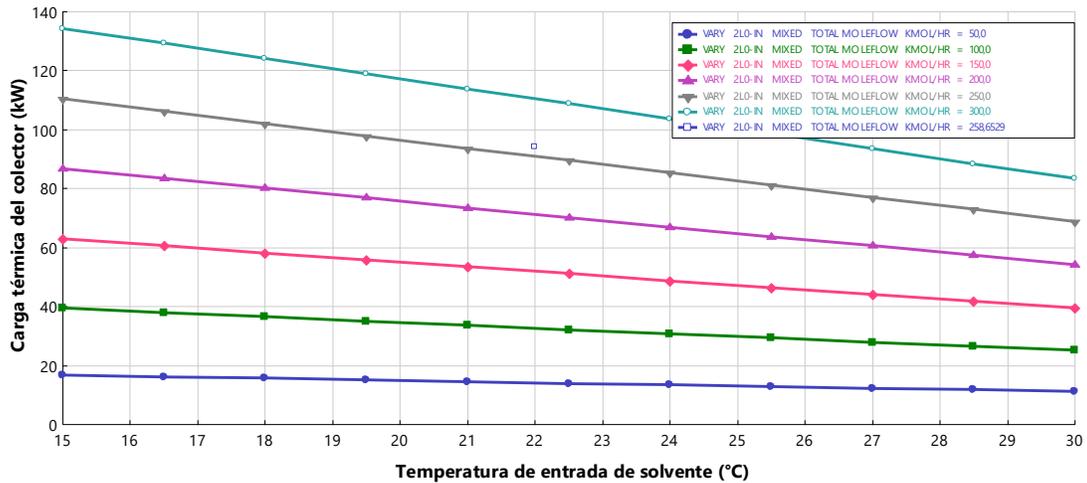
Anexo F 57. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y flujo de solvente, en Arauca.



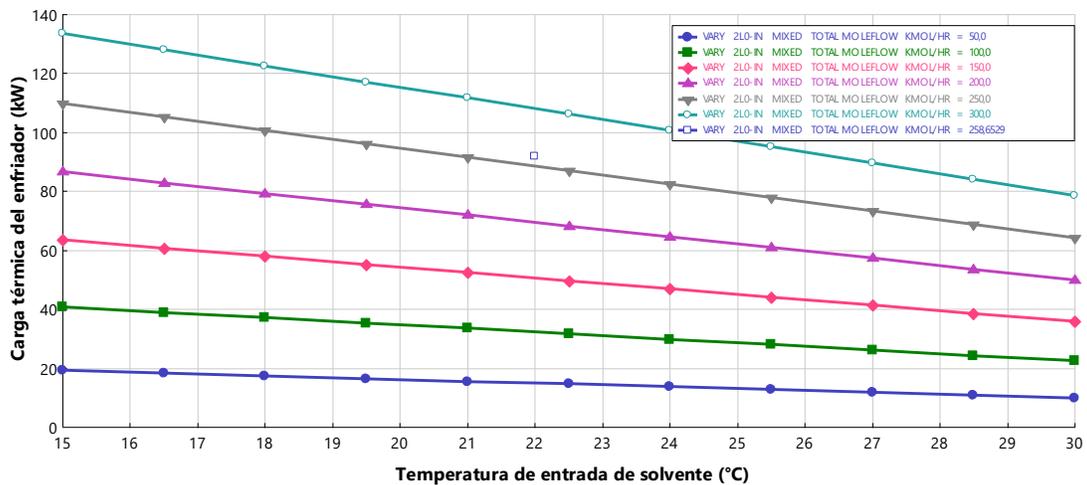
Anexo F 58. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la temperatura y flujo de solvente, en Arauca.



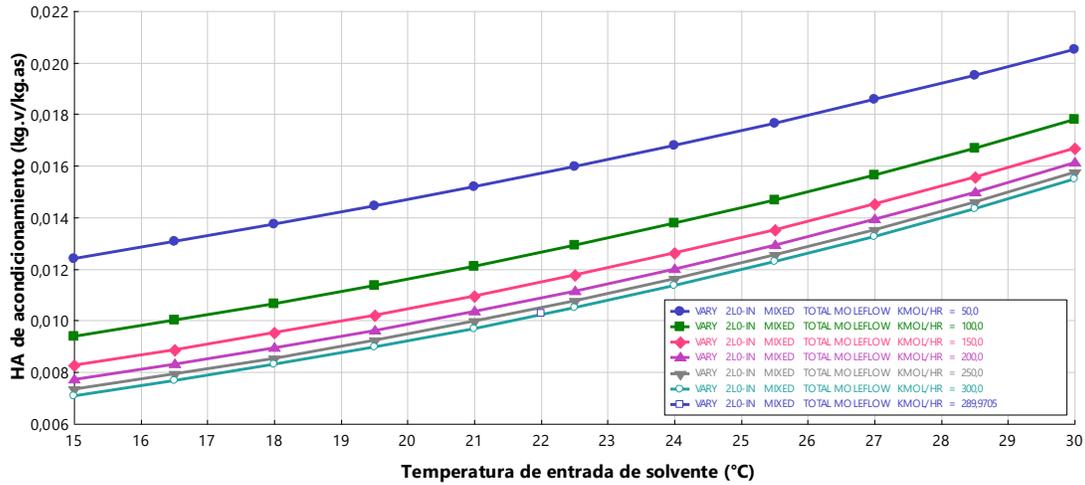
Anexo F 59. Carga térmica del colector en función de la temperatura y flujo de solvente, en Arauca.



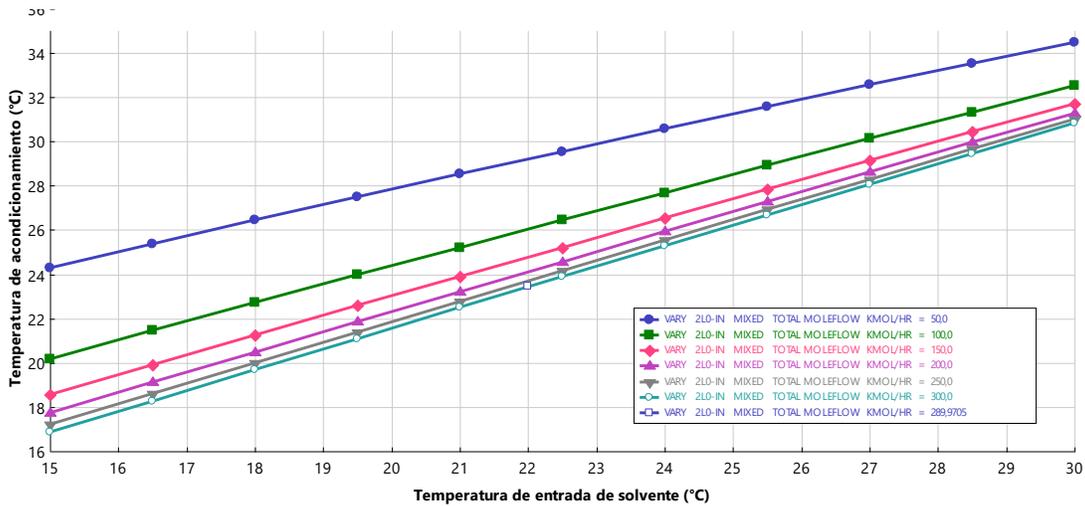
Anexo F 60. Carga térmica del enfriador en función de la temperatura y flujo de solvente, en Arauca.



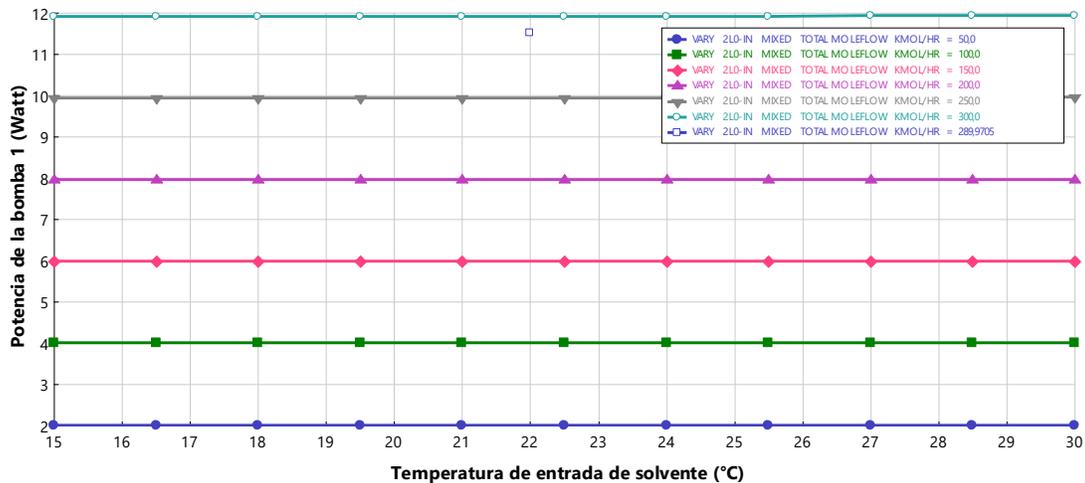
Anexo F 61. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo de solvente, en Buenaventura.



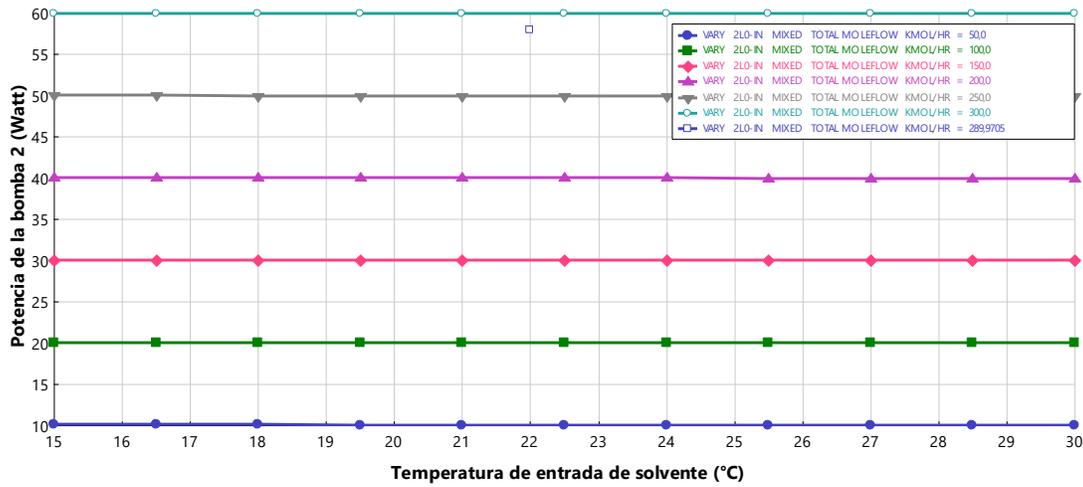
Anexo F 62. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo del solvente, en Buenaventura.



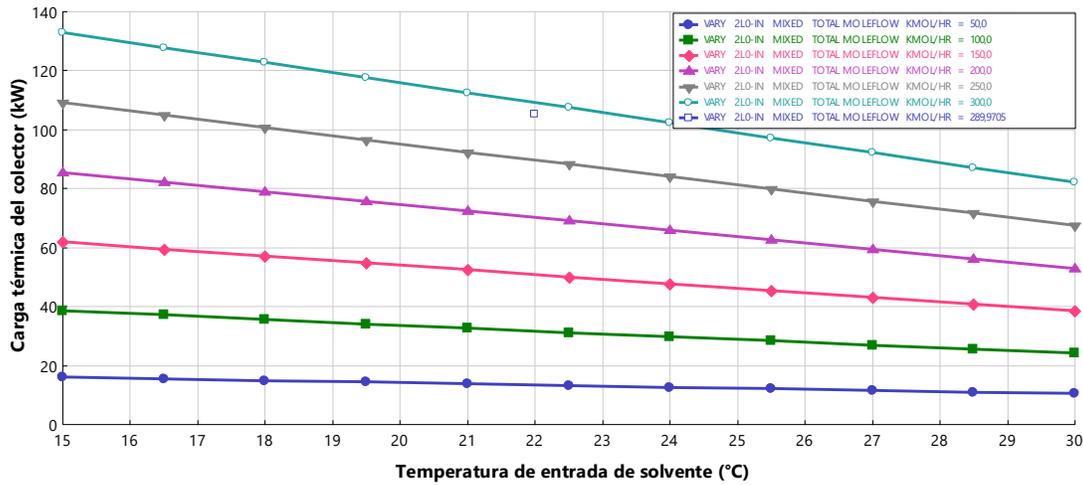
Anexo F 63. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y flujo de solvente, Buenaventura.



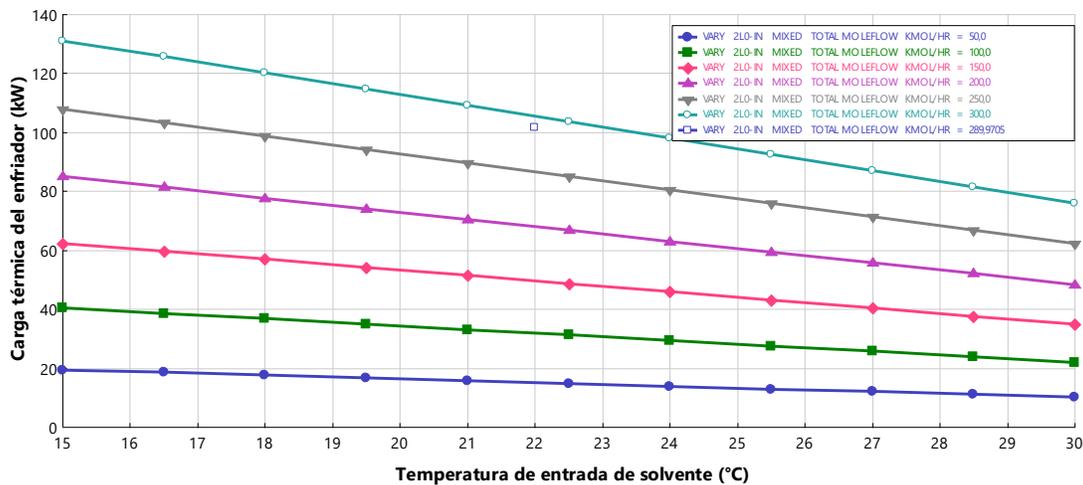
Anexo F 64. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la temperatura y flujo de solvente, Buenaventura.



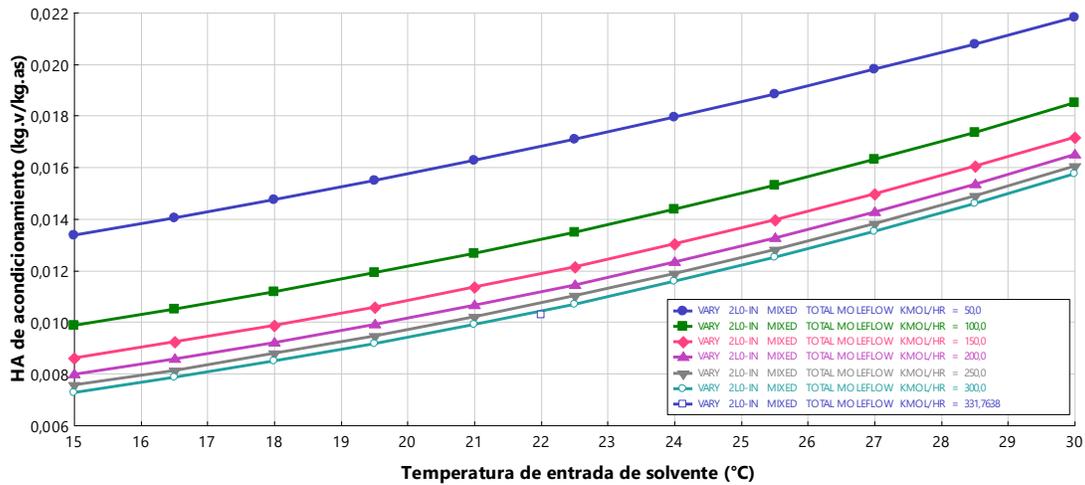
Anexo F 65. Carga térmica del colector en función de la temperatura y flujo de solvente, en Buenaventura.



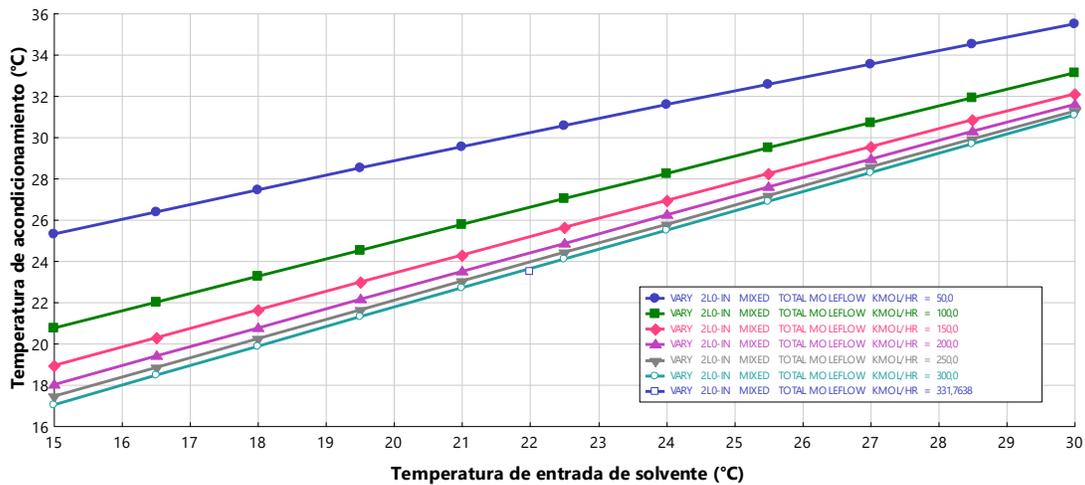
Anexo F 66. Carga térmica del enfriador en función de la temperatura y flujo de solvente, en Buenaventura.



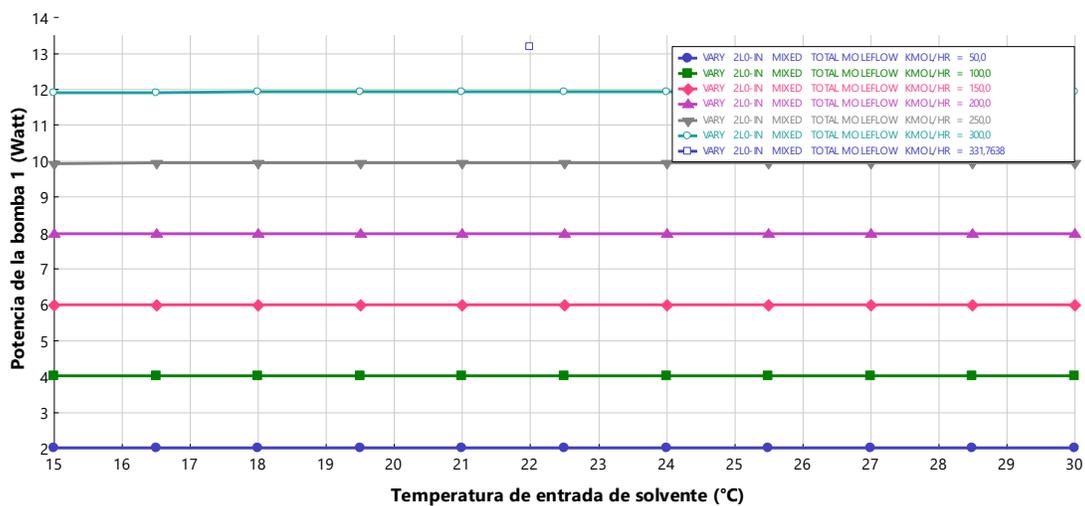
Anexo F 67. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo de solvente, Cartagena.



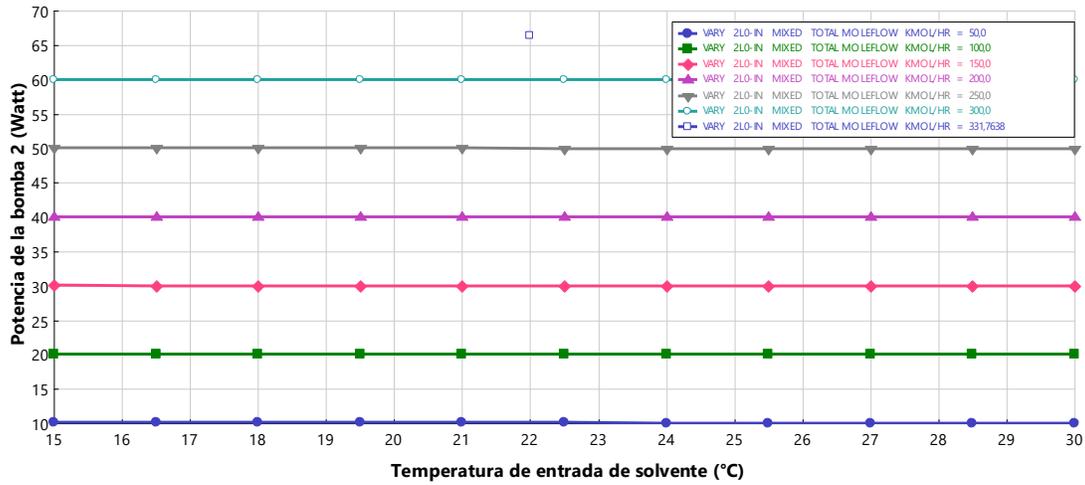
Anexo F 68. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo del solvente, en Cartagena.



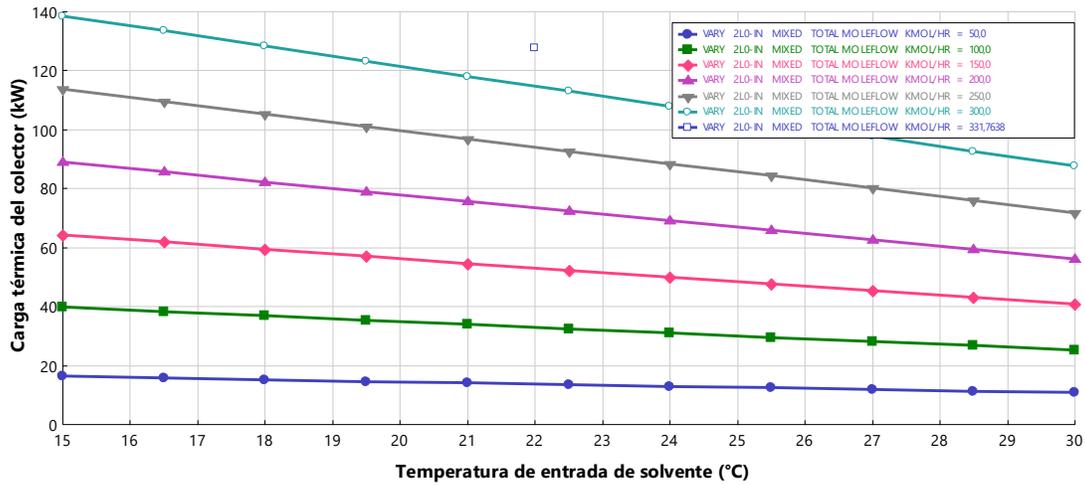
Anexo F 69. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y flujo de solvente, en Cartagena.



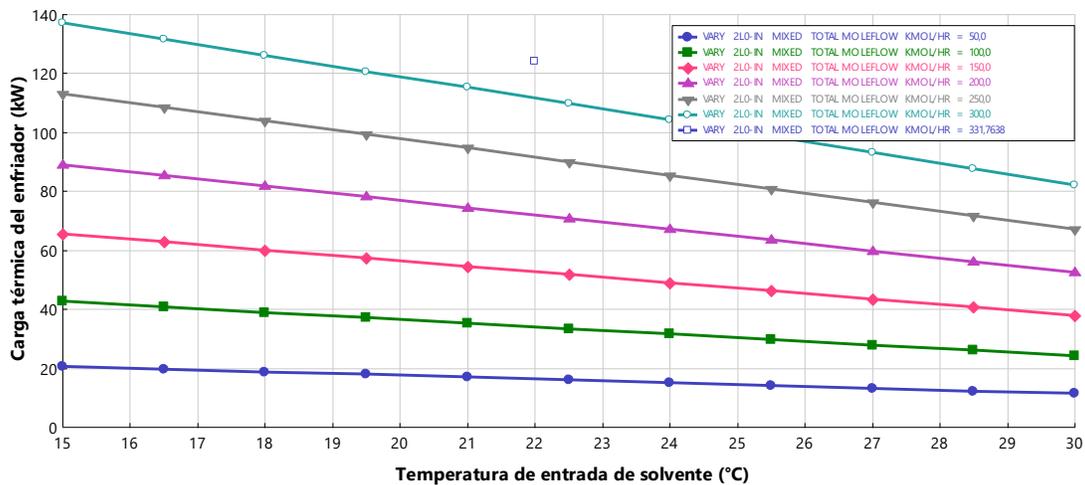
Anexo F 70. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la temperatura y flujo de solvente, en Cartagena.



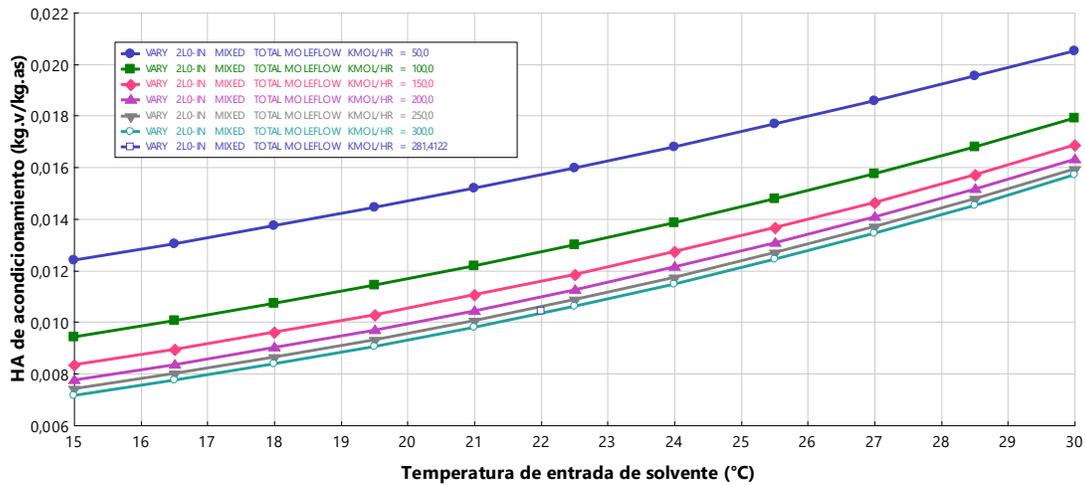
Anexo F 71. Carga térmica del colector en función de la temperatura y flujo de solvente, en Cartagena.



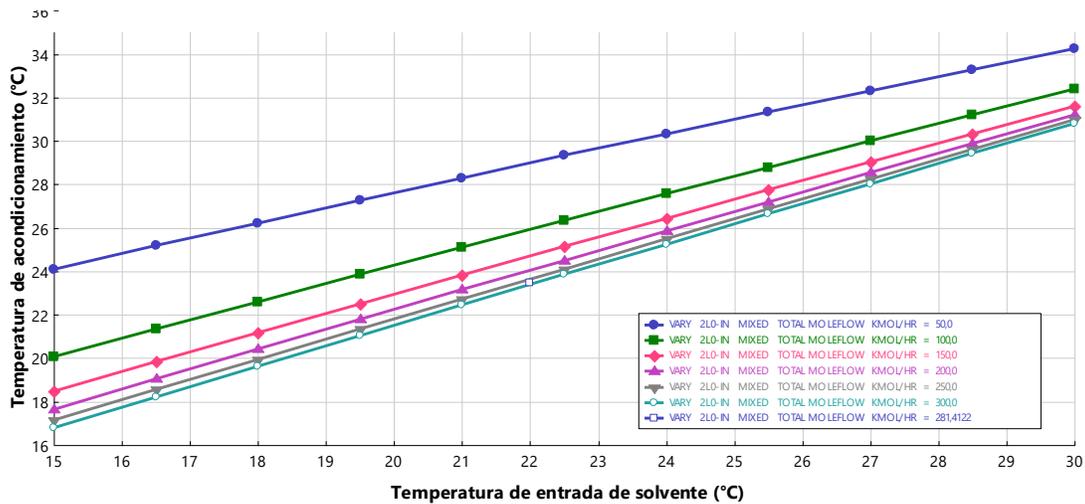
Anexo F 72. Carga térmica del enfriador en función de la temperatura y flujo de solvente, en Cartagena.



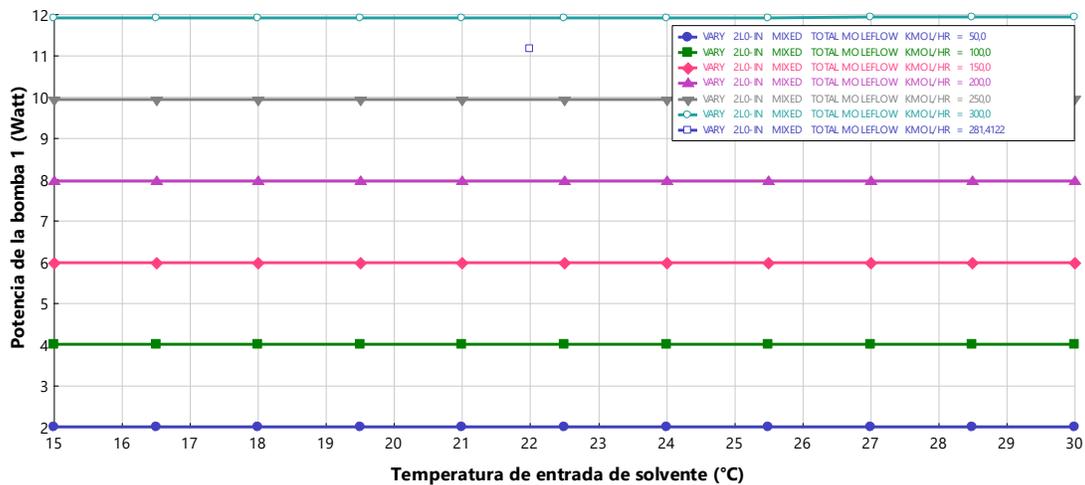
Anexo F 73. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo de solvente, en Inírida.



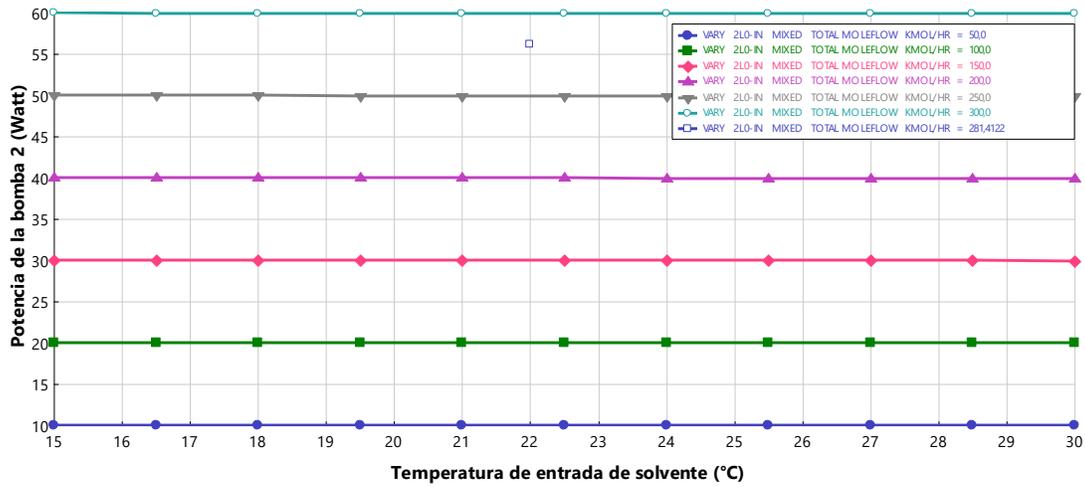
Anexo F 74. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo del solvente, en Inírida.



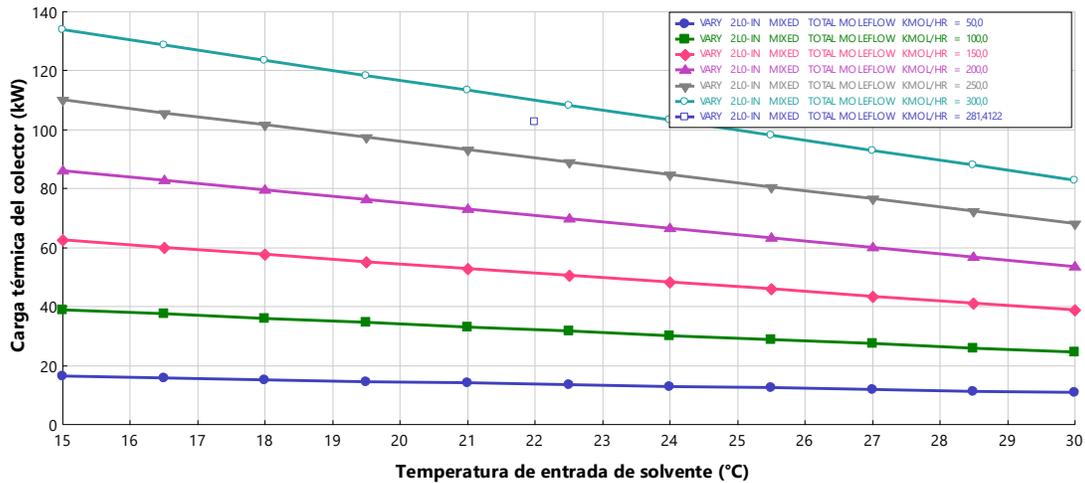
Anexo F 75. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y flujo de solvente, en Inírida.



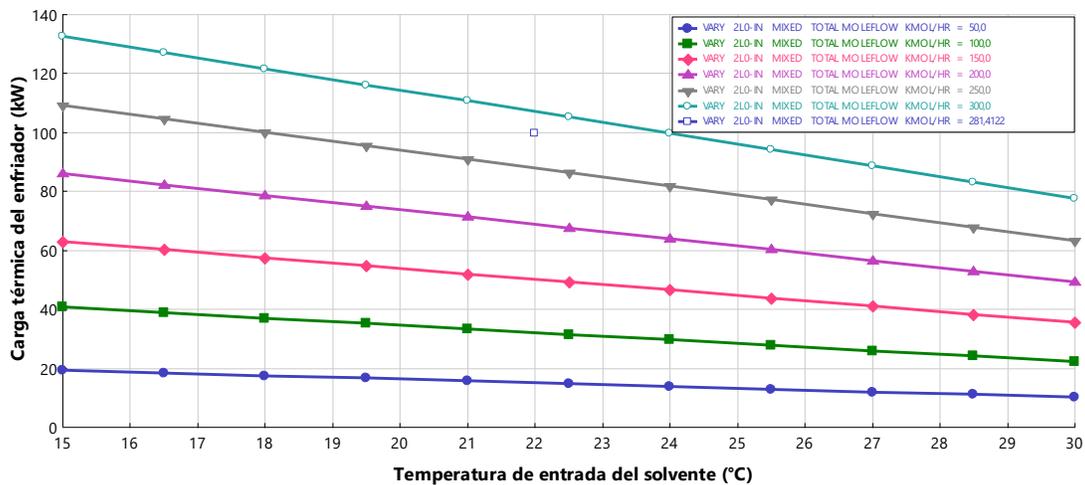
Anexo F 76. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la temperatura y flujo de solvente, en Inírida.



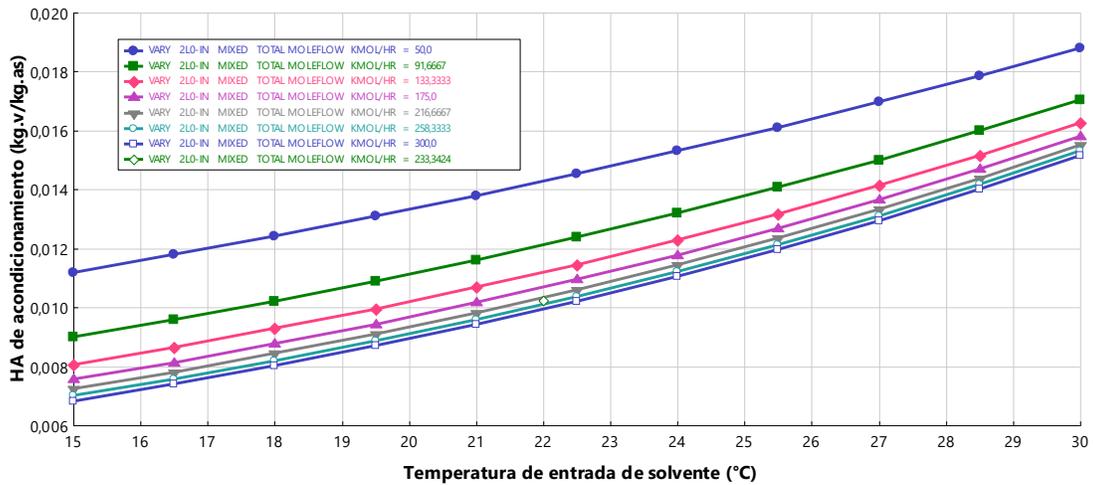
Anexo F 77. Carga térmica del colector en función de la temperatura y flujo de solvente, en Inírida.



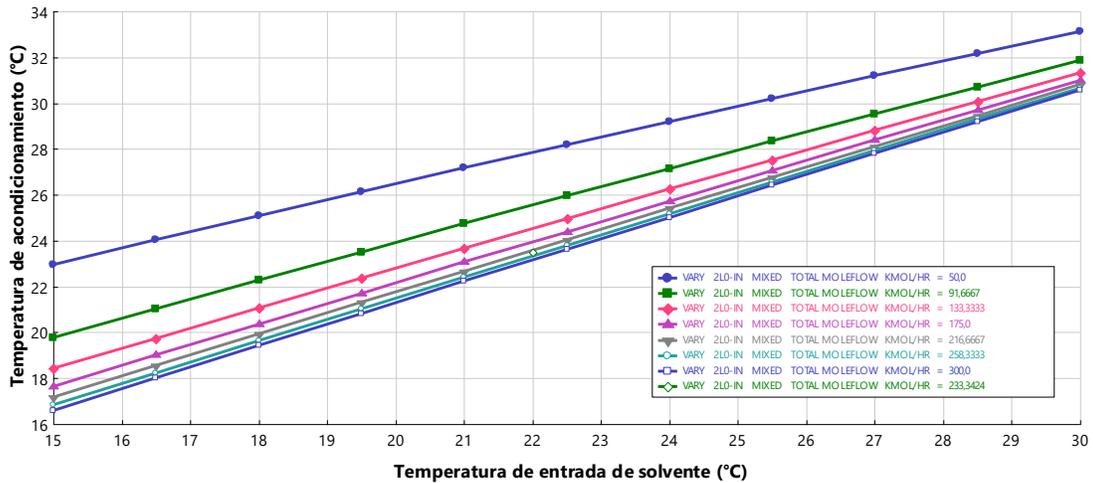
Anexo F 78. Carga térmica del enfriador en función de la temperatura y flujo de solvente, en Inírida.



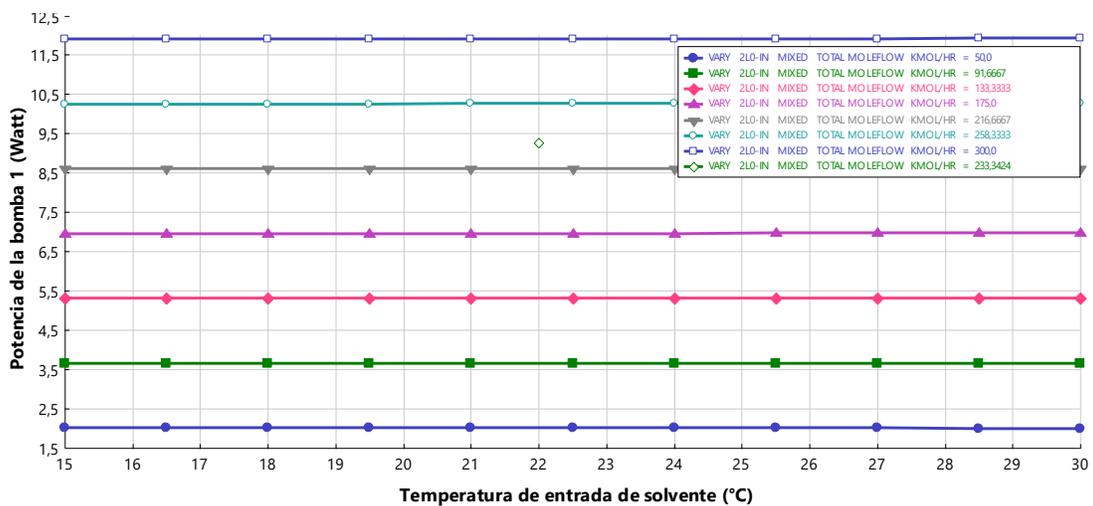
Anexo F 79. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo de solvente, San Andrés.



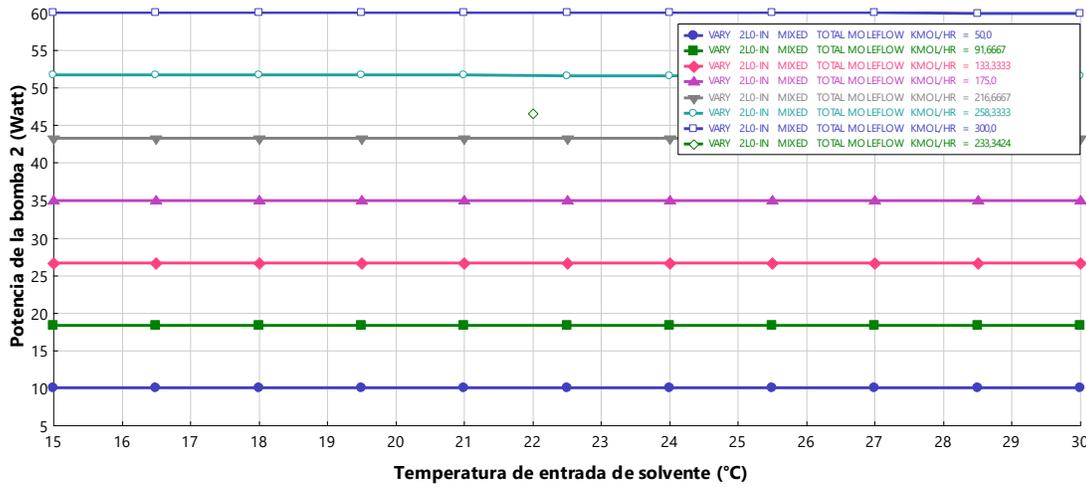
Anexo F 80. Temperatura de acondicionamiento en función de la temperatura y flujo del solvente, en San Andrés.



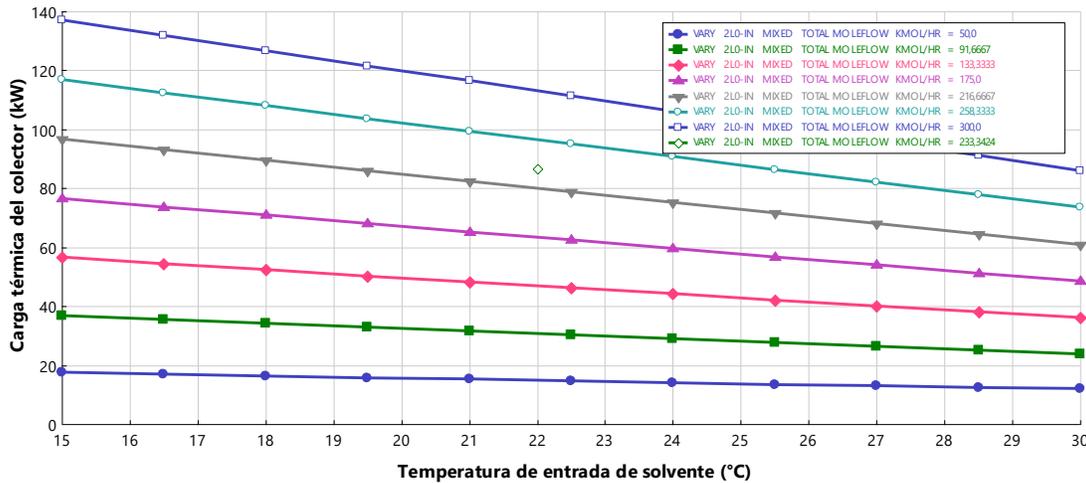
Anexo F 81. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la temperatura y flujo de solvente, en San Andrés.



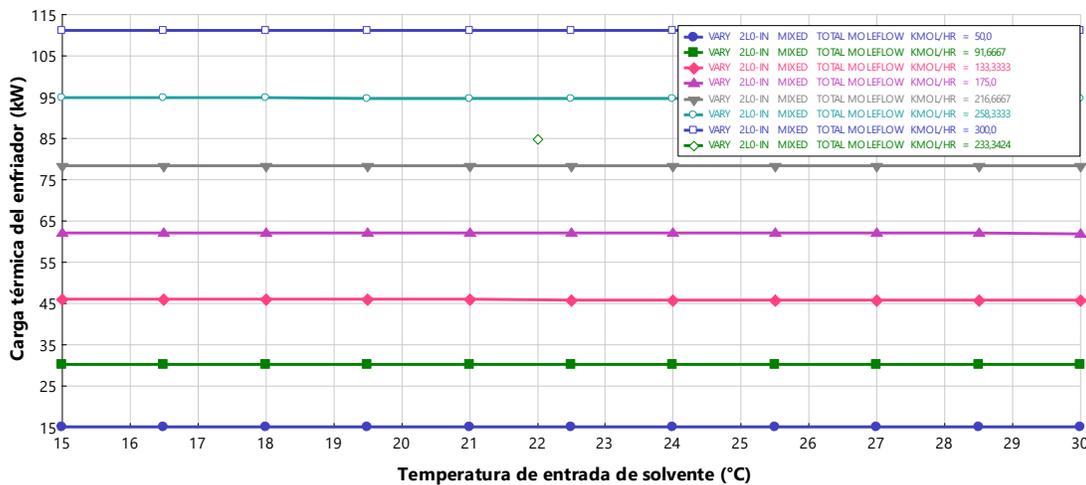
Anexo F 82. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la temperatura y flujo de solvente, en San Andrés.



Anexo F 83. Carga térmica del colector en función de la temperatura y flujo de solvente, en San Andrés.

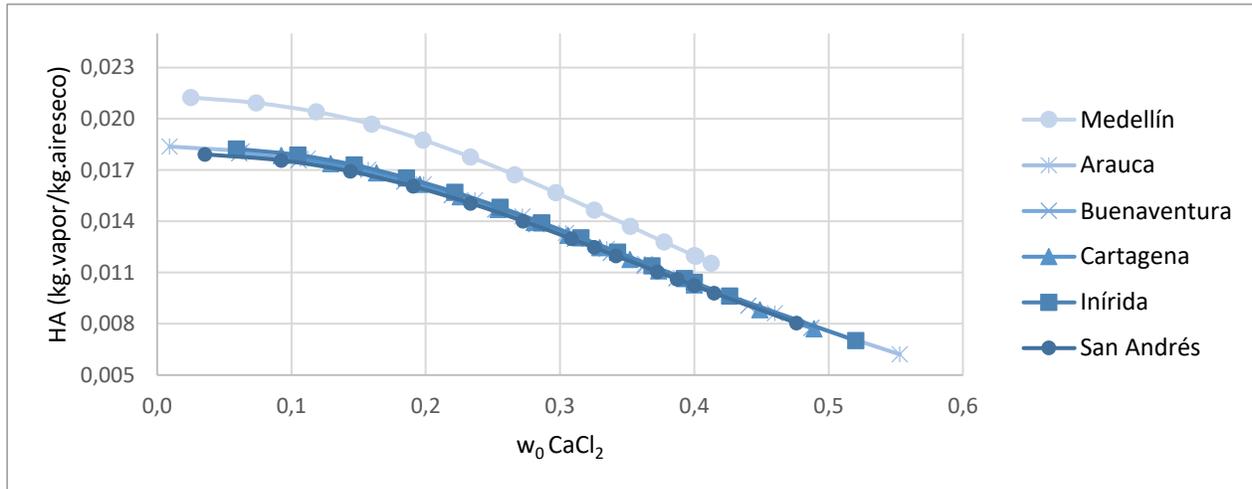


Anexo F 84. Carga térmica del enfriador en función de la temperatura y flujo de solvente, en San Andrés.

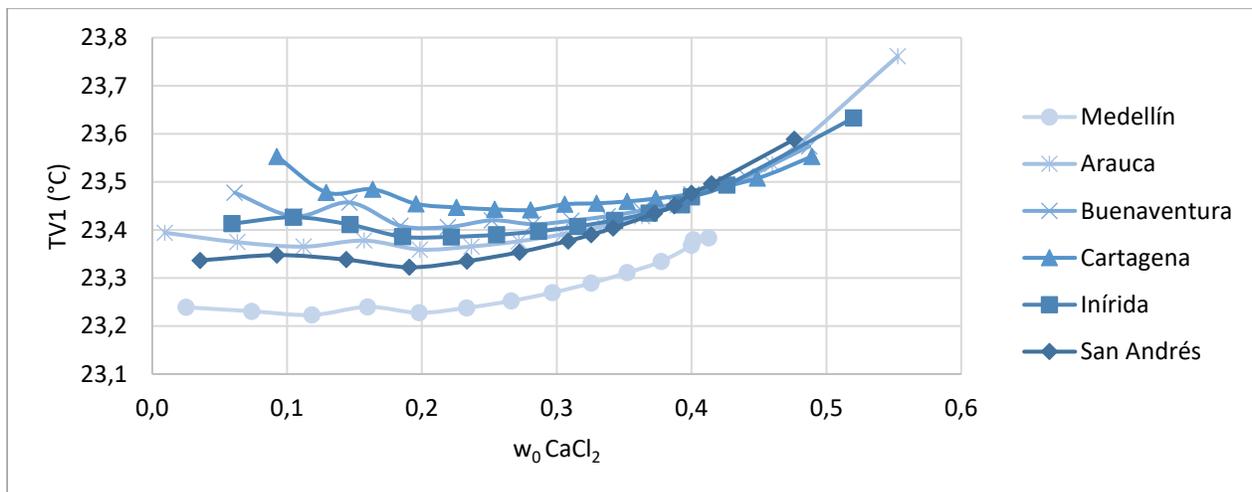


Análisis de sensibilidad de la fracción másica del solvente

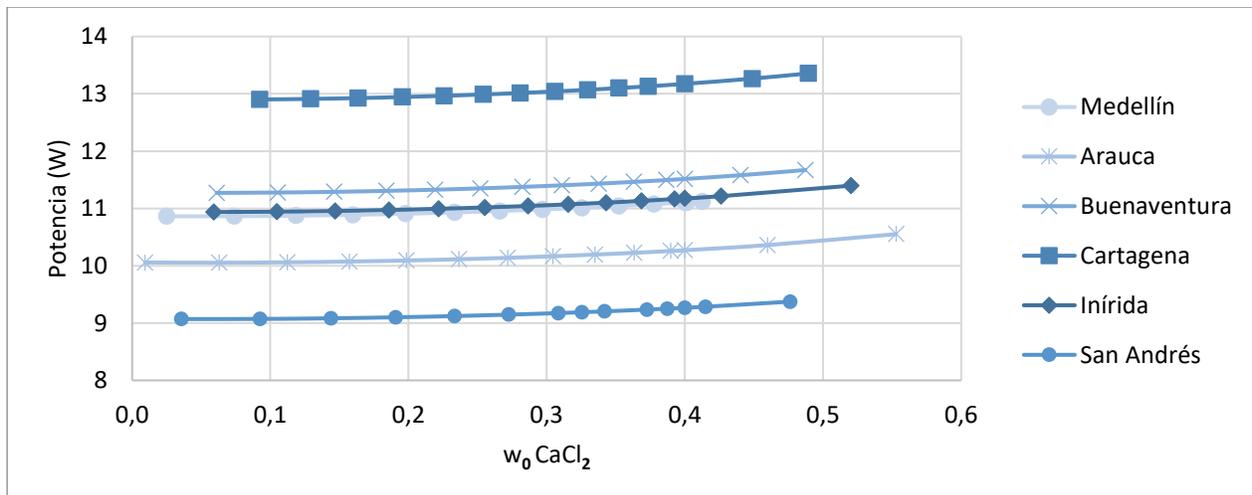
Anexo F 85. Humedad absoluta de acondicionamiento en función de la fracción másica del solvente.



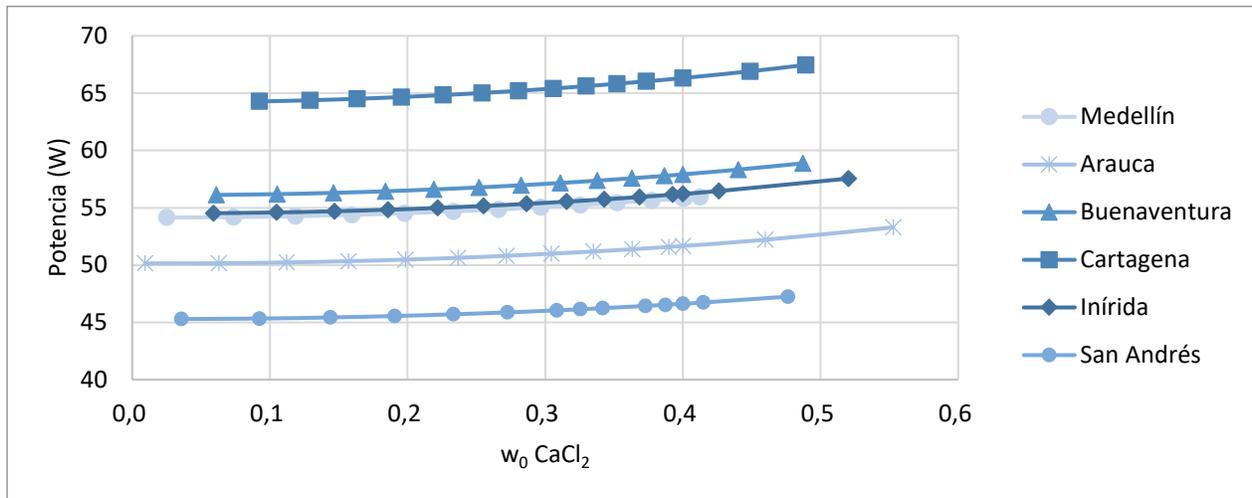
Anexo F 86. Temperatura de acondicionamiento en función de la de fracción másica del solvente.



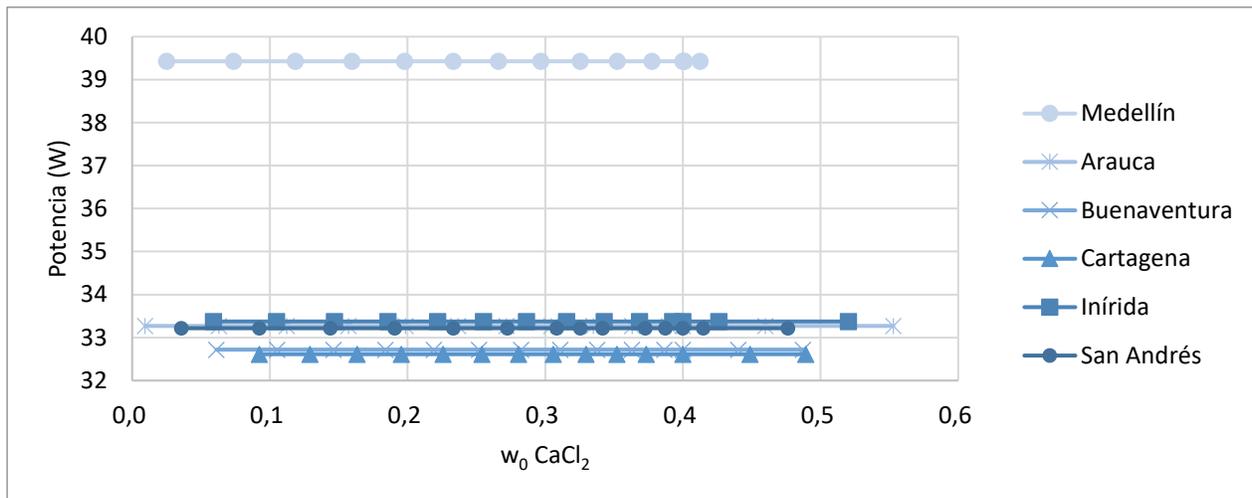
Anexo F 87. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función de la fracción másica del solvente.



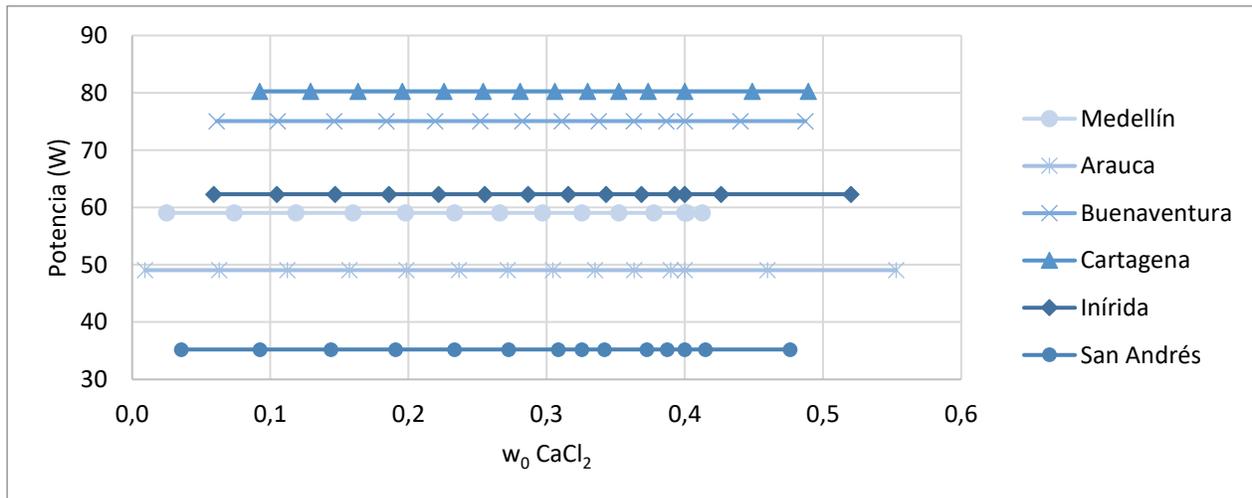
Anexo F 88. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función de la fracción másica del solvente.



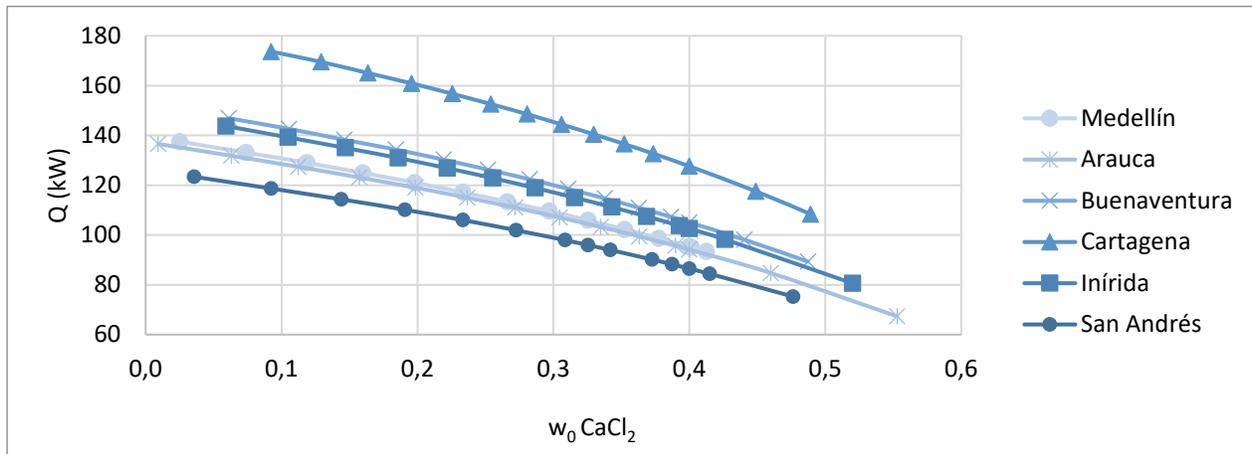
Anexo F 89. Potencia neta requerida del ventilador 1 en función de la fracción másica del solvente.



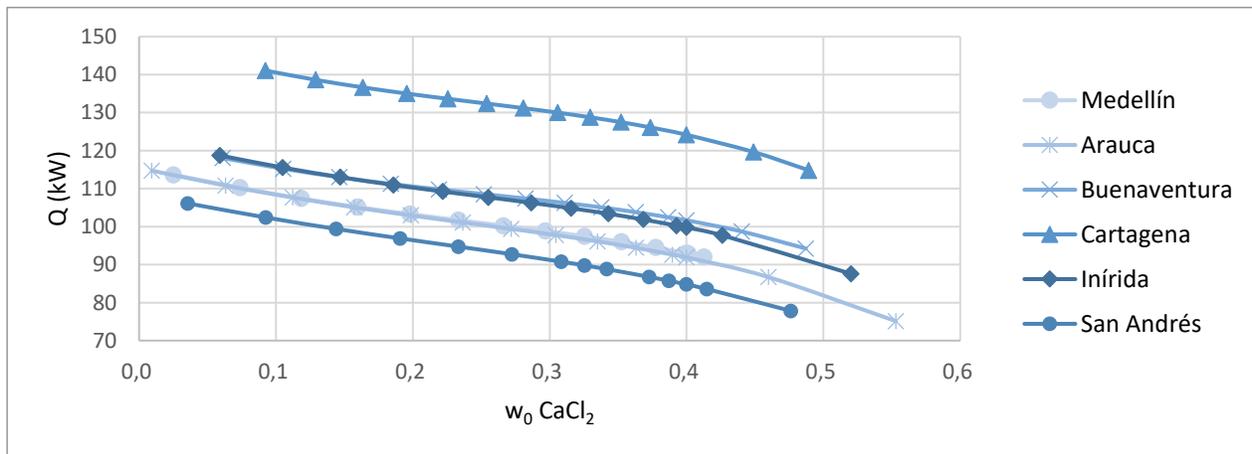
Anexo F 90. Potencia neta requerida del ventilador 2 en función de la fracción másica del solvente.



Anexo F 91. Carga térmica del colector en función de la fracción másica del solvente.

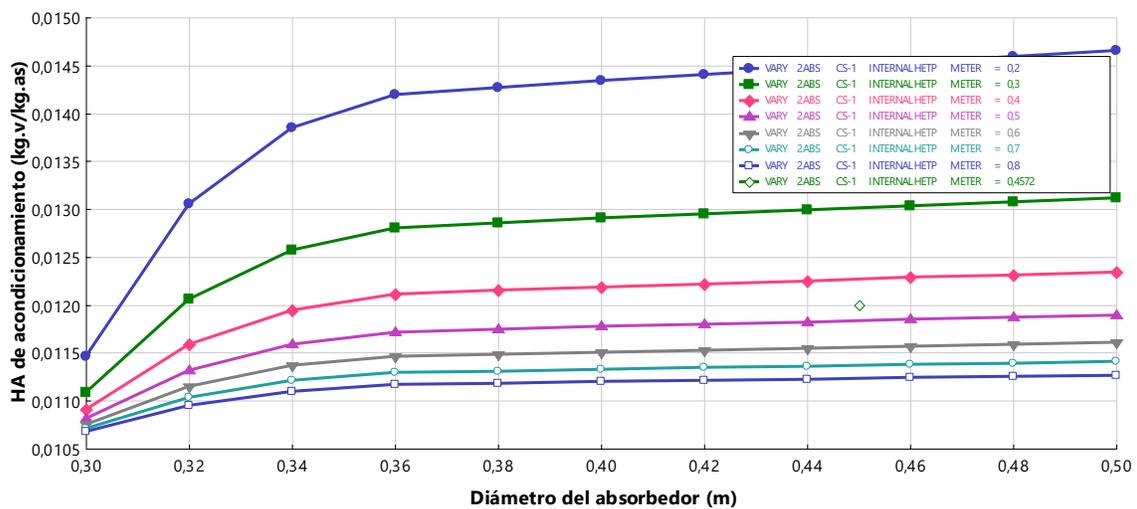


Anexo F 92. Carga térmica del enfriador en función de la fracción másica del solvente.

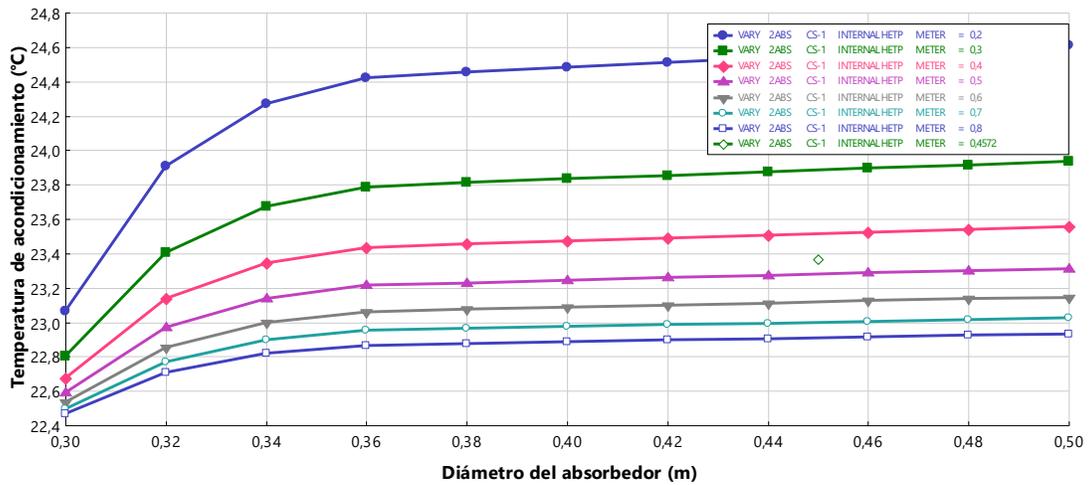


Análisis de sensibilidad del diámetro y altura del absorbedor.

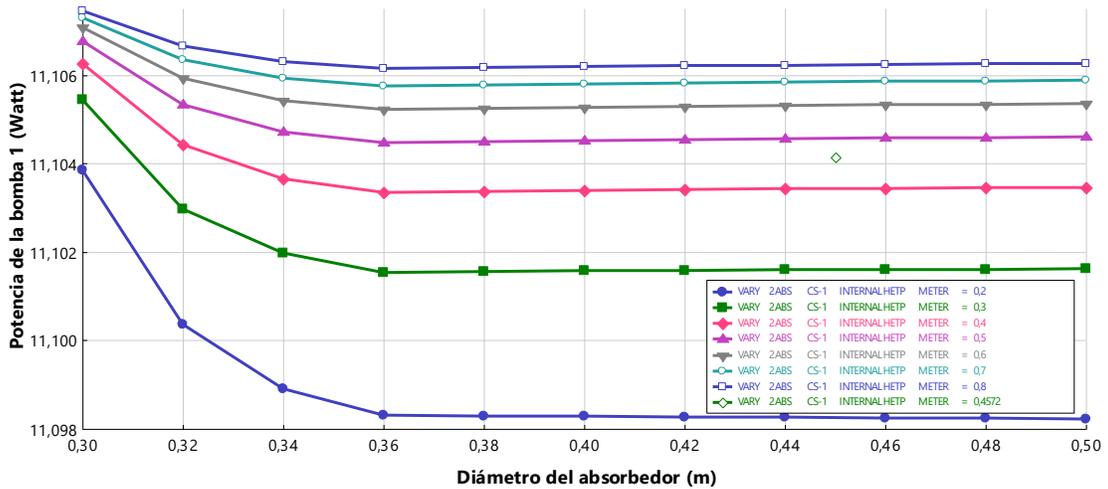
Anexo F 93. Humedad absoluta de acondicionamiento en función del diámetro y altura del absorbedor, en Medellín.



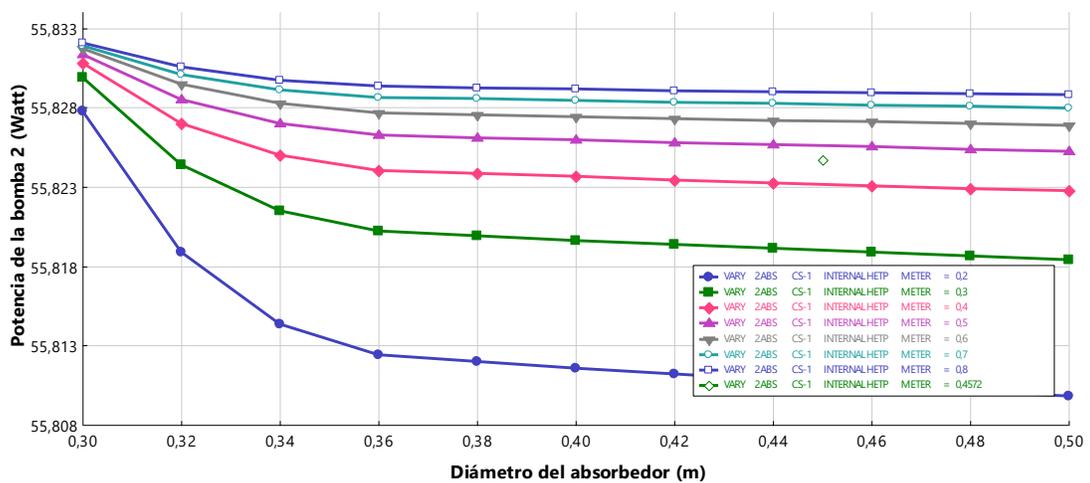
Anexo F 94. Temperatura de acondicionamiento en función del diámetro y altura del absorbedor, en Medellín.



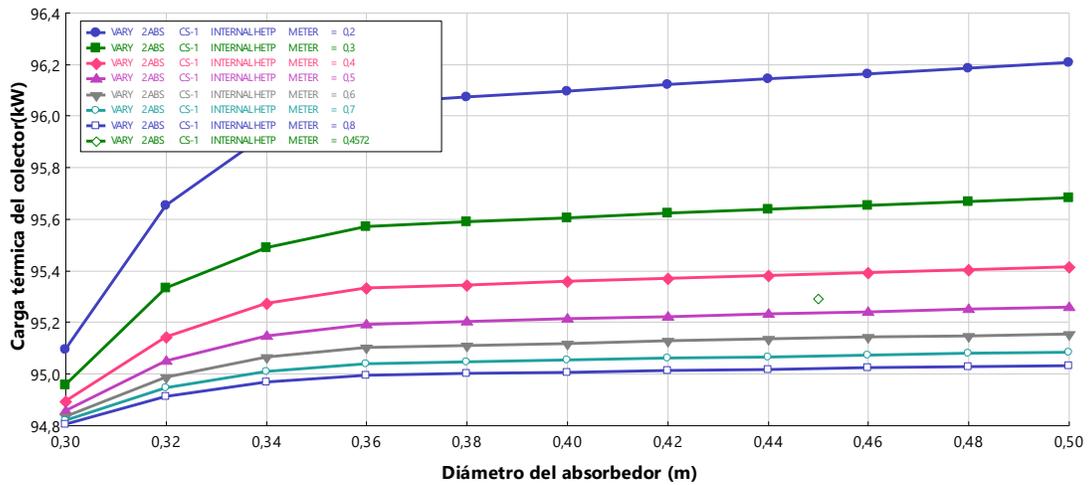
Anexo F 95. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función del diámetro y altura del absorbedor, en Medellín.



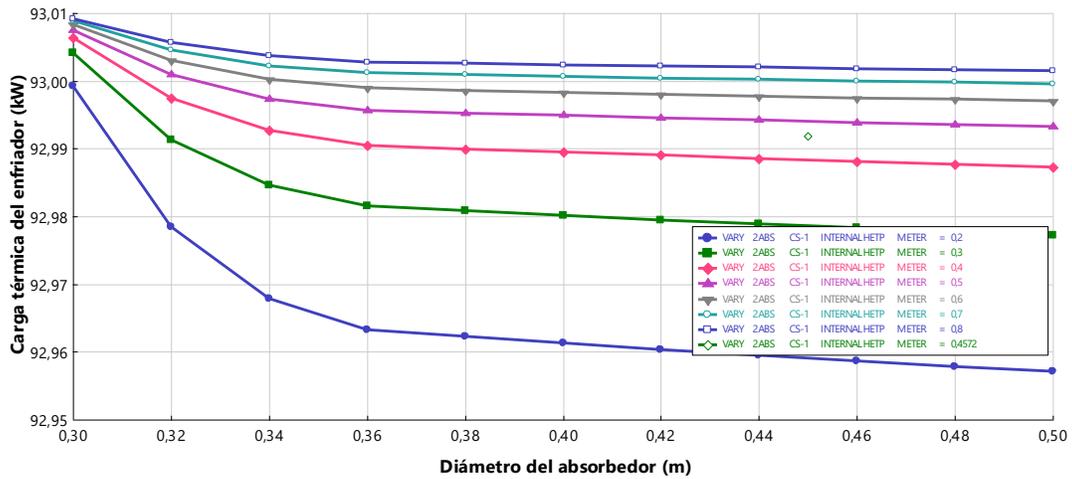
Anexo F 96. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función del diámetro y altura del absorbedor, en Medellín.



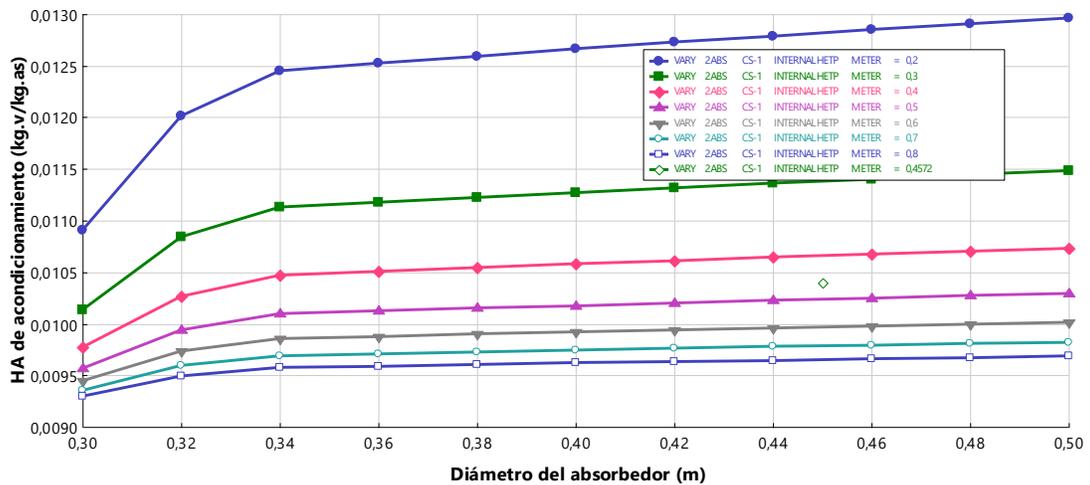
Anexo F 97. Carga térmica del colector en función del diámetro y altura del absorbedor, en Medellín.



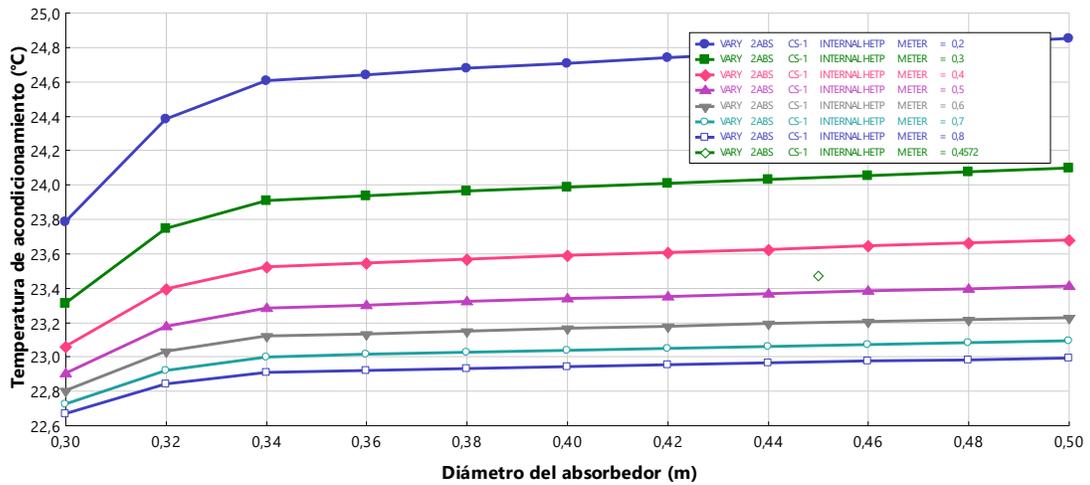
Anexo F 98. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y altura del absorbedor, en Medellín.



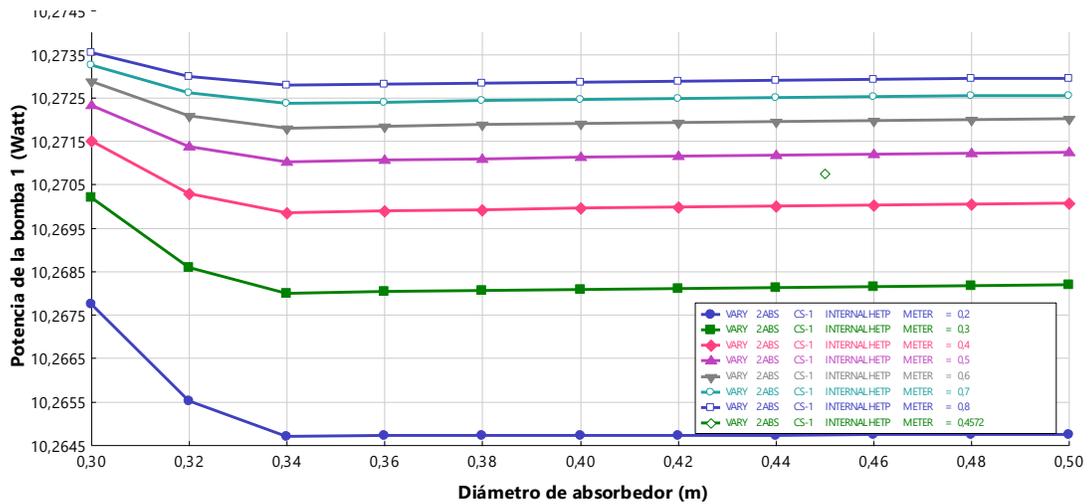
Anexo F 99. Humedad absoluta de acondicionamiento en función del diámetro y altura del absorbedor, en Arauca.



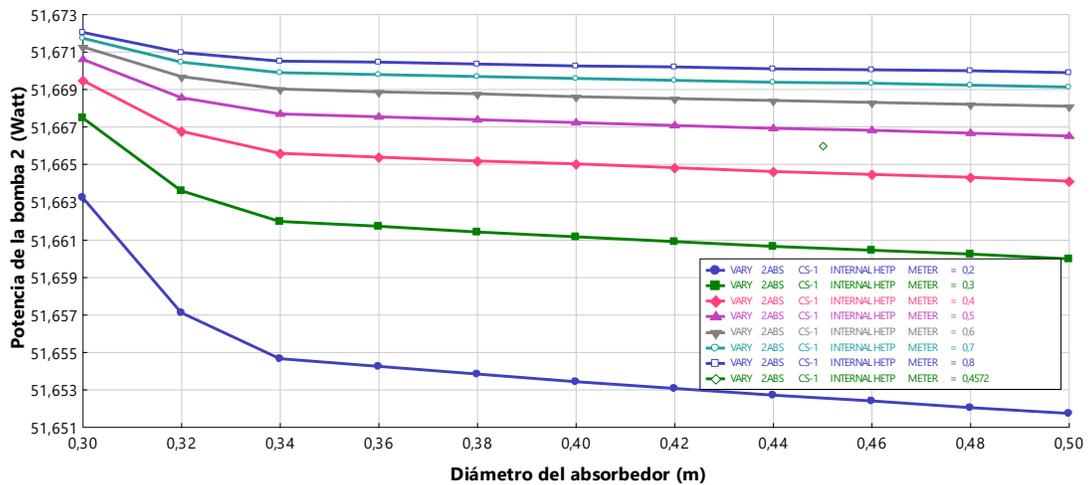
Anexo F 100. Temperatura de acondicionamiento en función del diámetro y altura del absorbedor, en Arauca.



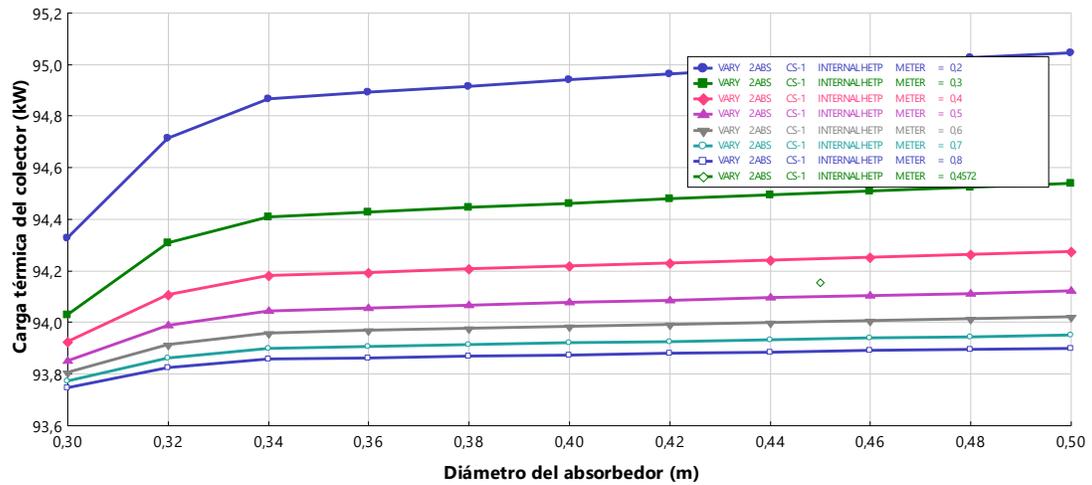
Anexo F 101. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función del diámetro y altura del absorbedor, en Arauca.



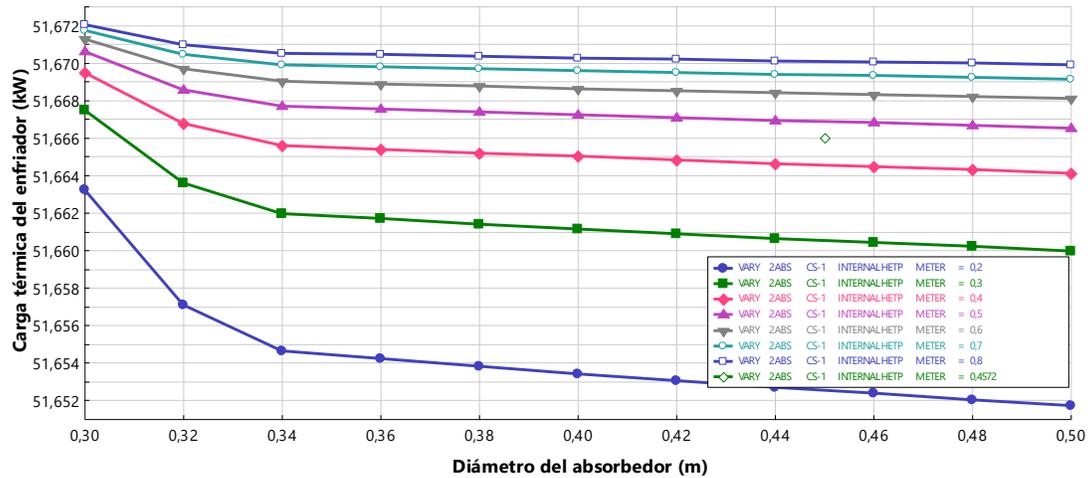
Anexo F 102. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función del diámetro y altura del absorbedor, en Arauca.



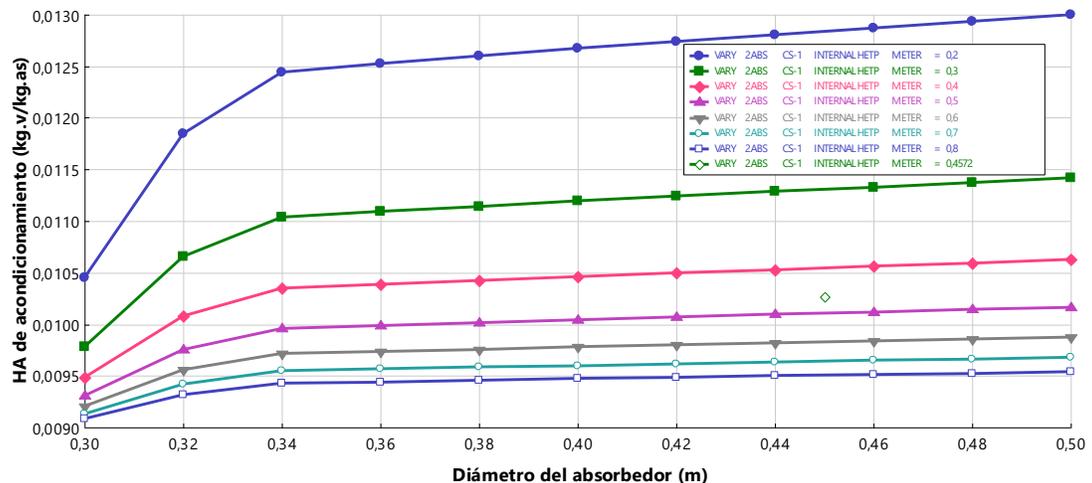
Anexo F 103. Carga térmica del colector en función del diámetro y altura del absorbedor, en Arauca.



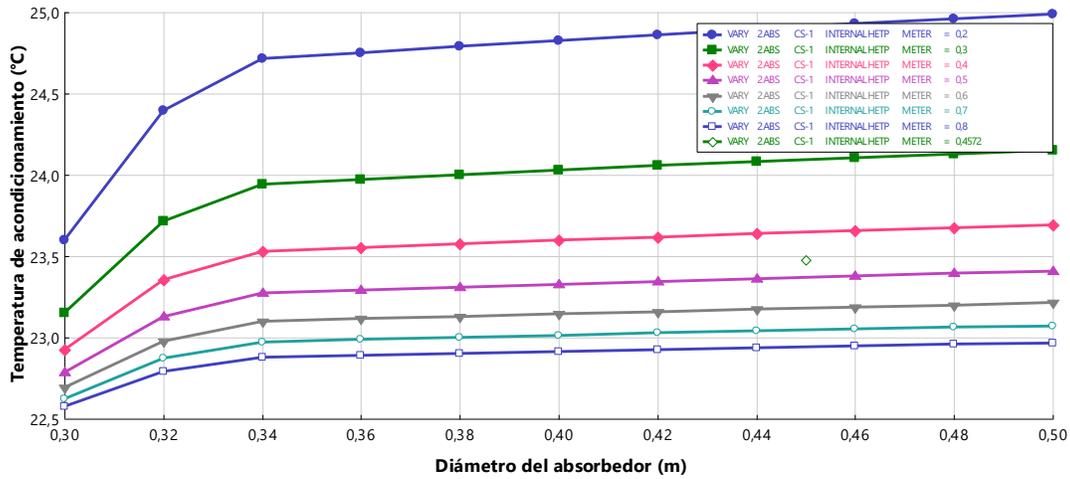
Anexo F 104. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y altura del absorbedor, en Arauca.



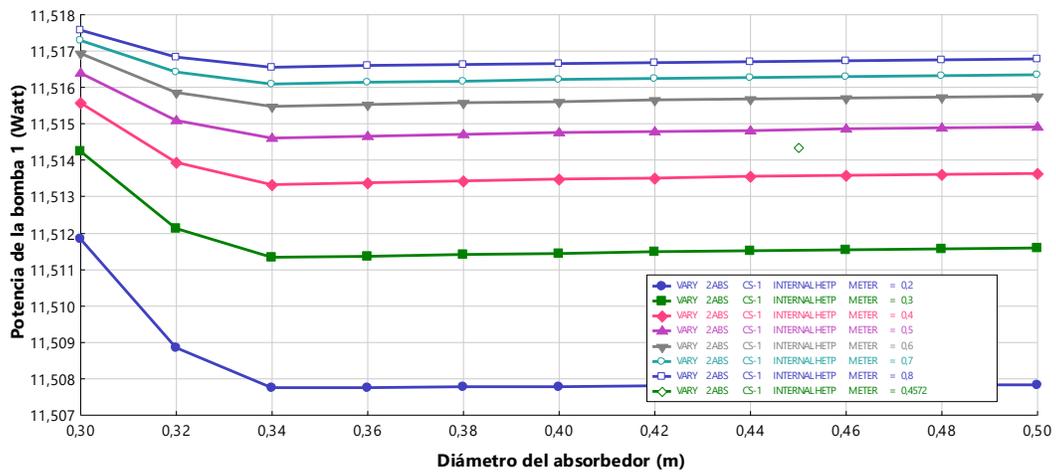
Anexo F 105. Humedad absoluta de acondicionamiento en función del diámetro y altura del absorbedor, en Buenaventura.



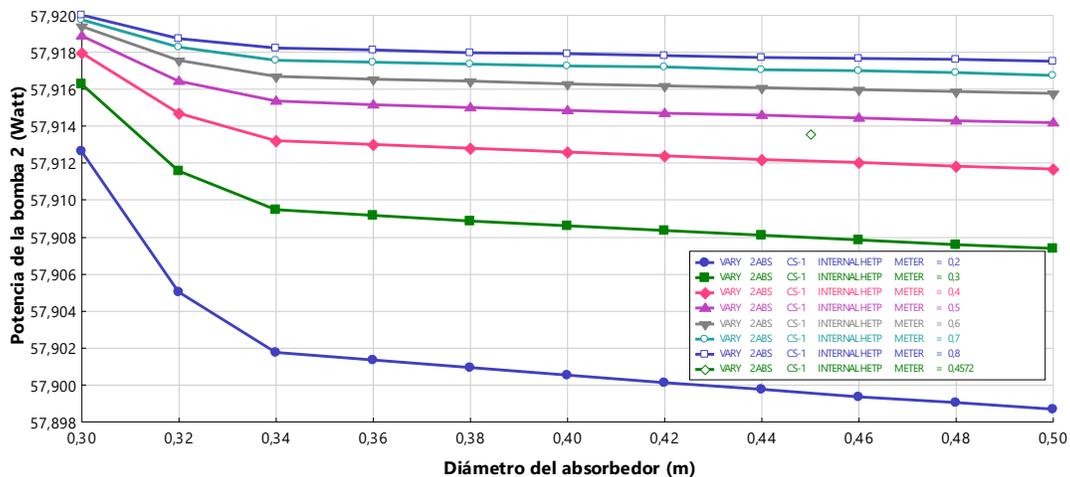
Anexo F 106. Temperatura de acondicionamiento en función del diámetro y altura del absorbedor, en Buenaventura.



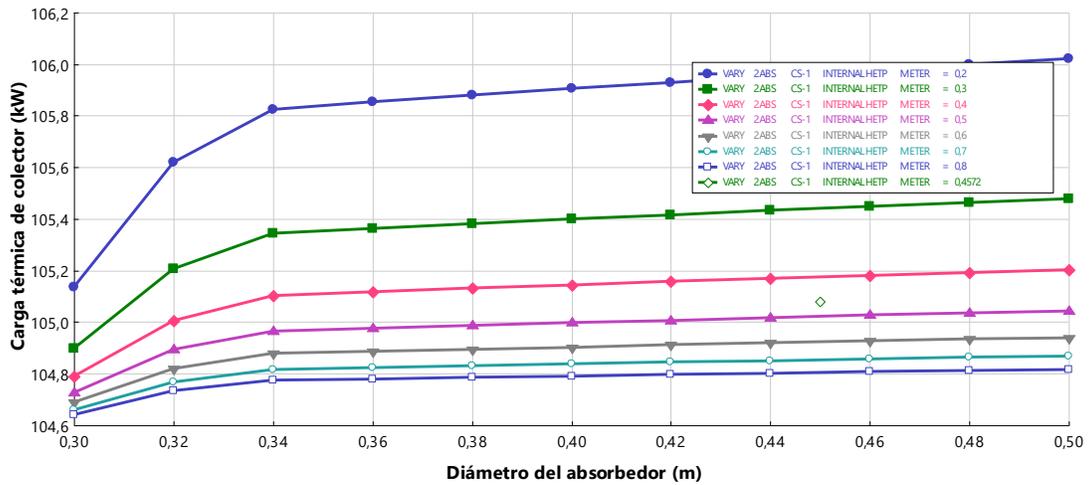
Anexo F 107. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función del diámetro y altura del absorbedor, en Buenaventura.



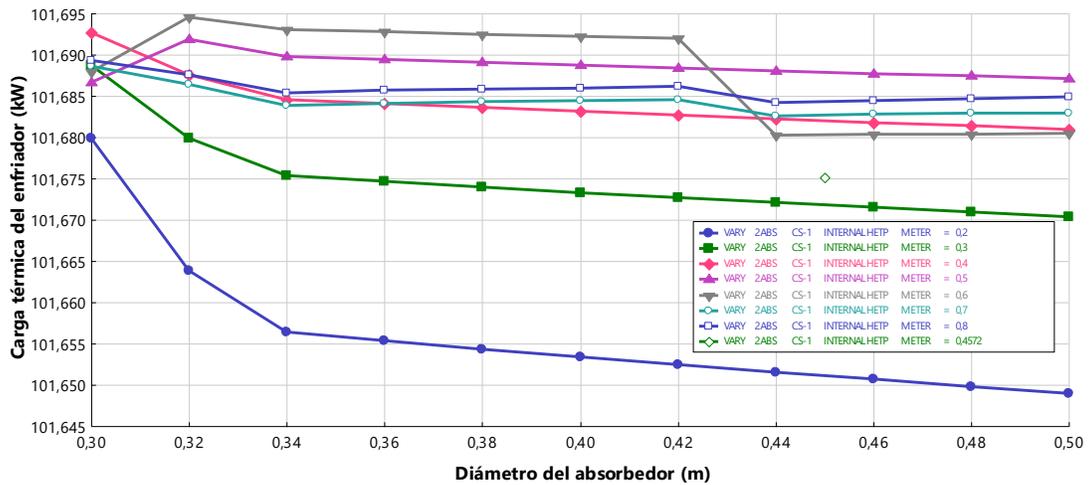
Anexo F 108. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función del diámetro y altura del absorbedor, en Buenaventura.



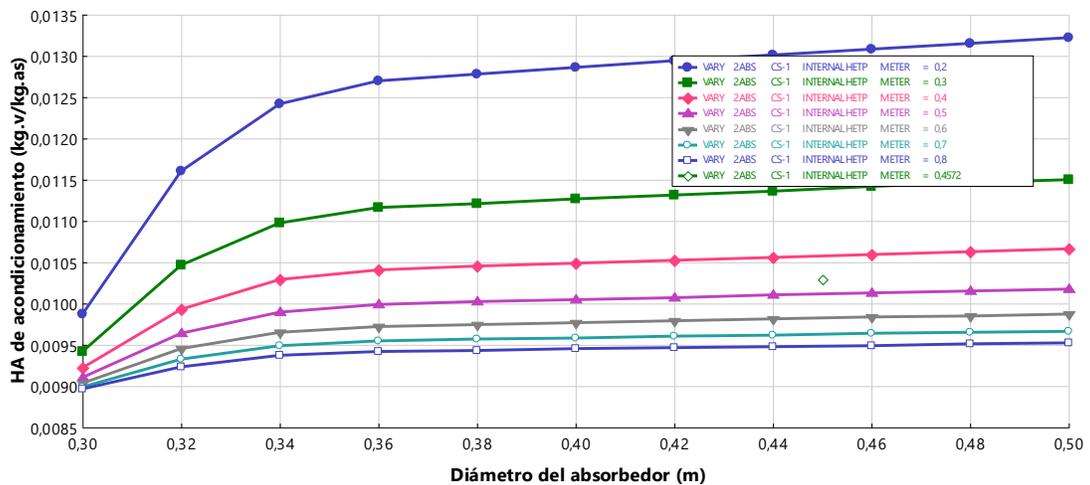
Anexo F 109. Carga térmica del colector en función del diámetro y altura del absorbedor, en Buenaventura.



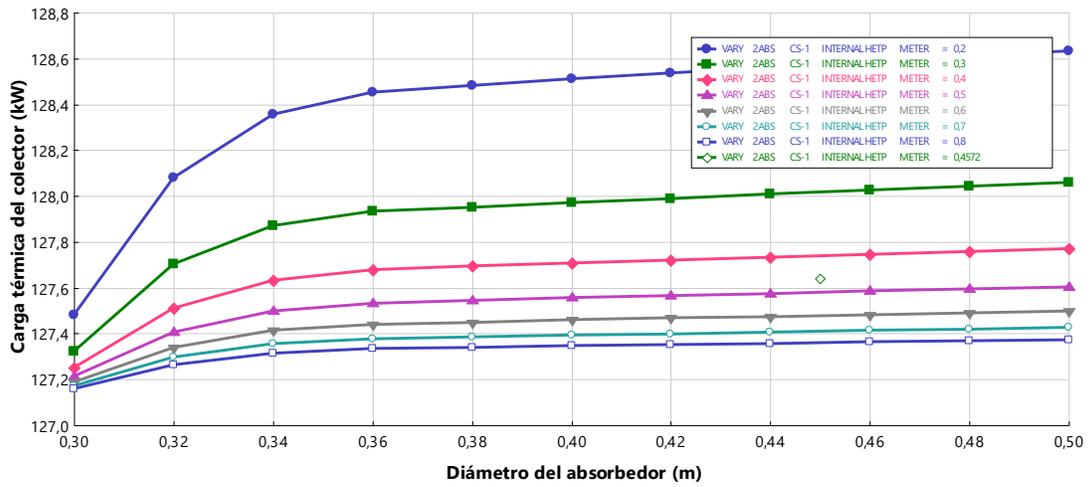
Anexo F 110. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y altura del absorbedor, en Buenaventura.



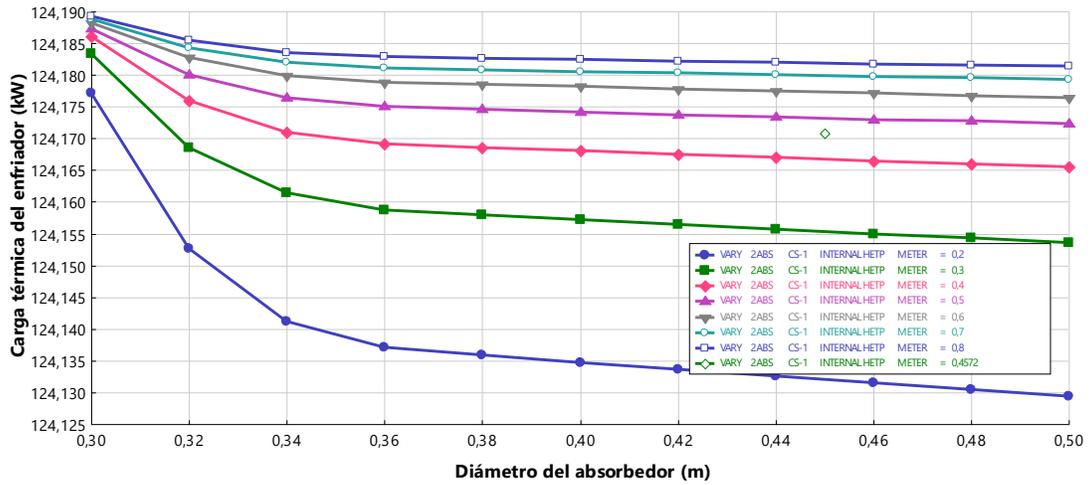
Anexo F 111. Humedad absoluta de acondicionamiento en función del diámetro y altura del absorbedor, en Cartagena.



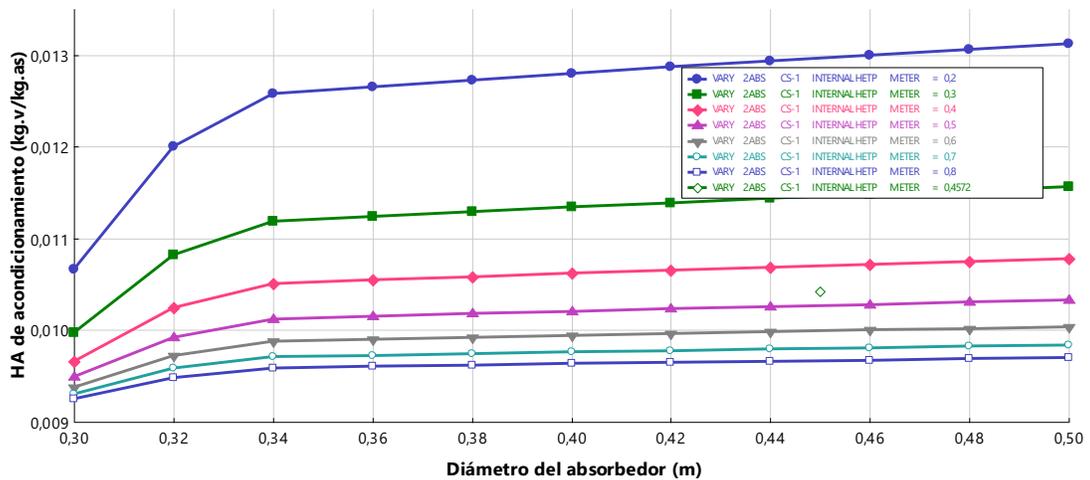
Anexo F 115. Carga térmica del colector en función del diámetro y altura del absorbedor, en Cartagena.



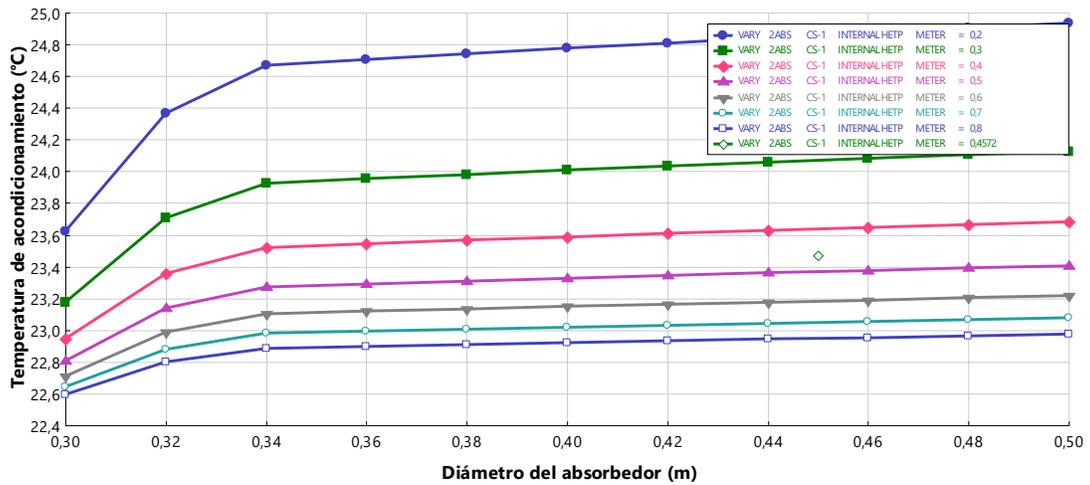
Anexo F 116. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y altura del absorbedor, en Cartagena.



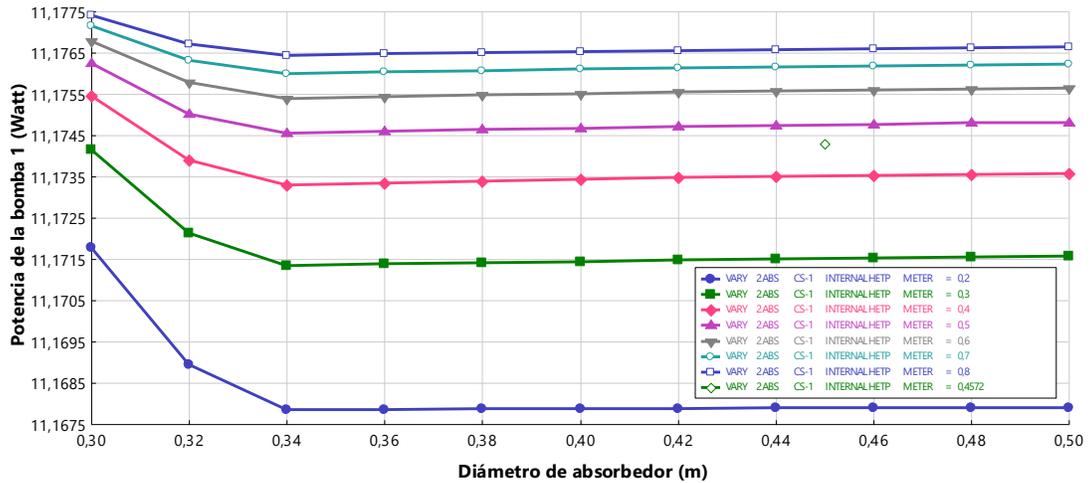
Anexo F 117. Humedad absoluta de acondicionamiento en función del diámetro y altura del absorbedor, en Inírida.



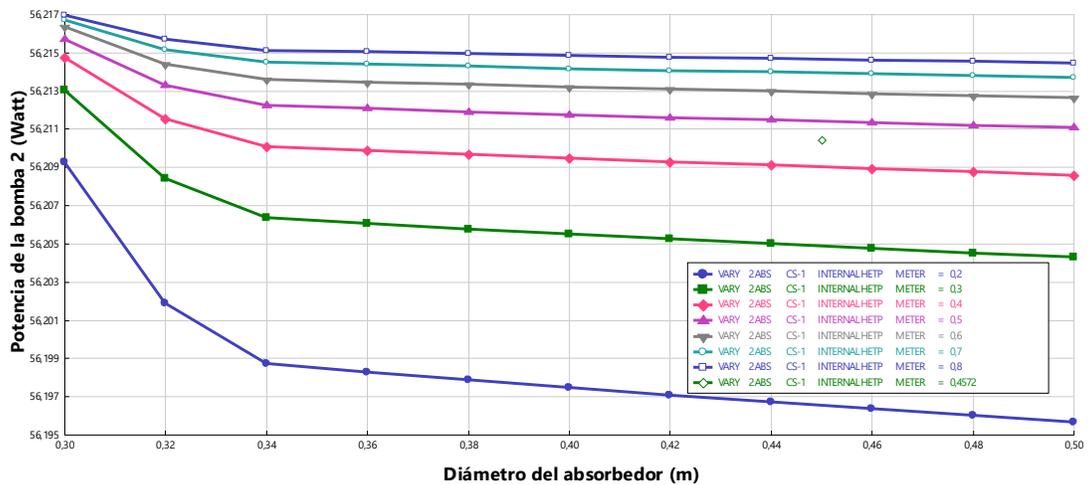
Anexo F 118. Temperatura de acondicionamiento en función del diámetro y altura del absorbedor, en Inírida.



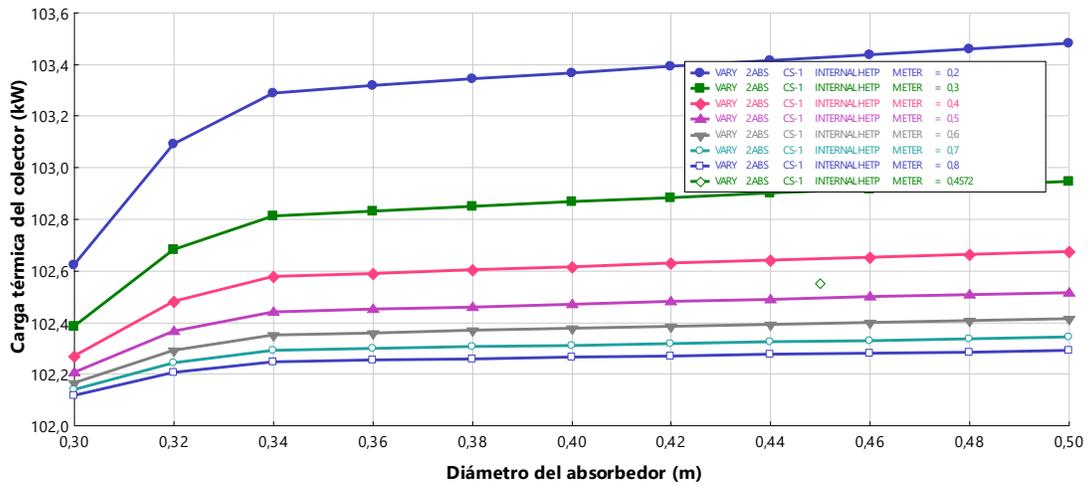
Anexo F 119. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función del diámetro y altura del absorbedor, en Inírida.



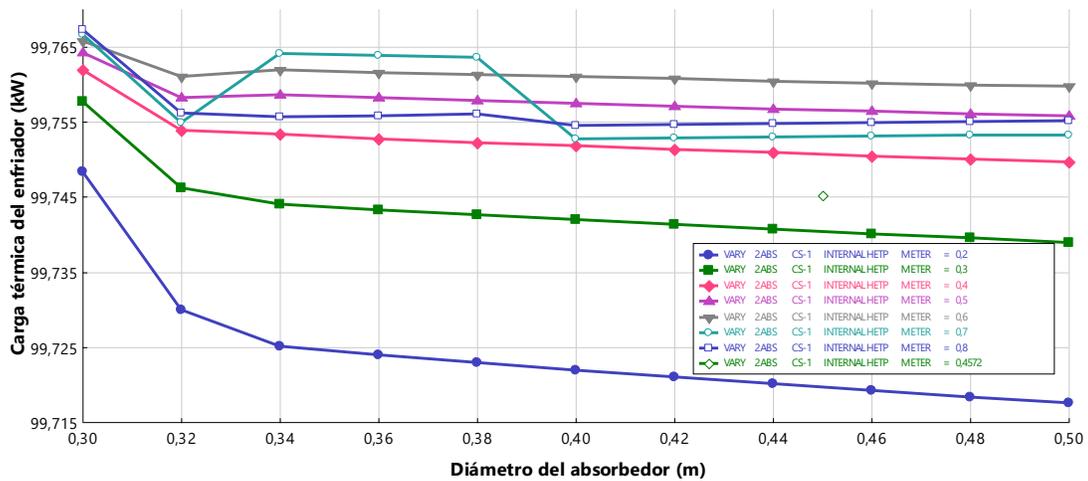
Anexo F 120. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función del diámetro y altura del absorbedor, en Inírida.



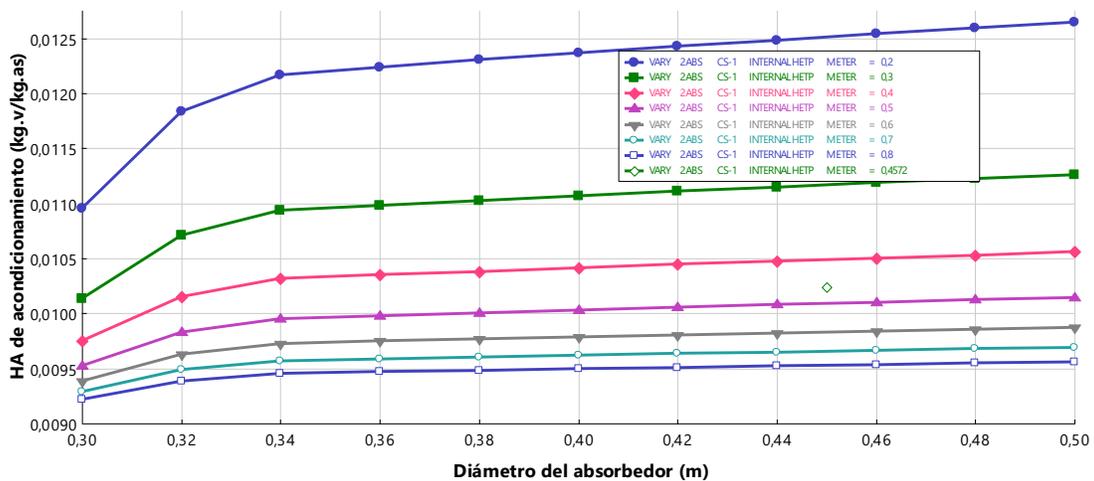
Anexo F 121. Carga térmica del colector en función del diámetro y altura del absorbedor, en Inírida.



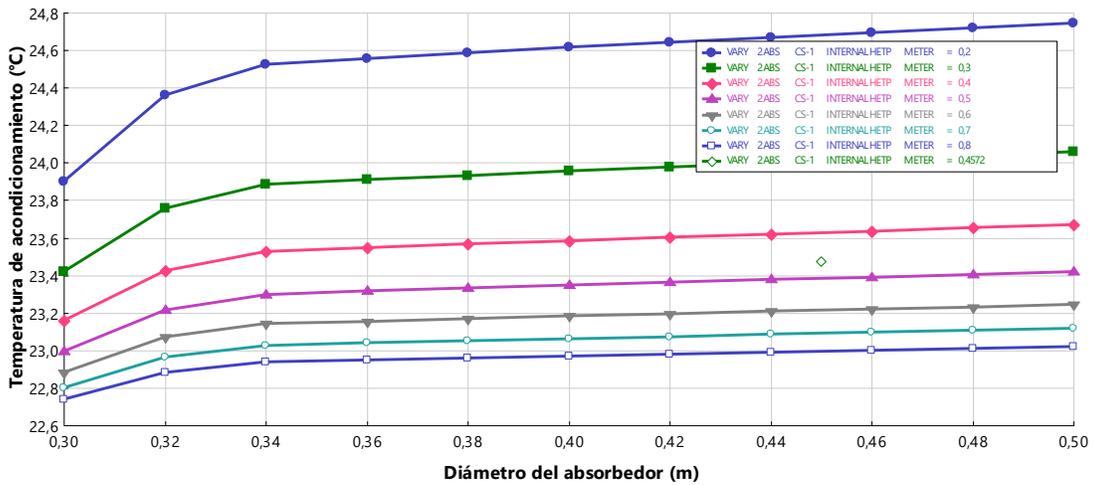
Anexo F 122. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y altura del absorbedor, en Inírida.



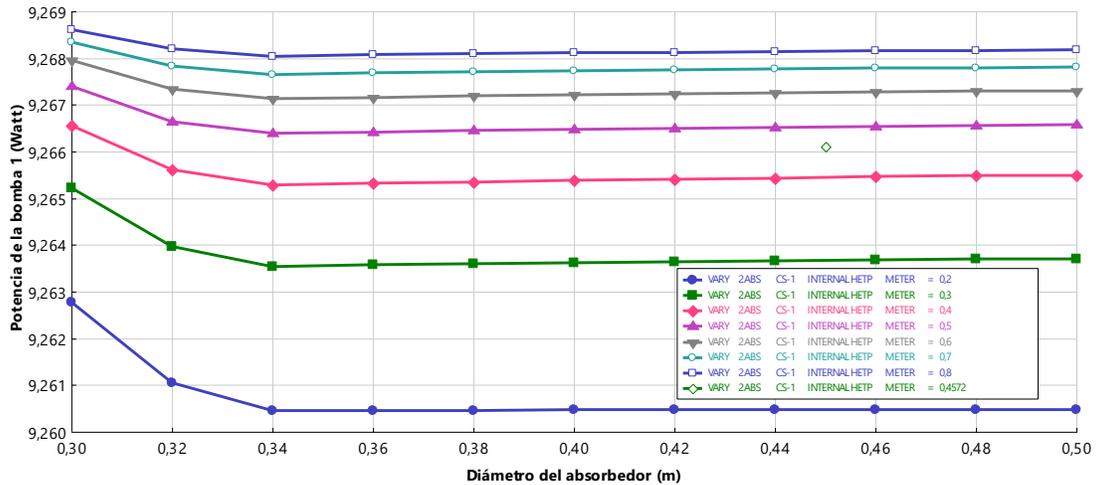
Anexo F 123. Humedad absoluta de acondicionamiento en función del diámetro y altura del absorbedor, en San Andrés.



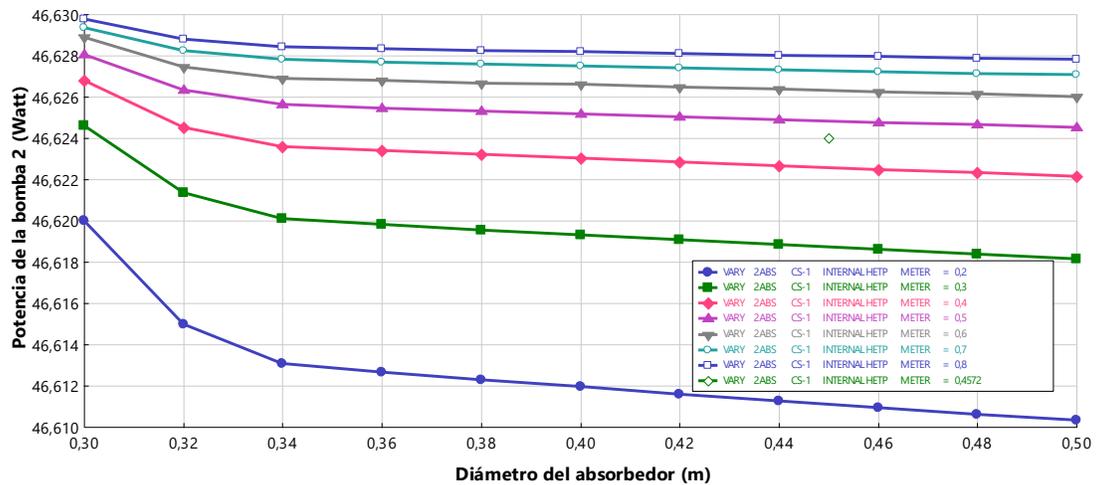
Anexo F 124. Temperatura de acondicionamiento en función del diámetro y altura del absorbedor, en San Andrés.



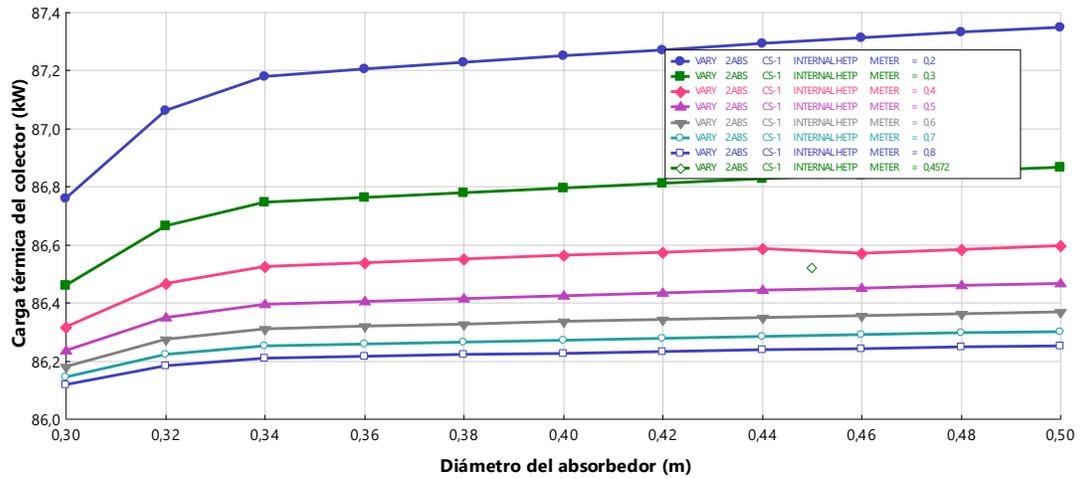
Anexo F 125. Potencia neta requerida de la bomba 1 en función del diámetro y altura del absorbedor, en San Andrés.



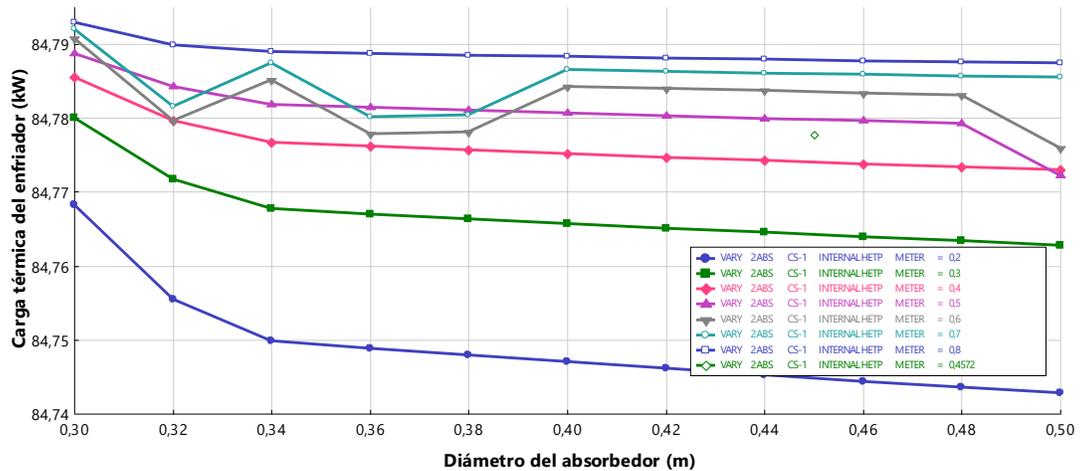
Anexo F 126. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función del diámetro y altura del absorbedor, en San Andrés.



Anexo F 127. Carga térmica del colector en función del diámetro y altura del absorbedor, en San Andrés.

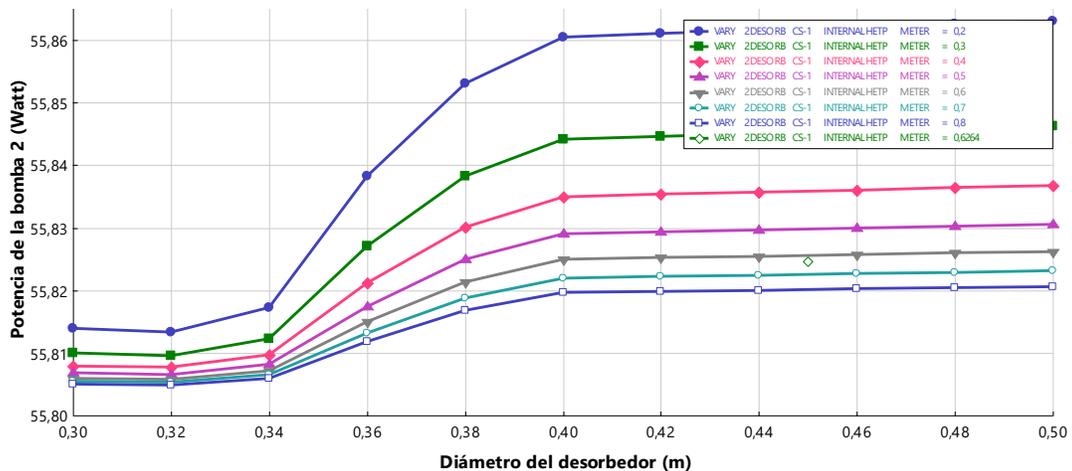


Anexo F 128. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y altura del absorbedor, en San Andrés.

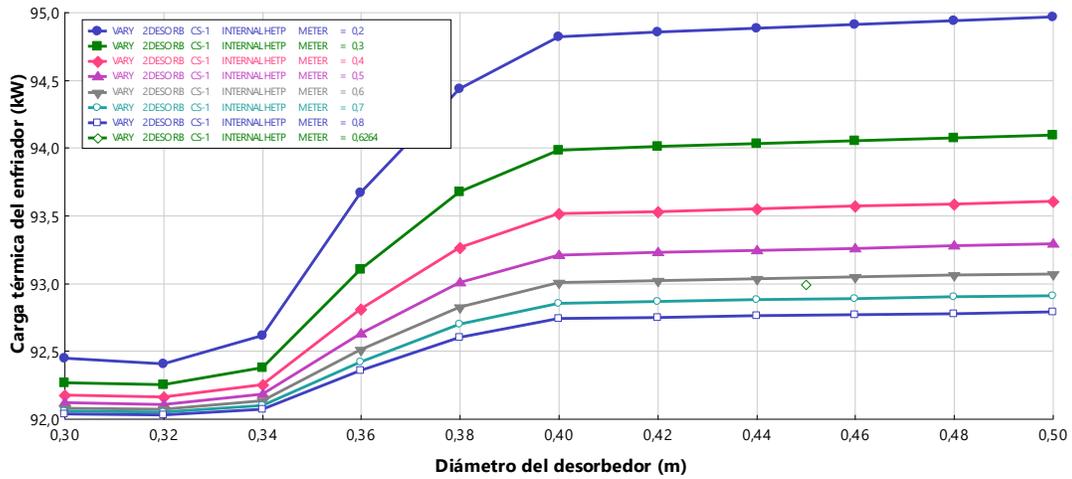


Análisis de sensibilidad del diámetro y altura del desorbedor.

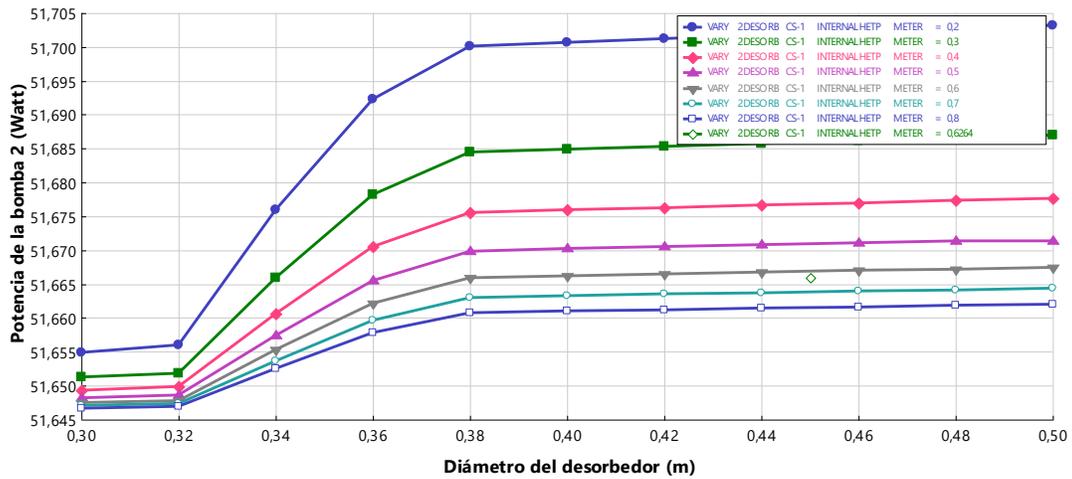
Anexo F 129. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función del diámetro y altura del desorbedor, en Medellín.



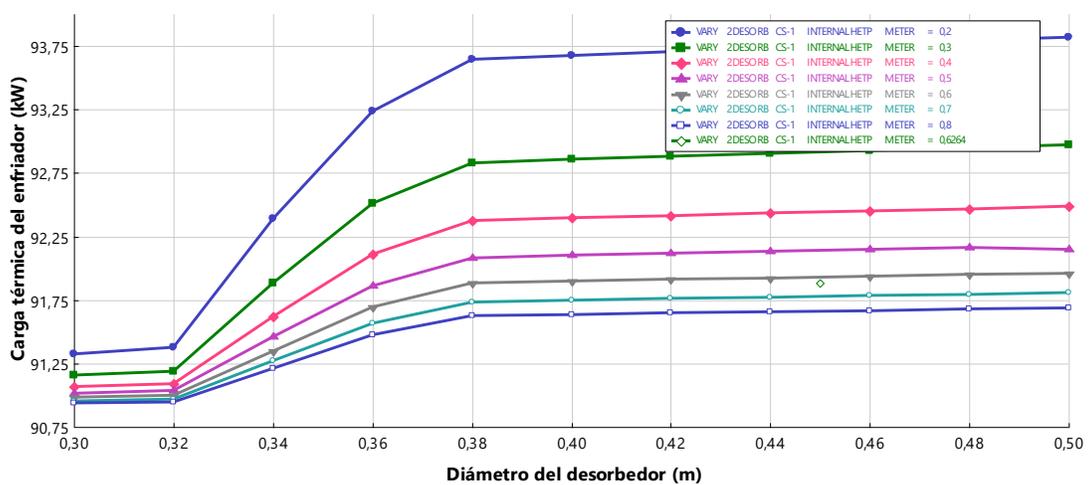
Anexo F 130. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y altura del desorbedor, en Medellín.



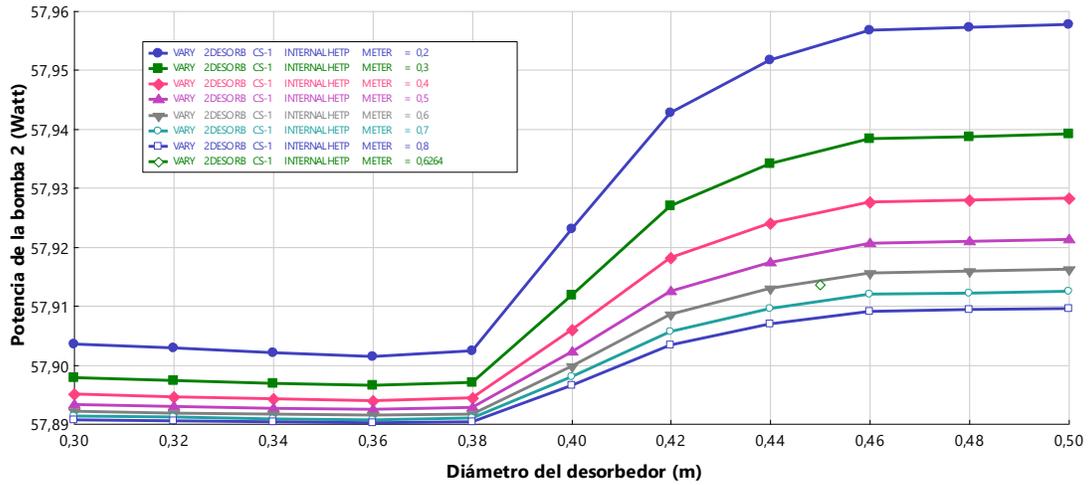
Anexo F 131. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función del diámetro y altura del desorbedor, en Arauca.



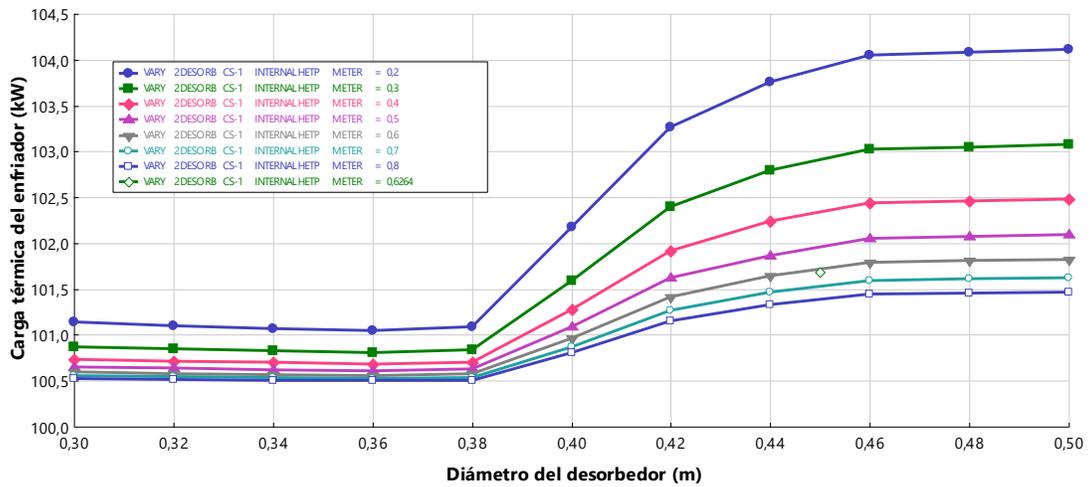
Anexo F 132. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y altura del desorbedor, en Arauca.



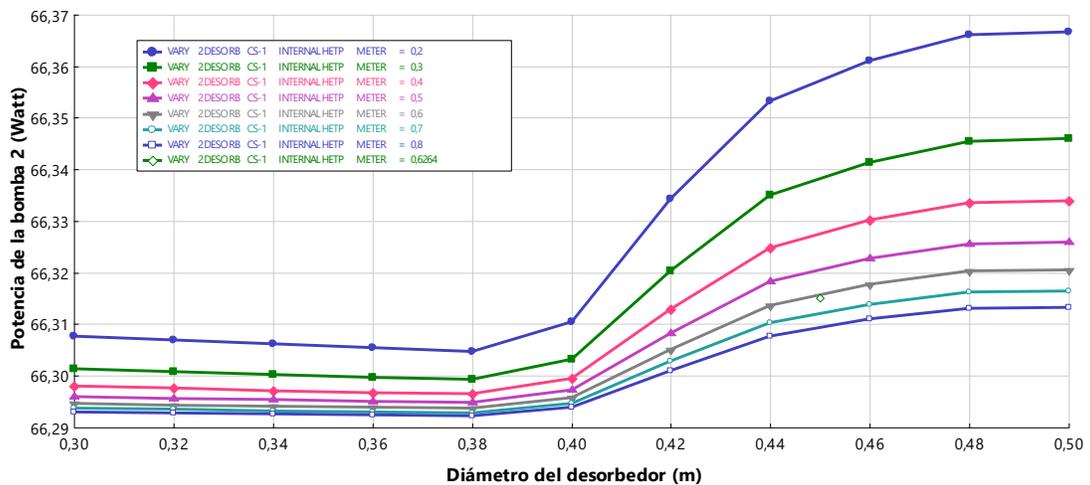
Anexo F 133. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función del diámetro y altura del desorbedor, en Buenaventura.



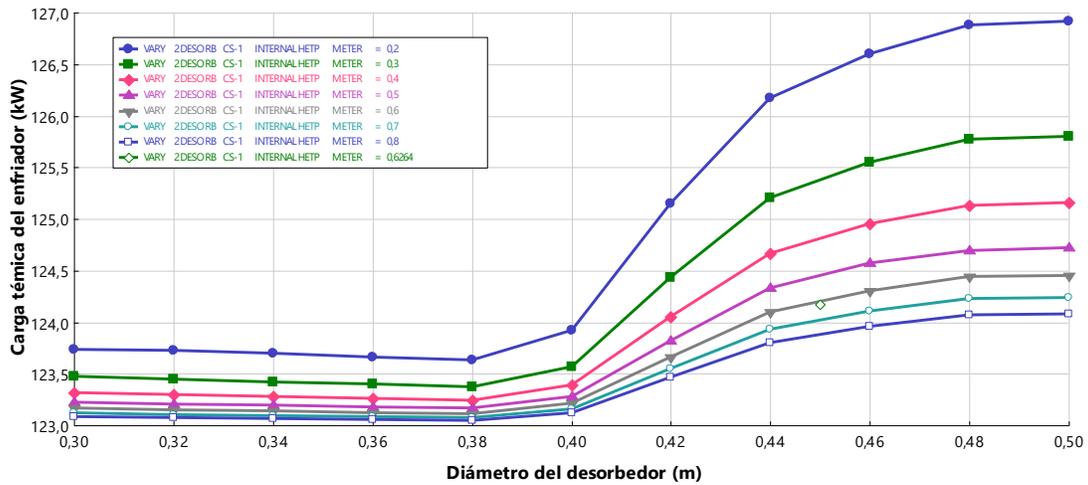
Anexo F 134. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y altura del desorbedor, en Buenaventura.



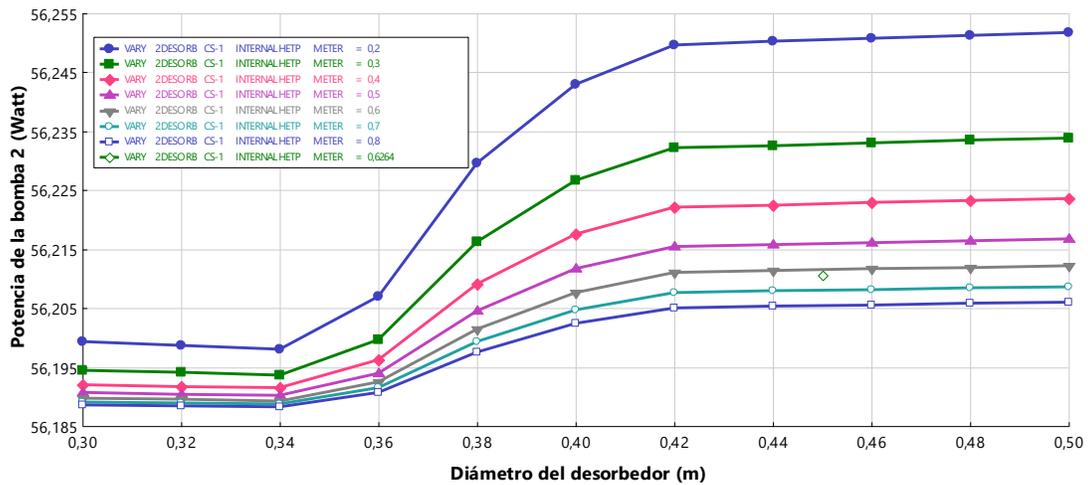
Anexo F 135. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función del diámetro y altura del desorbedor, en Cartagena.



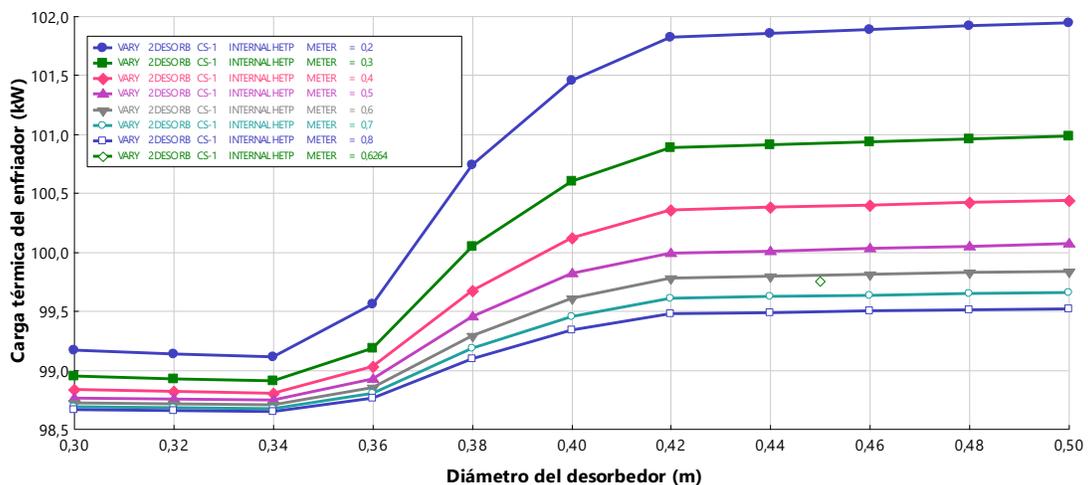
Anexo F 136. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y altura del desorbedor, en Cartagena.



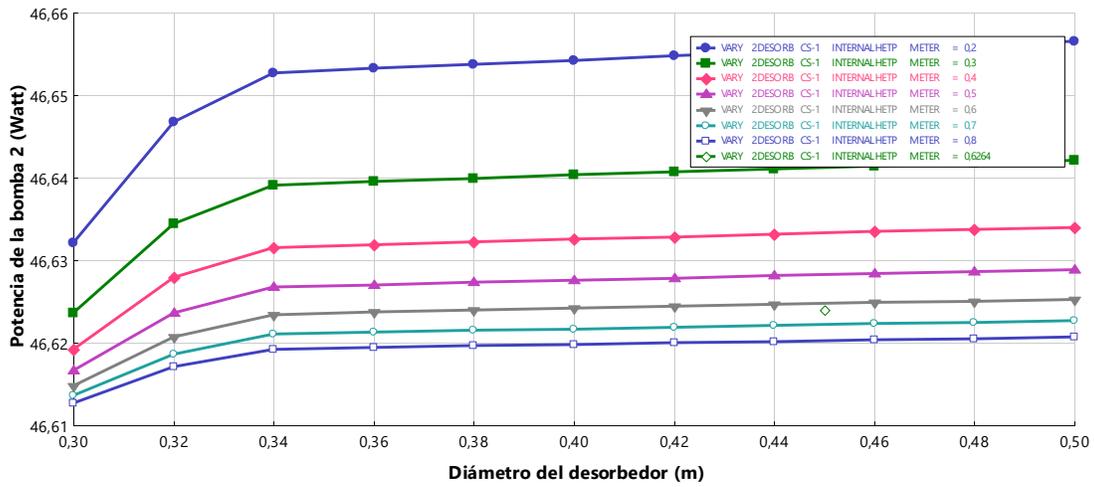
Anexo F 137. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función del diámetro y altura del desorbedor, en Inírida.



Anexo F 138. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y altura del desorbedor, en Inírida.



Anexo F 139. Potencia neta requerida de la bomba 2 en función del diámetro y altura del desorbedor, en San Andrés.



Anexo F 140. Carga térmica del enfriador en función del diámetro y altura del desorbedor, en San Andrés.

