

DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION PARA UNA PLANTA DE
SACRIFICIO DE GANADO BOVINO DE ACUERDO CON LA NORMATIVA
TECNICA, PARA ACAIRE

BENJAMIN ALEXANDER RIOS PAEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2.019

DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION PARA UNA PLANTA DE
SACRIFICIO DE GANADO BOVINO DE ACUERDO CON LA NORMATIVA
TECNICA, PARA ACAIRE

BENJAMIN ALEXANDER RIOS PAEZ

Proyecto integral de grado para optar por el título de:
INGENIERO MECANICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2.019

Nota de aceptación:

Ing. Eric Fabien Navarro

Ing. Bolívar Monroy

BOGOTÁ D.C., agosto de 2.019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD DE AMERICA

Presidente Institucional y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la Universidad América, los jurados calificadores y el cuerpo docentes no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

A mi mama Jazmín Páez, por su constante apoyo, por los principios que me inculco desde niño, por su formación y por su lucha inalcanzable durante todos estos años. A mis abuelitos Benjamín Páez y Carmenza Páez, quienes han estado presentes durante todo mi proceso de formación académica. A mis tías Rubí Páez, Carolina Páez y Julieta Páez, por sus enseñanzas, aprecio, comprensión y apoyo incondicional. A Ricardo Cárdenas, por su orientación desde mis primeros años de colegio y en todo el desarrollo de mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, le agradezco a Dios que ha estado presente en todos los momentos, decisiones y situaciones a lo largo de mi vida, a mi familia que desde niño me han proyectado para ser un profesional honesto y ejemplar. Le agradezco a todos los docentes de la Fundación Universidad de América, que en algún momento aportaron con el desarrollo de mi carrera profesional; al Ing. Bolívar Monroy y ACAIRE por darme la oportunidad de realizar este proyecto y por su confianza en nuestro trabajo.

CONTENIDO

| | pág. |
|---|------|
| ABSTRACT | 22 |
| INTRODUCCION | 23 |
| 1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL | 25 |
| 1.1 GANADO BOVINO | 26 |
| 1.1.1 Piso térmico cálido | 26 |
| 1.1.2 Piso térmico templado | 26 |
| 1.1.3 Piso térmico frio | 26 |
| 1.1.4 Piso térmico paramo | 27 |
| 1.2 PLANTAS DE SACRIFICIO | 27 |
| 1.2.1 Clasificación de plantas. | 29 |
| 1.2.2 Tipo de planta de sacrificio. | 29 |
| 1.2.3 Zonas de la planta de sacrificio. | 30 |
| 1.2.3 Materiales empleados para la construcción de plantas de sacrificio. | 30 |
| 1.2.4 Productividad y rendimiento | 31 |
| 1.2.5 Recomendaciones de la normativa técnica. | 31 |
| 1.3 PROCESO DE SACRIFICIO. | 32 |
| 1.3.1 Inspección ante mortem. | 33 |
| 1.3.2 Aturdimiento y sangrado. | 33 |
| 1.3.3 Eliminación de la piel y patas del animal. | 34 |
| 1.3.4 Evisceración | 35 |
| 1.3.5 Inspección post mortem | 35 |
| 1.3.6 División de la canal | 35 |
| 1.4 REFRIGERACION | 36 |
| 1.4.1 Métodos. | 36 |
| 1.4.2 Importancia de la refrigeración. | 39 |
| 1.4.3 Eficiencia energética (EER). | 40 |
| 1.5 EQUIPOS USADOS EN EL SISTEMA DE REFRIGERACION | 40 |
| 1.5.1 Evaporador. | 41 |
| 1.5.2 Compresor. | 41 |
| 1.5.3 Condensador. | 41 |
| 1.5.4 Válvula de expansión. | 41 |
| 1.5.5 Fluido refrigerante. | 41 |
| 1.5.6 Mega tendencias globales. | 41 |
| 1.7 NORMATIVA TECNICA | 41 |
| 2. PARAMETROS FUNCIONALES | 43 |
| 2.1 PROCESO | 43 |
| 2.1.1 Aturdimiento. | 43 |
| 2.1.2 Izado. | 43 |
| 2.1.3 Degüello. | 43 |

| | |
|---|----|
| 2.1.4 Desprendimiento de partes. | 43 |
| 2.1.5 Descuerado. | 43 |
| 2.1.6 Eviscerado. | 44 |
| 2.1.7 Separación de las vísceras blancas y rojas. | 44 |
| 2.1.8 Tenderización. | 44 |
| 2.1.9 Limpieza de la canal. | 44 |
| 2.1.10 División de la canal de la carne. | 44 |
| 2.2 OPERACIONES DEL SISTEMA | 44 |
| 2.2.1 Espacio. | 45 |
| 2.3 REQUERIMIENTOS SEGÚN LA NORMATIVA TECNICA | 46 |
| 2.4 CARGAS TERMICAS | 46 |
| 2.4.1 Sacrificio | 46 |
| 2.5 EFICIENCIA ESPERADA | 47 |
| | |
| 3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO | 48 |
| 3.1 ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN | 48 |
| 3.1.1 Sistema de refrigeración por compresión de vapor. | 48 |
| 3.1.2 Sistema de refrigeración por aire forzado | 49 |
| 3.1.3 Sistema de refrigeración por absorción. | 49 |
| 3.1.4 Sistema de refrigeración por adsorción. | 50 |
| 3.1.5 Sistema de refrigeración por condensador evaporativo. | 51 |
| 3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACION | 52 |
| 3.2.1 Análisis de resultados. | 52 |
| 3.3 ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE REFRIGERANTES | 54 |
| 3.3.1 Refrigerante R-717 (Amoniaco). | 54 |
| 3.3.2 Refrigerante R-600A. | 55 |
| 3.3.3 Refrigerante R-744 (CO2). | 55 |
| 3.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL REFRIGERANTE | 55 |
| 3.4.1 Análisis de resultados. | 55 |
| 3.4.2 Evaluación de alternativas. | 56 |
| 3.5 ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE CONDENSADOR | 57 |
| 3.5.1 Enfriados por aire. | 57 |
| 3.5.2 Condensadores enfriados por agua. | 57 |
| 3.5.3 Condensadores evaporativos. | 58 |
| 3.6 SELECCION DE ALTERNATIVAS DE CONDENSADORES. | 58 |
| 3.6.1 Análisis de resultados. | 58 |
| 3.7 ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE EVAPORADORES | 59 |
| 3.8 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE EVAPORADORES | 59 |
| 3.8.1 Análisis de resultados. | 59 |
| 3.8.2 Evaluación de alternativas. | 59 |
| 3.9 CONDICIONES CLIMATICAS DE DISEÑO | 60 |
| 3.9.1 Temperatura de condensación (Tk). | 60 |
| 3.9.2 Presión de condensación (Pk). | 61 |
| 3.9.3 Temperatura de evaporación (To). | 62 |
| 3.9.4 Presión de evaporación (Po). | 63 |

| | |
|---|-----|
| 3.9.6 Relación de compresión. | 63 |
| 3.9.6 Ahorro energético y medio ambiente. | 64 |
| 3.10 CONCLUSION | 64 |
| | |
| 4. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN | 66 |
| 4.1 COMPRESOR | 66 |
| 4.1.1 Producción frigorífica específica (q_{om}). | 67 |
| 4.1.2 Caudal másico de refrigerante (C_m). | 67 |
| 4.1.4 Volumen de refrigerante aspirado por el compresor. | 68 |
| 4.1.5 Volumen barrido o desplazado. | 68 |
| 4.1.6 Potencia teórica de compresión. | 70 |
| 4.1.7 Potencia real para la compresión. | 71 |
| 4.1.8 Potencia del motor eléctrico del compresor. | 72 |
| 4.1.9 Selección del compresor. | 73 |
| 4.1.10 Balance del compresor. | 75 |
| 4.1.11 Protección para el compresor. | 76 |
| 4.1.13 Ubicación del compresor. | 77 |
| 4.1.14 Aislantes. | 77 |
| 4.2 CONDENSADOR | 78 |
| 4.2.1 Selección del condensador. | 78 |
| 4.2.2 Balance del condensador. | 81 |
| 4.2.3 Control de velocidad de los ventiladores del condensador. | 83 |
| 4.2.4 Ubicación del condensador. | 84 |
| 4.4 SISTEMA DE EXPANSION | 85 |
| 4.4.1 Selección de la válvula de expansión termostática. | 85 |
| 4.4.2 Protecciones de la válvula de expansión. | 86 |
| 4.4.3 Ubicación del sistema de expansión. | 87 |
| 4.5 EVAPORADOR | 87 |
| 4.5.1 Selección del evaporador. | 87 |
| 4.5.2 Balance del evaporador. | 89 |
| 4.5.3 Ubicación del evaporador. | 91 |
| 4.6 TUBERIA | 91 |
| 4.6.1 Materiales. | 91 |
| 4.6.2 Tramo 1. | 91 |
| 4.6.3 Tramo 2. | 95 |
| 4.6.4 Tramo 3. | 96 |
| 4.6.5 Tramo 4. | 97 |
| 4.6.6 Válvulas de seguridad. | 98 |
| 4.7 REFRIGERANTE | 99 |
| 4.7.1 Carga de refrigerante para el sistema. | 99 |
| 4.7.2 Proceso de compra del refrigerante. | 101 |
| 4.7.3 Control de fugas de refrigerante. | 102 |
| 4.7.4 Propiedades físicas del amoniaco. | 103 |
| 4.7.5 Composición química y pureza del amoniaco. | 104 |
| 4.8 SISTEMA DE CONTROL | 104 |

| | |
|--|-----|
| 4.9 SISTEMA DE DETECCION DE FUGAS Y ALARMAS | 106 |
| 4.9.1 Puntos de instalación de los sensores de amoniaco. | 108 |
| 4.10 SISTEMA DE RENOVACION DEL AIRE | 110 |
| 4.10.1 Recomendaciones de diseño. | 114 |
| 4.11 CALCULO A NIVEL NACIONAL | 114 |
| 4.12 BALANCE DEL SISTEMA | 116 |
| | |
| 5. MANUALES | 118 |
| 5.1 INSTALACION | 118 |
| 5.1.1 Control de fugas. | 122 |
| 5.1.2 Recomendaciones. | 122 |
| 5.2 OPERACIÓN | 122 |
| 5.2.1 Paso a paso inicio. | 123 |
| 5.2.2 Paradas programadas durante el funcionamiento. | 126 |
| 5.2.3 Paradas no realizadas por el operario. | 126 |
| 5.2.4 Durante el funcionamiento. | 127 |
| 5.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO | 127 |
| 5.3.1 Compresor. | 127 |
| 5.3.2 Condensador y evaporador. | 130 |
| 5.3.3 Válvula de expansión. s; | 133 |
| 5.3.4 Tubería. | 134 |
| 5.4 MANUAL DE SEGURIDAD | 136 |
| 5.4.1 Operario. | 136 |
| 5.4.1.3 Parada de emergencia. | 138 |
| 5.4.2 Mantenimiento. | 139 |
| 5.4.3 Fugas. | 139 |
| | |
| 6. EVALUACION DE CUMPLIMIENTO | 140 |
| 6.1 PROCESOS Y AMBIENTES | 140 |
| 6.2 DESEMPEÑO DE EQUIPOS | 145 |
| 6.2.1 Capacidades térmicas. | 145 |
| 6.3 INFRAESTRUCTURA DE EQUIPOS | 146 |
| 6.4 VALORACION DE LA CADENA DE FRIO EN LA PLANTA DE SACRIFICIO | 148 |
| | |
| 7. EVALUACION AMBIENTAL | 150 |
| 7.1 PARAMETROS DE EVALUACION | 150 |
| 7.1.1 Alcance (A). | 150 |
| 7.1.2 Probabilidad (P). | 150 |
| 7.1.3 Duración (D). | 150 |
| 7.1.4 Recuperabilidad (R). | 151 |
| 7.1.5 Cantidad (C). | 151 |
| 7.1.6 Normatividad (N). | 151 |
| 7.2 EVALUACION DE EQUIPOS. | 152 |
| 8. ANALISIS FINANCIERO DEL SISTEMA | 153 |

| | |
|---------------------|-----|
| 9. CONCLUSIONES | 156 |
| 10. RECOMENDACIONES | 158 |
| BIBLIOGRAFIA | 159 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Ventajas y desventajas del sistema de refrigeración por compresión | 49 |
| Tabla 2. Ventajas y desventajas sistema de refrigeración por aire forzado | 49 |
| Tabla 3. Ventajas y desventajas sistema de refrigeración por absorción | 50 |
| Tabla 4. Ventajas y desventajas sistema de refrigeración por adsorción | 51 |
| Tabla 5. Ventajas y desventajas sistema de refrigeración por condensador | 52 |
| Tabla 6. Criterios de evaluación | 53 |
| Tabla 7. Ponderación de cada criterio | 54 |
| Tabla 8. Ventajas y desventajas sistema del amoniaco como refrigerante. | 55 |
| Tabla 9. Ventajas y desventajas sistema del refrigerante R-600. | 55 |
| Tabla 10. Ventajas y desventajas sistema del amoniaco como refrigerante. | 55 |
| Tabla 11. Ponderación de cada criterio | 57 |
| Tabla 12. Ventajas y desventajas de condensadores enfriados por aire | 57 |
| Tabla 13. Ventajas y desventajas de condensadores enfriados por agua | 58 |
| Tabla 14. Ventajas y desventajas del condensador evaporativo | 58 |
| Tabla 15. Ponderación de cada criterio | 59 |
| Tabla 16. Ponderación de cada criterio | 60 |
| Tabla 17. Longitudes de la instalación hidráulica | 100 |
| Tabla 18. Propiedades físicas del amoniaco | 103 |
| Tabla 19. Pureza del amoniaco | 104 |
| Tabla 20. Criterios de evaluación | 140 |
| Tabla 21. Valoración de acuerdo a la resolución 242 de 2.013, para el sacrificio | 141 |
| Tabla 22. Valoración de acuerdo a la resolución 240 de 2.013 para el sacrificio | 142 |
| Tabla 23. Valoración de acuerdo al decreto 2278 de 1.982 para el sacrificio | 142 |
| Tabla 24. Valoración del manual de procedimientos del animal | 143 |
| Tabla 25. Tabla de valoración del proceso de sacrificio | 144 |
| Tabla 26. Parámetros de calificación de equipos | 146 |
| Tabla 27. Calificación de equipos | 147 |
| Tabla 28. Resumen de la cadena de frio en el sacrificio | 148 |
| Tabla 29. Porcentaje de cumplimiento, cadena de frio | 149 |
| Tabla 30. Escala de valor | 150 |
| Tabla 31. Escala de valor | 150 |
| Tabla 32. Escala de valor | 151 |
| Tabla 33. Escala de valor | 151 |
| Tabla 34. Escala de valor | 151 |
| Tabla 35. Escala de valor | 151 |
| Tabla 36. Costo total del proyecto | 154 |

LISTA DE DIAGRAMA

| | pág. |
|--|------|
| Diagrama 1. Presión- Entalpía R-717 | 61 |
| Diagrama 2. Evolución H Rel/ DT | 62 |
| Diagrama 3. Ciclo frigorífico del sistema de refrigeración, del R-717 | 66 |
| Diagrama 4. Proceso de detección de fugas, según EN378 del 2.006 | 107 |
| Diagrama 5. Instalación de la red neumática | 119 |
| Diagrama 6. Instalación eléctrica | 120 |
| Diagrama 7. Mantenimiento general del sistema | 135 |
| Diagrama 8. Porcentaje de cumplimiento, según normativa para el sacrificio | 145 |
| Diagrama 9. Resumen de la cadena de frío e el sacrificio | 148 |

LISTA DE CUADROS

| | pág. |
|---|------|
| Cuadro 1. Resultados para la selección | 54 |
| Cuadro 2. Resultados para la selección | 56 |
| Cuadro 3. Resultados para la selección | 59 |
| Cuadro 4. Resultados para la selección | 60 |
| Cuadro 5. Datos del ciclo frigorífico | 66 |
| Cuadro 6. Capacidades térmicas del sistema de refrigeración | 145 |
| Cuadro 7. Matriz de valoración de los equipos. | 152 |
| Cuadro 8. Costo de los componentes | 153 |
| Cuadro 9. Horas de trabajo de los proyectistas | 154 |

LISTA DE IMAGENES

| | pág. |
|--|------|
| Imagen 1. Razas de bovinos según los pisos térmicos | 27 |
| Imagen 2. Proceso de transformación | 33 |
| Imagen 3. Cajón de aturdimiento | 34 |
| Imagen 4. División de la canal | 36 |
| Imagen 5. Componentes del sistema | 40 |
| Imagen 6. Dimensiones del espacio | 45 |
| Imagen 7. Sistema de refrigeración por compresión de vapor | 48 |
| Imagen 8. Sistema de refrigeración por aire forzado | 49 |
| Imagen 9. Sistema de refrigeración por absorción | 50 |
| Imagen 10. Sistema de refrigeración por adsorción | 51 |
| Imagen 11. Sistema de refrigeración por condensador evaporativo | 52 |
| Imagen 12. Condensador enfriado por agua | 57 |
| Imagen 13. Pistones Bitzer Vs Pistones otras marcas | 73 |
| Imagen 14. Ficha técnica del compresor | 74 |
| Imagen 15. Otros datos técnicos del compresor seleccionado | 74 |
| Imagen 16. Control por etapas para el compresor | 76 |
| Imagen 17. Inyección de líquido con válvula motorizada | 77 |
| Imagen 18. Selección del condensador | 79 |
| Imagen 19. Características, información técnica y dimensiones del condensador | 80 |
| Imagen 20. Funcionamiento del condensador enfriado por aire | 81 |
| Imagen 21. Control de los ventiladores del condensador | 84 |
| Imagen 22. Sistema de expansión | 85 |
| Imagen 23. Datos técnicos válvula de expansión termostática | 86 |
| Imagen 24. Solenoide EVRA 40 | 86 |
| Imagen 25. Factor de corrección del R-717 | 88 |
| Imagen 26. Datos comunes del evaporador | 89 |
| Imagen 27. Tabla de cedula de materiales | 92 |
| Imagen 28. Tubería | 94 |
| Imagen 32. Ubicación estratégica de los termostatos en la planta | 105 |
| Imagen 33. Ubicación estratégica de los presostatos (P2, P3 y P4) en la planta | 105 |
| Imagen 34. Costo relativo del sensor | 107 |
| Imagen 35. Detector de gas | 109 |
| Imagen 36. Sensor electroquímico | 109 |
| Imagen 37. Clasificación de la limpieza del aire por concentración de partículas | 110 |
| Imagen 38. Diferencia de cuartos limpios | 111 |
| Imagen 39. Clase de ISO | 113 |
| Imagen 40. Matriz de diseño detallado | 115 |

| | |
|--|-----|
| Imagen 41. Ciclo de Refrigeración | 116 |
| Imagen 42. Conexiones evaporador | 121 |
| Imagen 43. Montaje del evaporador | 121 |
| Imagen 44. Niveles del compresor | 123 |
| Imagen 45. Válvulas de seguridad | 123 |
| Imagen 46. Conexión de equipos a red eléctrica | 124 |
| Imagen 47. Arrancador del compresor | 124 |
| Imagen 48. Interruptor de encendido y | 125 |
| Imagen 49. Regulador de presión | 126 |
| Imagen 50. Inspección correa en V | 128 |
| Imagen 51. Empaques del compresor | 129 |
| Imagen 52. Sellos mecánicos | 130 |
| Imagen 53. Lavado del condensador | 131 |
| Imagen 54. Lavado del evaporador | 132 |
| Imagen 55. Placas dañadas | 132 |
| Imagen 56. Aspa rota | 133 |
| Imagen 57. Bulbo remoto de | 134 |
| Imagen 58. Tubería en mal estado | 135 |
| Imagen 59. Implementos de seguridad para los operarios de mantenimiento. | 137 |
| Imagen 60. Implementos de seguridad para el operario de planta | 138 |
| Imagen 61. Válvulas de emergencia. | 138 |
| Imagen 62. Estado óptimo de los equipos | 139 |

LISTA DE ECUACIONES

| | pág. |
|---|------|
| Ecuación 1. Temperatura de condensación | 60 |
| Ecuación 2. Temperatura evaporación refrigerante | 62 |
| Ecuación 3. Relación de compresión | 64 |
| Ecuación 4. Trabajo del compresor | 67 |
| Ecuación 5. Producción frigorífica específica | 67 |
| Ecuación 6. Caudal masico | 68 |
| Ecuación 7. Volumen de refrigerante aspirado por el compresor | 68 |
| Ecuación 8. Volumen barrido | 69 |
| Ecuación 9. Volumen barrido | 69 |
| Ecuación 10. Rendimiento volumétrico | 70 |
| Ecuación 11. Trabajo de compresión | 70 |
| Ecuación 12. Potencia teórica de compresión | 71 |
| Ecuación 13. Potencia real para la compresión | 71 |
| Ecuación 14. Rendimiento indicado | 72 |
| Ecuación 15. Potencia del motor eléctrico | 72 |
| Ecuación 16. Tasa de transferencia de energía neta | 75 |
| Ecuación 17. Sustituciones ecuación 21 | 75 |
| Ecuación 18. Despeje de la potencia del compresor | 76 |
| Ecuación 19. Potencia del condensador | 78 |
| Ecuación 20. Capacidad nominal el condensador | 79 |
| Ecuación 21. Trabajo de los ventiladores | 81 |
| Ecuación 22. Balance por equipos | 82 |
| Ecuación 23. Flujo másico amoniaco | 82 |
| Ecuación 24. Desarrollo del balance de energía | 82 |
| Ecuación 25. Trabajo en la entrada | 83 |
| Ecuación 26. Balance por equipos | 89 |
| Ecuación 27. Flujo masico amoniaco | 90 |
| Ecuación 28. Desarrollo del balance de energía | 90 |
| Ecuación 29. Trabajo en la entrada | 90 |
| Ecuación 30. Presión hidrostática | 92 |
| Ecuación 31. Cálculo de Reynolds | 93 |
| Ecuación 32. Factor de fricción para flujo turbulento | 94 |
| Ecuación 33. Ecuación de Darcy | 95 |
| Ecuación 34. Cálculo de presión | 95 |
| Ecuación 35. Cálculo de cantidad de refrigerante | 99 |
| Ecuación 36. Tiempo de recuperación | 113 |
| Ecuación 37. Concentración de partículas | 113 |
| Ecuación 38. Calor del condensador | 116 |

| | |
|--|-----|
| Ecuación 39. Tasa de rechazo de calor del refrigerante | 117 |
| Ecuación 40. Coeficiente de desempeño | 117 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|---|------|
| Anexo A. Matriz de impacto ambiental | 162 |
| Anexo B. Cotizacion compresor | 163 |
| Anexo C. Cotizacion condesnador | 164 |
| Anexo D. Cotizacion evaporador | 165 |
| Anexo E. Valvula de expansion | 166 |
| Anexo F. Hoja de mantenimiento | 167 |
| Anexo G. Fallas en los equipos | 169 |
| Anexo H. Hoja de vida de los equipos | 171 |
| Anexo I. Carta psicometrica a la altura de Bogota | 172 |
| Anexo J. Ficha de seguridad R-717 (Amoniaco) | 173 |
| Anexo K. Planos de ubicación e instalacion | 174 |

RESUMEN

El diseño del sistema de refrigeración para una planta de sacrificio de ganado bovino se realizó con base en los resultados obtenidos, en el proyecto de grado que lleva como nombre “Evaluación técnica de la cadena de frío en la producción de carne bovina en Colombia, para ACAIRE”.¹ En este proyecto de grado se evidenció que el desempeño de máquina más bajo en la cadena de frío fue el del proceso de sacrificio.

Se empezó a realizar un proceso de investigación con la empresa de soporte técnico ACAIRE, para el desarrollo del trabajo de grado.

En la ejecución del proyecto de grado se efectuó una evaluación inicial del proceso de sacrificio, se realizó las medidas de temperatura y cargas térmicas en los equipos de refrigeración que intervienen en el proceso.

Una vez teniendo los resultados, se inició a evaluar el desempeño en el proceso.

Finalmente se realizó un diseño en el cual se logró aumentar el desempeño de máquina en el proceso de sacrificio de ganado bovino.

Palabras clave: Sistema de refrigeración, Planta de sacrificio, Ganado bovino, cadena de frío.

¹ CALVO, Santiago y BARRERA Juan; Evaluación técnica de la cadena de frío en la producción de carne bovina en Colombia, para ACAIRE; Trabajo de grado para optar al grado de Ingeniería Mecánica; Bogotá D.C.; Universidad de América, 2018.

ABSTRACT

The design of the refrigeration system for a cattle slaughtering plant was made based on the results obtained, in the degree project that bears the name "Technical evaluation of the cold chain in beef production in Colombia, for ACAIRE. " In this degree project it was evidenced that the performance of the lowest machine in the cold chain was that of the slaughter process.

A research process was started with the technical support company ACAIRE, for the development of the degree work.

In the execution of the degree project, an initial evaluation of the slaughter process was carried out, temperature measurements and thermal loads were carried out on the refrigeration equipment that intervenes in the process.

Once having the results, began to evaluate the performance in the process.

Finally, a design was carried out in which the performance of the machine in the slaughter process of cattle was achieved.

Key words: Cooling system, slaughter plant, cattle, cold chain.

INTRODUCCION

En la actualidad, las plantas de beneficio, tienen un bajo cumplimiento en la cadena de frio, también un bajo desempeño en el sacrificio de la res. La *importancia* de mejorar el proceso mencionado anteriormente, es que el porcentaje de la cadena frio se verá mejorado desde que inicia. Es decir, en el proceso de sacrificio, se podrá dar una mayor cobertura porcentual al cumplimiento de la cadena de frio.

La problemática se *origina* de acuerdo a la evaluación técnica de la cadena de frio, analizando los resultados obtenidos, se evidencia que tiene el más bajo desempeño de máquina es el proceso de sacrificio.

El principal *objetivo* es el diseño de un sistema de refrigeración para una planta de sacrificio de ganado bovino de acuerdo con la normativa técnica, para ACAIRE, el cual se realizará de la forma descrita a continuación;

- ✓ Diagnosticar la situación actual de las plantas de sacrificio de bovinos
- ✓ Establecer los parámetros funcionales
- ✓ Determinar el diseño conceptual y alternativas de diseño
- ✓ Realizar el diseño de los sistemas de refrigeración
- ✓ Elaborar los planos de ubicación e instalación del sistema de refrigeración
- ✓ Desarrollar manuales de instalación, operación, mantenimiento y seguridad
- ✓ Evaluar el impacto ambiental del proyecto
- ✓ Analizar financieramente el proyecto

Para el *alcance* del proyecto se tendrán en cuenta únicamente plantas de beneficio o sacrificio de ganado bovino, con esto se tendrá un mayor cumplimiento de la cadena de frio y a toda la normativa técnica, la cual se podrá observa en el desarrollo de este proyecto.

La *metodología* que se utilizó para la elaboración del proyecto está implícita en los objetivos específicos, los cuales se plantearon de tal forma que se pueda cumplir con los requisitos y requerimientos del proyecto. También se realizó un cronograma de trabajo el cual permite establecer el tiempo estimado para el desarrollo de los objetivos específicos mencionados anteriormente.

El proyecto tiene un *significado* de establecerá a la industria de las carnes y al inicio de la cadena de frío unos parámetros básicos de diseño, instalación, operación, mantenimiento y seguridad. También este proyecto busca mejorar la eficiencia de maquina en el proceso de sacrificio.

El significado de este proyecto es aportar un mejor sistema de refrigeración a las plantas de beneficio. Se buscará con este proyecto mejorar considerablemente la cadena de frío de la carne de ganado bovino y cumplir con la normativa técnica nacional e internacional y con las buenas prácticas de ingeniería en los procesos de mantenimiento.

1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La Asociación Colombiana de Acondicionamiento del Aire y Refrigeración - ACAIRE,² se creó legalmente en el año de 1.981. Desde entonces ha venido representando al sector de acondicionamiento de aire, refrigeración y ventilación en Colombia. ACAIRE desarrolla ferias internacionales, capacitaciones, seminarios y demás eventos para las buenas prácticas de refrigeración.

La asociación tiene como misión “Promover el conocimiento, la responsabilidad y honestidad en la aplicación de la ingeniería y la tecnología de refrigeración, ventilación y climatización, mediante la actividad asociativa, impulsando el bienestar, la competitividad y el crecimiento de sus asociados y contribuyendo con el desarrollo de todos los sectores económicos que conforman el país”. Y como visión, “Fortalecer a nivel nacional e internacional el sector de refrigeración, ventilación y climatización, con una estructura incluyente y participativa, fomentando la ética, la solidaridad gremial y la responsabilidad social”.³

ACAIRE, en una de sus líneas de investigación presenta el capítulo denominado Cadena de Frio el cual busca integrar y dar cumplimiento de toda la logística del mismo desde la producción, hasta el cliente final. Por medio de éste, se busca promover el desarrollo, actualización, certificación y capacitación en las normas relacionadas con la cadena de frio.

El capítulo tiene como misión. “Promover e incentivar la investigación dirigida al desarrollo normativo y tecnológico, que propenda por la ejecución de buenas prácticas en las actividades inherentes a la cadena de frio y la divulgación del conocimiento, mediante la actividad asociativa, orientada a procesos saludables y al desarrollo económico de la industria en Colombia”. Y como visión, “Para el año 2.025, ser referente nacional en el desarrollo normativo y tecnológico de las actividades de la cadena de frio en los procesos alimenticios, salud industrial”.⁴

² ASOCIACION COLOMBIANA DE ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE Y DE LA REFRIGERACION. [sitio web]. Bogotá: ACAIRE, Historia. [Consulta: 23 noviembre 2018]. Disponible en: <https://acaire.org/historia/>.

³ ASOCIACION COLOMBIANA DE ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE Y DE LA REFRIGERACION. [sitio web]. Bogotá: ACAIRE. Misión y visión de la asociación. [Consulta: 23 noviembre 2018]. Disponible en: <https://acaire.org/valor-corporativo>

⁴ ASOCIACION COLOMBIANA DE ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE Y DE LA REFRIGERACION. [sitio web]. Bogotá: ACAIRE. Misión y visión Capitulo Cadena de Frio. [Consulta: 23 noviembre 2018]. Disponible en <https://acaire.org/capitulos>

1.1 GANADO BOVINO

El ganado bovino o vacuno, se usaba en la antigüedad como animal de tiro, jalando arados o vehículos con ruedas.⁵ Luego el hombre fue domesticando y criando estos animales, con un fin específico (producción de carne o leche y sus derivados). Las etapas importantes del ganado son⁶: la crianza, tiene una duración de 18 meses aproximadamente; se da por finalizado el proceso cuando el ganado alcanza los 350 kg. Se continúa con el proceso de engorde que va desde los 19 meses hasta los 36 meses aproximadamente; este finaliza cuando el ganado alcanza el proceso de engorde cuando el animal alcanza los 450 kg, como mínimo.

En Colombia se presentan diferentes clases de ganado bovino debido a la variedad de pisos térmicos y vegetación que se genera y desarrolla en ellos.

Colombia cuenta con variedad de paisajes y climas, ya que está ubicado geográficamente sobre la cordillera de los andes, esto permite encontrar diferentes alturas sobre el nivel del mar o pisos térmicos y con esto tener una diversidad de fauna, flora y para este caso de ganado bovino.⁷

1.1.1 Piso térmico cálido. Se encuentra ubicado sobre alturas de 0 a 1.000 msnm, tienen una temperatura entre 25°C a 30° C, son 913.000 km^2 . Es decir, el 80% del territorio colombiano. A dicha altura se encuentran razas cebuinas como: Brahman, Guzerá, Gyr, y sus cruces. Ver imagen 1.

1.1.2 Piso térmico templado. Se encuentra ubicado sobre alturas de 1.001 a 2.000 msnm, tienen una temperatura entre 17°C y 24°C, son 114.000 km^2 . Es decir, el 10% del territorio colombiano. A dicha altura se encuentra la raza Simmental, la cual se destaca por tener el doble propósito, Simbrah, Ayrshire, Blancon Orejinegro (BON) y sus cruces. Ver imagen 1.

1.1.3 Piso térmico frío. Se encuentra ubicado sobre alturas de 2.001 a 3.000 msnm, tienen una temperatura entre 12°C y 17°C, son 93.000 km^2 . Es decir, el 7,9% del territorio colombiano. A dicha altura se encuentran los Holstein, Normando. Ver imagen 1.

⁵ VIEDA, Alex. Diseño de una planta de beneficio de ganado bovino para el municipio de El Reten del departamento del Magdalena. Trabajo de grado Ingeniero de Alimentos. Bogotá D.C. Universidad de la Salle. Facultad de ingenierías. 2016. p 15.

⁶ FOSECA, Pedro. [sitio web]. Bogotá: CONTEXTO GANADERO, Una lectura rural de la realidad colombiana. Así funcionan los ciclos productivos de las ganaderías. [consulta: 23 noviembre 2018]. Disponible en <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/informe-asi-funcionan-los-ciclos-productivos-de-las-ganaderias>

⁷ CONTEXTO GANADERO. [sitio web]. Bogotá: CONTEXTO GANADERO, Una lectura rural de la realidad colombiana. Qué tipo de raza bovina deberían tener de acuerdo al piso térmico. [consulta: 23 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/que-tipo-de-raza-bovina-deberia-tener-de-acuerdo-al-piso-termico>

1.1.4 Piso térmico paramo. Se encuentra ubicado sobre alturas de 3.001 a 4.000 msnm, tienen una temperatura entre 6°C a 12°C, son 23.000 km². Es decir, el 2,1% del territorio colombiano. A dicha altura se encuentran razas como la mencionada anteriormente, normado, la cual se sitúa muy bien entre 1.800 hasta los 4.200 msnm. También se encuentra ganado como Ayrshire o Holstein. Ver imagen 1.

Imagen 1. Razas de bovinos según los pisos térmicos



Fuente: Elaboración propia con base en CONTEXTO GANADERO. [sitio web]. Bogotá: CONTEXTO GANADERO, Una lectura rural de la realidad colombiana. Qué tipo de raza bovina deberían tener de acuerdo al piso térmico. [consulta: 23 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/que-tipo-de-raza- -bovina-deberia-tener-de-acuerdo-al-piso-termico>

1.2 PLANTAS DE SACRIFICIO

La planta de beneficio (también se le denomina planta de sacrificio) se define como el lugar donde sacrifican los animales para el consumo humano.⁸

Por medio del Decreto 1500 de 2.007⁹ (Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos

⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VIGILANCIA DE MEDICAMENTOS Y ALIMENTOS. Plantas de beneficio, desposte, desprese y acondicionadores que cumplen con los requisitos sanitarios exigidos en el decreto 1500 de 2007, decreto 2270 de 2012 y resoluciones reglamentarias. En: INVIMA. [sitio web]. Bogotá: INVIMA. [consulta: 23 noviembre 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <https://www.invima.gov.co/plantas-de-beneficio-animal.html#establecimientos-autorizados>

⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Decreto 1500. (4, mayo, 2007). Por el cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el sistema oficial de inspección, vigilancia y control de la carne y los productos cárnicos comestibles y derivados cárnicos destinados para el consumo humano y los requisitos sanitarios y de inocuidad que se deben cumplir en su producción primaria, beneficio, desposte, desprese, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, expendio, importación o exportación.

Destinados para el Consumo Humano y los requisitos sanitarios y de inocuidad que se deben cumplir en su producción primaria, beneficio, desposte, desprese, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, expendio, importación o exportación), se establece que las plantas deben cumplir con un mínimo de normas para las correctas prácticas de refrigeración de los productos cárnicos, con ello se conservando la cadena de frío y humedad relativa. El Decreto busca reducir las Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA) y mejorar las prácticas en la producción.

El decreto 2278 de 1.998¹⁰ (sacrificio de animales de abasto público para consumo humano y el procesamiento, transporte y comercialización de su carne), establece algunas condiciones que se mencionan a continuación, para la correcta construcción y mantenimiento de una planta de beneficio de ganado bovino.

En las plantas de beneficio deben estar las áreas de protección sanitaria separadas del resto del ambiente como circunvecinas o aledañas.¹¹

Las plantas de beneficio deben tener un cerco perimetral construido en ladrillo, malla fuerte o cualquier otro material que impida el acceso de personas ajenas al establecimiento, con una altura mínima de dos (2) metros. Las puertas deben permanecer cerradas para tener un adecuado control. Las vías de acceso, zonas de cargue y descargue; deben estar debidamente pavimentadas o asfaltadas, contando con drenajes.¹²

Los corrales deben estar separados según la especie de cada animal y deben estar separados a una distancia conveniente no estipulada en el decreto y con un material lavable e impermeable. La condición que se establece en el mismo es que los vientos predominantes no conduzcan los olores o polvo de la sala de beneficio a los corrales. Deben tener como mínimo 2,5x1,2 metros por cabeza de ganado bovino.¹³

Los corrales deben consumir hasta 5 vatios de energía eléctrica por metro cuadrado. Deben tener bebederos independientes construidos en concreto o material higiénico sanitario; con bordes redondos. El baño del ganado en pie debe estar ubicado después del corral de sacrificio y antes del pasillo que conduce al cajón de aturdimiento. El baño se hace con tubos perforados a lo largo del pasillo el cual permite llegar a las diferentes partes del cuerpo. Se compone de un sistema

[en línea]. [consulta: 23 noviembre 2018]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1500_2007.pdf

¹⁰ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Por el cual se reglamenta parcialmente el título V de la ley 9 de 1979 en cuanto al sacrificio de animales de abasto público para consumo humano el procesamiento transporte y comercialización de su carne. [en línea]. [consulta: 23 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.invima.gov.co/images/pdf/participacion-ciudadana/PM06-CAT-G92.pdf>

¹¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Op. cit., p 5.

¹² Ibid., p. 11.

¹³ Ibid., p. 11.

de aspersión a presión. Las basculas de ganado en pie, son equipos indispensables en toda planta.¹⁴

1.2.1 Clasificación de plantas. Existen plantas de beneficio, desposte, desprese y acondicionadoras, todas las mencionadas deben registrarse al decreto 1500 de 2.007.

1.2.1.1 Planta de beneficio o sacrificio. Todo establecimiento donde se sacrifican los animales que han sido declaradas como aptas para el consumo humano.¹⁵

1.2.1.2 Planta de desposte. Es el lugar en el cual se le realiza el deshuese (la separación de la carne del hueso) y la separación de la carne en cortes o patas.¹⁶

1.2.1.3 Planta de desprese. Son los encargados de realizar todas las operaciones relacionadas con corte, fraccionamiento, lavado, molido, fileteado, empaque, acondicionamiento o actividades similares realizadas a la carne y los productos cárnicos.¹⁷

1.2.1.4 Establecimiento acondicionadora. Las plantas acondicionadoras es el encargado de realizar una o varias operaciones de corte, fraccionamiento, lavado, molido, fileteado, empaque o actividades similares realizadas a la carne y productos cárnicos.¹⁸

Las salas de sacrificio deben tener las áreas totalmente delimitadas. Estas áreas o zonas son: Zona sucia, intermedia y limpia de un matadero.

1.2.2 Tipo de planta de sacrificio. Existen dos tipos de plantas de sacrificio de ganado bovino, avaladas por el INVIMA.

1.2.2.1 Planta de sacrificio animal de categoría nacional. Estas plantas deben cumplir con requisitos especiales determinados por el INVIMA y el decreto 1500 de 2.007, tiene capacidad de exportar carne con el estricto cumplimiento de la normativa técnica.¹⁹

1.2.2.2 Planta de sacrificio animal de categoría de autoconsumo. Son las plantas más pequeñas que las mencionadas anteriormente; tienen una capacidad de máximo 15 reses por día.

¹⁴ Ibid., p. 11.

¹⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VIGILANCIA DE MEDICAMENTOS Y ALIMENTOS. Op. cit., p. 1.

¹⁶ Ibid., p. 1.

¹⁷ Ibid., p. 1.

¹⁸ Ibid., p. 1.

¹⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Op. cit., p. 15.

1.2.3 Zonas de la planta de sacrificio. En las plantas de beneficio deben estar las áreas de protección sanitaria separadas del resto del ambiente como circunvecinas o aledañas. Las zonas necesarias dentro de la planta de sacrificio son:

- ✓ Área de protección sanitaria
- ✓ Vías de acceso, zonas de cargue y descargue
- ✓ Corrales de llegada, sacrificio y observación
- ✓ Zona de lavado y desinfección de vehículos
- ✓ Bascula y baño de ganado en pie
- ✓ Sala de sacrificio, deshuese, empaque
- ✓ Cuarto de máquinas, calderas, compresores
- ✓ horno crematorio
- ✓ Salas de necropsia
- ✓ Sistemas aéreos para sacrificio y faenamiento
- ✓ Sala aislada para lavado y preparación de vísceras
- ✓ Sala refrigerada.

La planta de beneficio debe contar con características especiales (Localización, acceso, diseño, construcción, drenajes, ventilación, iluminación, instalaciones sanitarias).²⁰

1.2.3 Materiales empleados para la construcción de plantas de sacrificio. Los materiales usados en el sistema de refrigeración de una planta de beneficio deben tener una alta conductividad térmica. Usan el amoníaco como refrigeración.²¹

Los materiales usados en la construcción de las plantas de beneficio deben ser materiales higiénicos, sanitarios, impermeables, lisos no tóxicos, no absorbente y resistente a la acción de los químicos abrasivos utilizados en procedimientos de limpieza y desinfección. Están estipulados en el decreto 2278 de 1.982²² y el decreto 1500 de 2.007.²³

²⁰ Ibid., p 13.

²¹ Ibid., p 8.

²² INSTITUTO NACIONAL DE VIGILANCIA DE MEDICAMENTOS Y ALIMENTOS. Op. cit., p. 2.

²³ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Op. cit., p. 8.

1.2.4 Productividad y rendimiento. Colombia cuenta con más de 20.000.000 de cabezas de ganado y 30.000.000 de hectáreas en pasto.²⁴

El 80% de los ganaderos en Colombia tienen menos de 50 animales.²⁵ También asegura que el 45% de las fincas tiene menos de 10 animales. Con los datos obtenidos por este estudio se aprecia que la ganadería genera el 19% del empleo agropecuario rural y cerca del 6% del empleo total nacional.

Colombia sacrifica más de 4.162.000 de cabezas de ganado al año, 60% machos y 40% hembras. Del año 2.000 se ha mantenido en más de 3.000.000 cabezas de ganado al año.²⁶

Se tiene como base en el diseño de productividad y rendimiento los datos de la planta Guadalupe y San Martín ambas ubicada en Bogotá, ya que juntas sacrifican cerca de 2.000 reses, lo que representa el 24% de la demanda de carne en Bogotá.²⁷

1.2.5 Recomendaciones de la normativa técnica. Las normas colombianas explican las necesidades que deben suplir las plantas de sacrificio.

Las salas de sacrificio no deben tener comunicación con el cuarto de máquinas u otras áreas que puedan contaminar la carne que se procesa. Deben construirse en material no poroso, impermeable y antideslizante, deben estar dotadas de sifones y canaletas de desagüe. Con un declive en el piso del 15% al 30%.²⁸

Las paredes, ventanas, puertas y techos deben estar dotadas con material higiénico sanitario, lavable, resistente a los golpes y de color claro. Las terminaciones entre el piso, las paredes y el techo no deben formar ángulos rectos, esto evitando que no se acumule o propaguen bacterias. Los lavaderos deben tener lavado de manos accionados por pedal. Con suministro de agua caliente y agua fría.²⁹

²⁴ INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. [sitio web]. Bogotá D.C.: ICA. Censo pecuario nacional 2017. [consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2017.aspx>

²⁵ EL ESPECTADOR. [en línea]. 3.000 ganaderos colombianos que frenan el cambio climático. Bogotá: el espectador. [consulta: 25 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.elspectador.com/noticias/medio-ambiente/3000-ganaderos-colombianos-que-frenan-el-cambio-climatico-articulo-752992>

²⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION Y LAS COMUNICACIONES. [sitio web]. Bogotá D.C.: MINTIC, Estadísticas sector agropecuario ganado bovino. [consulta: 25 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Estadisticas-sector-agropecuario-ganado-bovino-/6mhr-msap>

²⁷ FRIGORIFICO GUADALUPE. [sitio web]. Bogotá D.C.: Feria ganadera. [consulta: 25 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.efege.com/feria-ganadera.html>

²⁸ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Op. cit., p. 22.

²⁹ Ibid., p. 22.

Las salas de oreo deben ser independientes al salón de deshuese y cuarteo, no deben superar las temperaturas de 12°C, la capacidad de refrigeración no debe ser inferior al volumen máximo de sacrificio diario.³⁰

La planta de beneficio debe contar con elementos no mencionados anteriormente como: hornos crematorios, procesos para subproductos, almacenamiento de estiércol, sistemas de tratamiento, reservas de agua potable, entre otros.

1.3 PROCESO DE SACRIFICIO

Sacrificio es “el proceso que se efectúa en un animal para el consumo humano al darle muerte, desde la insensibilización hasta su sangría, mediante la sección de los grandes vasos”.³¹

Cuando el animal llega a la planta de beneficio, se deja reposar por aproximadamente 6 horas. Con esto se garantiza que el animal se relaje y cuando sea sacrificado la carne del ganado este suave y sin tensiones, dando un producto de óptima calidad con buenas prácticas de producción.³²

Luego se le debe realizar una inspección ante-mortem, para poder conducir el animal a la caja de aturdimiento, desde que se inicia la inspección ante - mortem se debe tener el control de la temperatura ambiente, la cual debe ser de 6°C,³³ esta temperatura se garantiza desarrollando el proceso en las noches.

Cuando el animal pierde el conocimiento se procede a extraerle la sangre, la piel y las patas. Este proceso requiere de un control de temperatura. Luego se realiza la evisceración, en el cual se le extraen las vísceras rojas y blancas al animal.

Cuando se tiene el animal sin vísceras, piel y patas, se debe realizar la inspección post - mortem.³⁴ Si la inspección post - mortem sale aprobada, se realiza una división de canal, se procede a darle la salida de la planta.

La carne de ganado bovino que sale de la planta se garantiza que tiene una temperatura interna y una humedad relativa de acuerdo a la normativa técnica. El

³⁰ Ibid., p. 25.

³¹ QUIROGA Guillermo y ROJAS Carlos. Transporte, sacrificio y faenado de ganado. En: SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. [sitio web]. Bogotá: SENA. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Archivo pdf. Disponible en:

https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/3848/1/transporte_sacrificio_faenado_ganado.pdf

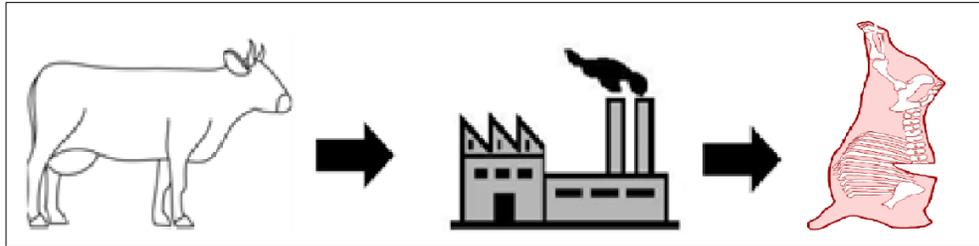
³² AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Refrigeración. Atlanta: The association, 2014. c. 30. CAMBIAR A 15.3

³³ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto 2278. (2, agosto, 1982). Por el cual se reglamenta parcialmente el título V de la ley 09 de 1970 en cuanto animales de abasto público o para el consumo humano y el procesamiento, transporte y comercialización de su carne. Bogotá D.C.

³⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Op. cit., p. 24.

producto cárnico en este punto está listo para que sea porcionado y empacado al vacío, con una excelente presentación y calidad al cliente final.

Imagen 2. Proceso de transformación



Fuente: elaboración propia

A continuación, se explicará el proceso con el nombre y definición técnica.

1.3.1 Inspección ante mortem. En la inspección ante- mortem se revisan los documentos (procedencia, número de animales, lote, especie, identificación, certificado de vacunación).³⁵ También se evalúa a los animales en movimiento y se diagnostican lesiones por medio de un examen veterinario completo.

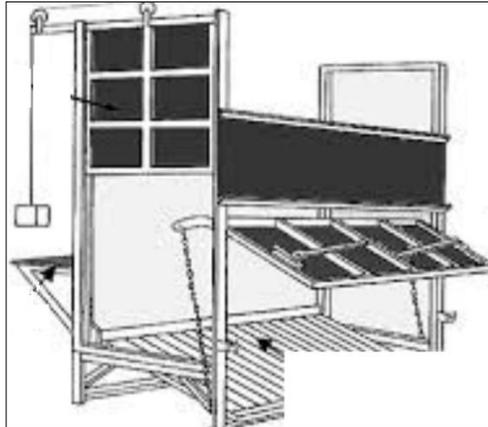
Con una correcta inspección ante mortem se dictamina si se el animal puede ser sacrificado de bajo precauciones especiales o de emergencia, se pueden decomisar o aplazar el sacrificio del mismo o la autorización directa para el sacrificio.

1.3.2 Aturdimiento y sangrado. Se procede a conducir al animal al cajón de aturdimiento; allí es donde se efectúa la pérdida de conocimiento del animal. Se realiza con una pistola neumática la cual se encarga de neutralizarlo totalmente con un disparo muy preciso en la cabeza.³⁶

³⁵ AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Op. cit. p. 30.1.

³⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Op. cit., p. 22.

Imagen 3. Cajón de aturdimiento



Fuente: LA VANGUARDIA. [sitio web]. Bogota: LA VANGUARDIA. [consulta: 1diciembre 2018]. Pagina web. Disponible:<https://www.lavanguardia.com/natural/20190326/461253640680/maltrato-animal-denuncia-equalia-matadero-avila-cortan-patas-vacas-conscientes.html>

La caja de aturdimiento está diseñada de tal forma que cuando el animal pierde el conocimiento, va a caer sobre una puerta la cual con el peso del animal se va abrir; esta puerta tiene un sistema el cual permite que cuando el animal caiga se le puedan colocar las patas del animal sobre un riel elevado; permitiendo así que el animal por medio de un gancho metálico sanitario se transporte dentro de la planta.³⁷

Luego entonces, se procede a realizar el degollamiento del animal. La sangre extraída del animal, se debe dejar en tanques de cemento, previamente identificados por el operario.

1.3.3 Eliminación de la piel y patas del animal. Se debe realizar con un control de la temperatura ambiente, y la humedad relativa. Se cortan con especial cuidado la piel de la res, esta piel luego es vendida y por medio de procesos químicos y físicos se convierte en los cueros.³⁸ Las patas del animal se extraen de forma normal.

³⁷ AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Op. cit. p. 30.1.

³⁸ Ibid., p. 30.2.

1.3.4 Evisceración. Se debe realizar inmediatamente efectuado el flagelado, se debe terminar antes de los primeros 45 minutos de la muerte del animal. A la res se le extraen todo el sistema digestivo, este proceso debe efectuarse de la mejor manera, ya que de no ser así puede provocar condiciones higiénico-sanitarias.³⁹

Para realizar este proceso la res debe estar suspendido por las extremidades posteriores.

1.3.5 Inspección post mortem. Según la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura establece que la autoridad competente es la encargada de establecer los procedimientos de inspección post mortem.⁴⁰ El código de prácticas de higiene para la carne establece que un sistema de inspección post mortem, debe incluir como mínimo:

- ✓ Confirmación del correcto aturdimiento y desangrado
- ✓ Inspección detallada de las partes comestibles de consumo humano
- ✓ Inspección visual y palpaciones de las partes relevantes y partes no comestibles
- ✓ Otras inspecciones organolépticas rutinarias

La inspección post mortem establece si el producto es apto para el consumo humano, se realiza de modo sistemático, asegurado la inocuidad de los productos cárnicos y la ausencia de enfermedades, bacterias o virus en la carne.

1.3.6 División de la canal. La canal se le denomina al cuerpo de un animal después de sacrificado, degollado, deshuelleado, eviscerado quedando sólo la estructura ósea y la carne adherida a la misma sin extremidades.⁴¹

La división de canal es el proceso en el cual se separa la res en partes (cadera, aguja, morillo, costillas, pecho, falda, lomo, solomillo, entre otros).

³⁹ Ibid., p. 30.1.

⁴⁰ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Op. cit., p. 24.

⁴¹ AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Op. cit. p. 30.3.

Imagen 4. División de la canal



Fuente: LA VANGUARDIA. [sitio web].
Bogotá: LA VANGUARDIA. [consulta:
1diciembre 2018]. Pagina web.
Disponible: [https://www.lavan-
guardia.com/natural/20190326/46125
3640680/maltrato-animal-denuncia-
equalia-matadero-avila-cortan-patas-
vacas-conscientes.html](https://www.lavanguardia.com/natural/20190326/461253640680/maltrato-animal-denuncia-equalia-matadero-avila-cortan-patas-vacas-conscientes.html)

1.4 REFRIGERACION

La refrigeración consiste en extraer la energía térmica de un cuerpo para bajar o mantener el nivel de calor de un cuerpo o espacio. La energía es transmitida de un cuerpo a otro. Según la termodinámica el frío se define como la ausencia de calor.

Los productos cárnicos requieren de una cadena de frío, la cual inicia desde el sacrificio del animal y termina en el cliente final.⁴² Esta cadena de frío se conoce como el proceso de temperatura controlada y está diseñada para evitar la propagación bacteriana y conservar el producto alrededor de 10 a 28 días, con temperaturas de 0°C a 1.5°C y humedad relativa de 90%; garantizando la calidad del producto.⁴³

La humedad relativa mide la cantidad de agua presente en el aire en forma de vapor que se compara con la cantidad de agua máxima que puede ser mantenida a una temperatura dada.⁴⁴

1.4.1 Métodos. Desde la antigüedad se han venido desarrollando diferentes sistemas de refrigeración, desde el abanico hasta los modernos sistemas de acondicionamiento de aire. Todos los métodos tienen el principio de funcionamiento de transferir frío a un foco caliente.

⁴² Ibid, p. 30.1.

⁴³ CALVO, Santiago y BARRERA, Juan. Op. cit., p. 32.

⁴⁴ AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Op. cit. p. 30.5.

A continuación, se mencionan sistemas que se usan, para una planta de sacrificio.

1.4.1.1 Refrigeración por compresión de vapor. El calor se transmite de la cámara de refrigeración a una zona donde pueda eliminar el calor fácilmente. La transferencia de calor se efectúa mediante un fluido refrigerante el cual cambia de estado. Este proceso requiere un compresor y un condensador para la recirculación del fluido refrigerante.⁴⁵

Cuando el fluido refrigerante está en estado de vapor se comprime mecánicamente, de forma que vuelve al estado líquido y vuelve a utilizarse cíclicamente.

Algunos fluidos usados por este método de refrigeración son:

- ✓ Refrigerante R-717 (Amoniac)
- ✓ Refrigerante R-600 (Isobutano)
- ✓ Refrigerante R-744 (CO₂)

1.4.1.2 Refrigeración por aire forzado. Consiste en pasar altos volúmenes de aire frío a alta presión a través del cuerpo o espacio a refrigerar; de esta forma se extrae de forma rápida y uniforme el calor del cuerpo o espacio.⁴⁶

La velocidad de enfriamiento en este método es relativa, dependiendo del diámetro del producto a refrigerar.

1.4.1.3 Refrigeración por absorción. Consiste en sustituir la compresión mecánica del vapor por una absorción, en una disolución, para liberar el vapor de la disolución comprimida debe suministrarse calor. El vapor tiene un recorrido por el absorbedor, el cual es absorbido por una gran cantidad de líquido absorbente, este se produce por medio de una válvula, este aporte de calor genera un aumento de temperatura en la mezcla líquido vapor. Cuando la mezcla se enfría o reduce su temperatura es enviada al generador mediante una bomba para que se destile de nuevo.⁴⁷

Como mezclas de trabajo se suelen usar amoniac y agua, para temperaturas por debajo de los 0°C o bromuro de litio y agua para temperaturas que se encuentre por encima de los 0°C.

El costo energético es menor. Tiene un menor rendimiento comparado con el método de compresión de vapor.

⁴⁵ PITA, Edward. Acondicionamiento de aire: principios y sistemas. México: Editorial, 2002. p. 20. ISBN: 968-261-247-0

⁴⁶ Ibid., p. 21.

⁴⁷ Ibid., p. 21.

1.4.1.4 Refrigeración por adsorción. Es un proceso exotérmico, reversible el cual consiste en fijar un gas en un material poroso. Este sólido se denomina adsorbente el gas se llama material adsorbato.⁴⁸

1.4.1.5 Refrigeración por condensador evaporativo. El fluido refrigerante elimina el calor por medio del sistema de refrigeración, el exceso de calor se elimina evaporando el agua.⁴⁹

Los condensadores evaporativos tienen un costo mayor que los refrigerantes en seco y son utilizados en grandes sistemas de refrigeración con altas temperaturas del exterior.

1.4.1.6 Refrigeración por vacío. Se evapora el agua descendiendo la presión a baja temperatura, este método permite refrigerar en menor tiempo y con mejor rentabilidad las verduras de hoja; garantizando una refrigeración rápida, uniforme y conservación del alimento.⁵⁰

1.4.1.7 Refrigeración termoeléctrica. Este método de refrigeración se basa en el efecto Peltier, el cual consiste en células Peltier que crean un flujo térmico, que al suministrarles energía ellas devuelven calor. Estas células tienen la capacidad de tener dos caras una de alta temperatura y otra de baja temperatura.⁵¹

En la actualidad su aplicación es reducida, la podemos evidenciar en refrigeradores portátiles para uso doméstico. También tiene un alto costo respecto a los métodos de refrigeración por compresión de vapor o absorción.

1.4.1.8 Refrigeración por chorro de vapor. Es un proceso de refrigeración bastante ineficiente respecto a los métodos de refrigeración por compresión de vapor o absorción. Este método de refrigeración se diferencia de los otros ya que usa un compresor de chorro de vapor y no un compresor mecánico. Por este motivo necesita un suministro diferente de fuente de calor para la generación de frío.⁵²

1.4.1.9 Refrigeración por ciclo de aire. Se usa en temperaturas extremadamente bajas, aproximadamente en 200°C. Consiste en separar el oxígeno y el nitrógeno del aire, ambos en estado gaseoso y se pasan a estado líquido por medio de la licuefacción⁵³.

⁴⁸ Ibid., p. 21.

⁴⁹ Ibid., p. 23.

⁵⁰ Ibid., p. 24.

⁵¹ CENGEL, Yunus. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico. México: McGraw-Hill, 2007. p. 200. ISBN: 978-970-106-173-2

⁵² Foro De internet. Scribd: En la que confía más de 1 millón de miembro. [consultado 30 noviembre 2018; 9:38 AM]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/365226200/Sistemas-de-Aire-Acondicionado-de-Aeronaves>

⁵³ PITA. Op., cit. p. 79.

1.4.2 Importancia de la refrigeración. La carne de bovino hace parte de los productos perecederos, esto quiere decir que son productos que necesitan un proceso de refrigeración, congelación o ultracongelación. La refrigeración de los productos cárnicos se realiza para conservar la cadena de frío y preservar el producto por más tiempo evitando la propagación bacteriana del mismo.⁵⁴

La carne tiene la característica de descomponerse totalmente en cuestión de horas, esta descomposición depende drásticamente de factores como la temperatura ambiente y la humedad relativa. Mas animales que después del sacrificio necesitan refrigeración son corderos, porcinos, avícolas y pescados.

1.4.2.1 Humedad relativa. Se define como la relación entre cantidad de vapor de agua contenida en el aire (humedad absoluta) y la cantidad máxima que el aire sería capaz de contener a esa temperatura (humedad absoluta de saturación).⁵⁵

1.4.2.2 Propagación bacteriana. Se define como la transferencia de bacterias, ya que pueden propagarse de una superficie a otra al entrar en contacto directo o indirecto con el producto.⁵⁶

Las bacterias están presentes en todo el proceso de sacrificio del animal es por ello que se debe tener un especial cuidado en realizar una correcta limpieza a los equipos, materiales, superficies y el ambiente.

La propagación bacteriana depende de factores como la humedad relativa y la temperatura ambiente. Es decir, que si el producto se encuentra en un clima cálido se va a descomponer más rápido que si se encuentra en un clima frío y de igual forma con la humedad relativa.

1.4.2.3 Perdidas de producción. En Colombia no existe una medición de la pérdida y el desperdicio de los alimentos en la cadena productiva.⁵⁷ Sin embargo se dice que las pérdidas en los productos cárnicos se deben más a enfermedades, virus o bacterias de los animales y en un porcentaje más bajo las pérdidas por el incumplimiento de la cadena de frío o propagación bacteriana.

Estudio sobre los productos cárnicos dice que el desperdicio es del 39% y las pérdidas del 61%.⁵⁸

⁵⁴ ORTIZ, Mauricio y REYES, Laura. Importancia de la refrigeración en frutas y hortalizas. En: Scribd Ibagué: Scribd. [consulta: 30 noviembre 2018]. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/3503058/IMPORTANCIA-DE-LA-CADENA-DE-FRIO-EN-FRUTAS-Y-HORTALIZAS>.

⁵⁵ UMAÑA, Eduardo. Conservación de alimentos por el frío. Santa Elena, Salvador. 2010. P 23.

⁵⁶ PROCOLOMBIA. Logística de perecederos y cadena de frío. En: PROCOLOMBIA. [sitio web]. Bogotá: PROCOLOMBIA. [consulta: 2 diciembre 2018]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.procolombia.co/sites/all/modules/custom/mccann/mccann_ruta_exportadora/files/06-cartilla-cadena-frio.pdf

⁵⁷ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. Perdida y desperdicio de alimentos en Colombia. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. [sitio web]. Bogotá: DNP. [Consulta: 10 diciembre 2018]. Archivo pdf. Disponible en: https://mrv.dnp.gov.co/Documentos%20de%20Interés/Perdida_y_Desperdicio_de_Alimentos_en_colombia.pdf

⁵⁸ Ibid., párr. 15.

Una persona consume en promedio 18 kg de carne al año.⁵⁹ En Bogotá esta cantidad de carne es suplida por las plantas de beneficio que están presentes a sus alrededores. Cabe resaltar que ninguna de las plantas de beneficio que se encuentran aledañas a la ciudad, cumplen con los requisitos sanitarios exigidos en el decreto 1500 de 2.007. Las que están presentes en los lugares aledaños a Bogotá, tienen autorización sanitaria provisional de acuerdo a lo establecido en el decreto 1282 de 2.016.

1.4.3 Eficiencia energética (EER). Se define como la eficiencia del refrigerante usado en el sistema con unas condiciones de operación específicas. Por medio del coeficiente de (COP), se puede obtener una eficiencia general de los sistemas de refrigeración.

El coeficiente de rendimiento estacional (SCOP), es la relación entre la demanda del sistema y el consumo de energía eléctrica en un año.

El factor de eficiencia energética estacional (SEER), se define como la eficiencia global del sistema a una temperatura externa. Se calcula de forma anual.

1.5 EQUIPOS USADOS EN EL SISTEMA DE REFRIGERACION

El sistema de refrigeración es el encargado de hacer bajar la temperatura y tener una ausencia de calor, para lograrlo son necesarios algunos componentes indispensables: condensador, evaporador, válvula de expansión, fluido refrigerante, compresor.

De esta forma se compone el sistema de refrigeración básico para electrodomésticos, cámaras frigoríficas, acondicionadores de aire, entre otros.

Imagen 5. Componentes del sistema



Fuente: elaboración propia

Este sistema tiene un funcionamiento básico, el cual consiste en que el fluido refrigerante absorbe el calor latente, con el fin de evaporarse. Luego, el líquido refrigerante es llevado al compresor, el cual aumenta la presión y temperatura.

⁵⁹ Ibid., párr. 19.

El condensador debe quitar el calor y energía que ha adquirido el refrigerante en el proceso y llevar el líquido a la válvula de expansión para que vuelva a realizar de nuevo el ciclo.

El sistema de refrigeración es el encargado de mantener la temperatura conforme a los requerimientos dentro de la planta, por alguno de los métodos mencionados anteriormente. El sistema tiene la capacidad de estar disponible las 24 horas, ya que el mismo está presente en todo el proceso. Desde que se sacrifica la res se debe mantener la temperatura y humedad relativa, para garantizar el cumplimiento de la cadena de frío.

1.5.1 Evaporador. Es el encargo de que el fluido refrigerante absorba el calor del medio a refrigerar. Se desarrolla por la transformación del vapor saturado húmedo en vapor saturado seco.⁶⁰

1.5.2 Compresor. Recupera el fluido y le inyecta una presión al mismo en estado el estado gaseoso, de tal forma que se le pueda extraer el calor absorbido por medio de un fluido frío.⁶¹

1.5.3 Condensador. Su función consiste en llevar el gas al estado líquido quitándole el calor y evacuando por un fluido frío (aire o agua). En otras palabras, el líquido que es obtenido de la condensación se le baja su temperatura.⁶²

1.5.4 Válvula de expansión. Se encarga de dosificar la cantidad exacta de líquido, el cual corresponde al volumen de vapor que es capaz de aspirar el compresor.⁶³

1.5.5 Fluido refrigerante. El refrigerante es un cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo el calor de otro cuerpo o sustancia.⁶⁴

En los inicios se usaba agua pura como fluido refrigerante, a medida de los años se han creado diferentes composiciones, con características químicas y físicas que son diseñados para diferentes cargas térmicas o trabajos.

1.5.6 Mega tendencias globales. Están enfocadas a la disminución de emisiones de CO_2 , amoniaco y el refrigerante HFC (hidrofluorocarbonos) no inflamables. Las industrias se están dirigiendo a realizar los procesos de refrigeración con altas presiones, enfocándose en la eficiencia energética y las bajas emisiones.

1.7 NORMATIVA TECNICA

⁶⁰ PITA, Edward. Op. cit., p. 260.

⁶¹ Ibid., p. 264.

⁶² Ibid., p. 266.

⁶³ Ibid., p. 268.

⁶⁴ Ibid., p. 230.

El INVIMA es la autoridad sanitaria que inspecciona, vigila y controla la etapa de la cadena productiva de la carne, por medio de algunas leyes, resoluciones y decretos;

- ✓ Decreto 1500 de 2.007, sistema de inspección, vigilancia y control de la carne
- ✓ Ley 9 de 1.979, código sanitario nacional
- ✓ Decreto 2270 de 2.012
- ✓ Decreto 2278 de 1.982
- ✓ Resolución 240 de 2.013, requisitos sanitarios para el funcionamiento de las plantas de beneficio animal de las especies bovina, bufalina y porcina
- ✓ Resolución 242 de 2.013, requisitos sanitarios para el funcionamiento de las plantas de beneficio, comercialización, expendio, importación de carne.
- ✓ Decreto 1036 de 1.991, clasificación de los mataderos
- ✓ CONPES 3376 y 3676 de 2.005, inocuidad de la leche y la carne de bovino
- ✓ Decreto 2278 de 1.982, normas y procedimientos de la industria de alimentos
- ✓ Decreto 1282 de 2.016, modelo de almacenamiento geográfico
- ✓ Norma para el diseño seguro de sistemas de refrigeración por amoníaco de circuito cerrado, IAR- ANSI/IAR 2-2.014
- ✓ Ashrae Handbook 2.014, Refrigeration

2. PARAMETROS FUNCIONALES

2.1 PROCESO

Antes de que se inicie el proceso de sacrificio del ganado, en las diferentes zonas, el bovino debe pasar por una báscula y un baño de ganado en pie. Después de que se garantice el paso del animal por dichas zonas es llevado a la sala de sacrificio.

2.1.1 Aturdimiento. Es el proceso en el cual se inmoviliza al animal y se deja inconsciente. Se lleva acabo en el cajón de aturdimiento. Se puede determinar como una muerte rápida por perdida de oxígeno al cerebro.⁶⁵

Se practica por medio de aturdimiento por persecución, eléctrico y gas.

2.1.2 Izado. Es el proceso por el cual el animal se suspende de una pata al riel, puede ser por gancho en material sanitario o un lazo amarrado (poco usado debido a la acumulación bacteriana).⁶⁶

Suspendiendo el bovino en el aire, se previene la contaminación por contacto del mismo con el suelo y facilita el trabajo sobre el bovino al operario.

2.1.3 Degüello. Se le extrae toda la sangre a la res por medio de gravedad, ya que está, queda suspendida o colgada de las patas. Esta sangre es utilizada como materia prima de algunos alimentos.⁶⁷

Los procesos dentro de la zona 1 se realizan en horas de la noche para aprovechar la baja tempera en Bogotá. Es decir que estos procesos necesitan una temperatura ambiente que este controlada, la cual es proporcionada por la ubicación geográfica.

2.1.4 Desprendimiento de partes. Se cortan o extraen las áreas exteriores de la res (Cuernos, orejas, patas, recto, pene, ubre, vulva y cabeza).⁶⁸

La cabeza se debe lavar por nariz y boca a alta presión de agua.

El 100% de la res es utilizado y comercializado (la sangre, las vísceras, la piel, las extremidades y la carne).

2.1.5 Descuerado. Este proceso debe realizar toda la extracción de la piel al animal, por lo general lo hace un operario. En algunos países desarrollados existen

⁶⁵ AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Op. cit. p. 30.1.

⁶⁶ Ibid., Op. cit. p. 30.1.

⁶⁷ Ibid., Op. cit. p. 30.1.

⁶⁸ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Op. cit., p. 16.

maquinas que realizan este proceso y en algunos casos necesitan la ayuda de una persona en el proceso.⁶⁹

2.1.6 Eviscerado. Se extraen todas las vísceras blancas y rojas del animal, cortando el esternón.⁷⁰

2.1.7 Separación de las vísceras blancas y rojas. Se les realiza una inspección post mortem a las vísceras, son separadas y clasificadas entre blancas y rojas, luego se transportan en carros o elevadores.⁷¹

2.1.8 Tenderización. Aumenta la superficie de extracción de las proteínas de la carne y permite una correcta solubilización de la misma. Logrando una buena retención de agua en el producto terminado.⁷²

2.1.9 Limpieza de la canal. Se lava con agua caliente y a alta presión la res completa. Este proceso se realiza cuando solamente queda la carne de bovino, sin vísceras ni piel.

2.1.10 División de la canal de la carne. Se le realizan cortes o separación de las partes de la res (Aguja, pescuezo, morillo, lomo, costillar, aleta, cadera, tapilla, falda, brazuelo, pecho, entre otras).

2.2 OPERACIONES DEL SISTEMA

El sistema de refrigeración va a operar en una altura de 2.640 m.s.n.m. con una temperatura ambiente de 19°C con una humedad relativa promedio de 76%.

El sistema de refrigeración debe suplir las necesidades térmicas de los procesos que se realizan dentro de la planta de sacrificio. Esta zona requiere una temperatura controlada entre -18°C a 12°C y una humedad relativa de más del 95%, dentro de la planta, con ello se garantiza el cumplimiento de la cadena de frio y la normativa técnica en los productos cárnicos comestibles y derivados cárnicos destinados para el consumo humano.⁷³

Después de la evisceración, la carne de bovino no debe pasar más de 4 horas en la canal con una temperatura interna de 3°C como máximo.⁷⁴

⁶⁹ AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Op. cit. p. 30.1.

⁷⁰ Ibid., p. 30.2.

⁷¹ Ibid., p. 30.2.

⁷² Ibid., p. 30.2.

⁷³ Ibid., p. 30.6.

⁷⁴ Ibid., p. 30.8.

Cuando la res ya está muerta y está lista para realizar el desposte y los finos cortes, se debe trasladar a una planta de desposte y desprese. En algunos casos específicos la misma planta de sacrificio cuenta con las áreas de desposte y desprese.

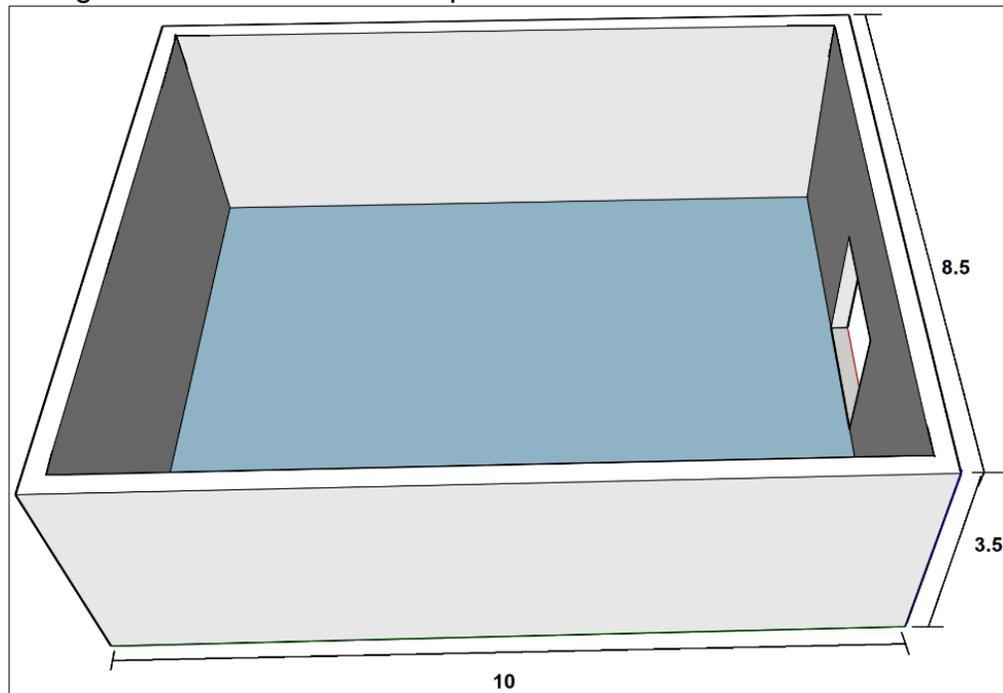
Por medio de cálculos matemáticos, se calcula el tiempo que el producto va a estar empacado antes del consumo humano y se determina una temperatura de conservación óptima del producto.

El decreto tiene establecido que si el tiempo de refrigeración del producto es menor a 72 horas se puede mantener a temperaturas entre 0°C y 4°C, si el tiempo de refrigeración es mayor a 72 horas la temperatura del producto debe estar en el rango de -60°C a -18°C, medida en el interior del mismo.⁷⁵

El sistema debe estar en funcionamiento constante, y debe soportar cargas térmicas como por: producto, infiltración, iluminación, personas, montacargas o motores adicionales, transmisión solar por paredes, piso y techo.

2.2.1 Espacio. El sistema de refrigeración debe abastecer la zona de sacrificio la cual tiene un área aproximada de 297,50 m³.

Imagen 6. Dimensiones del espacio



Fuente: elaboración Propia

⁷⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Op. cit., p. 120.

2.3 REQUERIMIENTOS SEGÚN LA NORMATIVA TECNICA

La planta de beneficio debe contar con un sistema de refrigeración que garantice el mantenimiento de la temperatura (entre -18°C y 12°C) reglamentada o requerida en el interior de los productos cárnicos comestibles y derivados cárnicos destinados para el consumo humano dependiendo del producto.⁷⁶

La humedad relativa debe estar entre 90% y 95% en la refrigeración de los productos cárnicos.

La temperatura del ambiente dentro de la planta debe ser máximo de 10°C.

La presión dentro de la planta es mayor a la atmosférica. Se trabajará con presión positiva. Con ello se garantiza que las corrientes de aire van del interior al exterior.⁷⁷

2.4 CARGAS TERMICAS

Es la cantidad de energía en forma de calor que debe ser extraída del lugar a refrigerar, para obtener la temperatura necesitada en el proceso.

Las cargas térmicas pueden ser generadas por: el aire, el producto a refrigerar, cantidad de personas, embalaje, infiltración, equipos auxiliares e iluminación. De la misma forma se debe tomar como referencia que está generando la carga térmica y con base en eso se debe determinar la ecuación para calcular la carga.

2.4.1 Sacrificio

2.4.1.1 Carga térmica por aire. $Q_{\text{aire}} = 4,044 \text{ kW}$ ⁷⁸

2.4.1.2 Carga térmica por producto a refrigerar. $Q_{\text{producto}} = 39,25 \text{ kW}$ ⁷⁹

2.4.2.3 Carga térmica por convección de personas. $Q_{\text{personas}} = 0,96 \text{ kW}$ ⁸⁰

2.4.2.4 Carga térmica por embalaje. $Q_{\text{embalaje}} = 0 \text{ kW}$ ⁸¹

2.4.2.5 Carga térmica por infiltración. $Q_{\text{infiltracion}} = 0,31 \text{ kW}$ ⁸²

⁷⁶ Ibid., p. 121

⁷⁷ AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Op. cit. p. 30.5.

⁷⁸ CALVO, Santiago y BARRERA, Juan. Op. cit., p. 108.

⁷⁹ Ibid., p. 109.

⁸⁰ Ibid., p. 109.

⁸¹ Ibid., p. 109.

⁸² Ibid., p. 110.

2.4.2.6 Carga térmica por transmisión. " $Q_{transmision} = 0,49 \text{ kW}$ "⁸³

2.4.2.7 Carga térmica total. " $Q_{total} = 47,31 \text{ kW} \left(161.536,21 \frac{\text{btu}}{\text{h}} \right)$ "⁸⁴

2.5 EFICIENCIA ESPERADA

Según la evaluación técnica de la cadena de frío en Colombia. La cadena de frío en el sistema de refrigeración actualmente alcanza un 45,36% de cumplimiento,⁸⁵ en los factores de eficiencia energética, esto es el factor que tiene el equipo respecto al calor absorbido. Se interpreta en la evaluación técnica que no tiene un buen desempeño respecto al sistema ideal. Realizando algunas modificaciones a este proceso se va a ver una mejora este porcentaje en la eficiencia del cumplimiento total de la cadena de frío.

Con base en los datos mencionados anteriormente se espera elevar el desempeño porcentual de la cadena de frío, en el proceso de sacrificio. El porcentaje de cumplimiento de la cadena de frío que para este proceso sigue siendo el más bajo de la misma es de 52%. Actualmente el porcentaje total es de cumplimiento de la cadena de frío en Colombia es de 58,98%.⁸⁶

⁸³ Ibid., p. 110.

⁸⁴ Ibid., p. 111.

⁸⁵ Ibid., p. 155.

⁸⁶ Ibid., p. 147.

3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Se deben definir las alternativas con las que se van a conformar los diferentes sistemas, con esto se busca que el sistema pueda lograr la funcionalidad requerida y el cumplimiento de los parámetros, las variables de diseño y los requerimientos funcionales. Las cuales fueron desarrolladas en el capítulo anterior.

Las alternativas que se van a plantear, se realizarán con base en la mejora del cumplimiento de la cadena de frío, el consumo de energía eléctrica del sistema de refrigeración y la eficiencia del sistema de refrigeración.⁸⁷

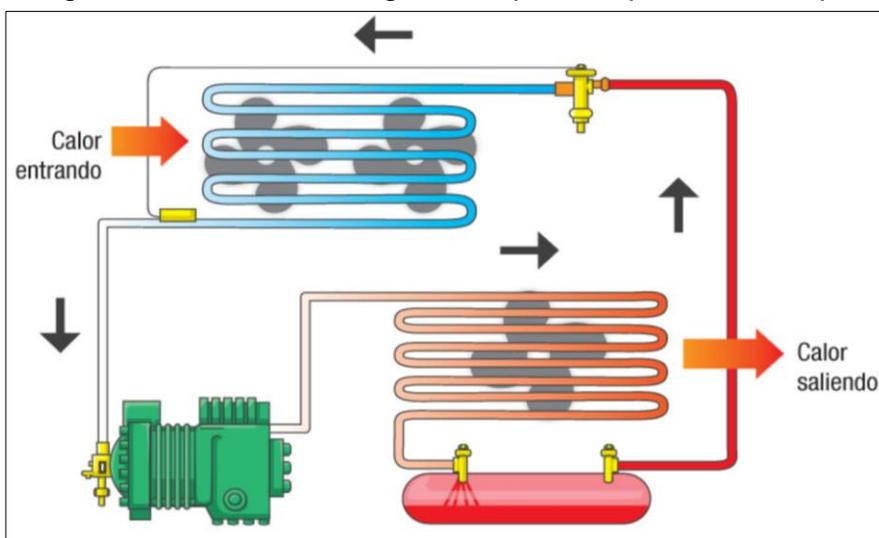
3.1 ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

En el capítulo No. 1, del presente documento se presentaron de forma teórica los principales sistemas de refrigeración, ya sea por su eficiencia o bajo costo.

A continuación, se presentarán los sistemas de refrigeración y posteriormente se le dará una calificación a cada alternativa, por el método de scoring.

3.1.1 Sistema de refrigeración por compresión de vapor. A continuación, se muestran las ventajas de la refrigeración por compresión de vapor.

Imagen 7. Sistema de refrigeración por compresión de vapor



Fuente: 0 GRADOS. [sitio web]. México: 0 GRADOS. [Consulta: 28 enero 2019]. Disponible en: <https://www.0grados.com/ciclo-básico-de-la-refrigeracion/>

⁸⁷ AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Op. cit. p. 30.8.

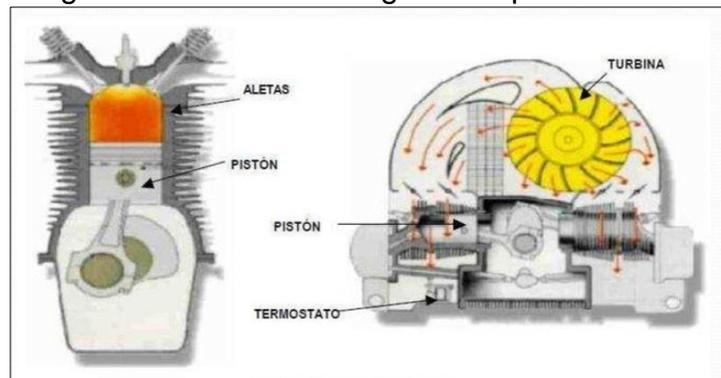
Tabla 1. Ventajas y desventajas del sistema de refrigeración por compresión de vapor

| VENTAJA | DESVENTAJA |
|---|--|
| Trabaja a muy bajas temperaturas (-30°C a -50°C) | Los refrigerantes usados en el proceso afectan a la capa de ozono |
| Tiene alta eficiencia y tecnología | Alto consumo energético |
| Bajo costo respecto a la energía que aporta | Alto riesgo de contaminación ambiental por fugas |
| Utiliza energía mecánica o eléctrica | Usa refrigerantes de riesgo toxico |
| Requiere de mantenimiento simple del evaporador, condensador y válvula. | Trabaja en lugares libres de polvo u otros contaminantes del sistema |

Fuente: elaboración propia

3.1.2 Sistema de refrigeración por aire forzado. A continuación, se muestran las ventajas de la refrigeración por aire forzado.

Imagen 8. Sistema de refrigeración por aire forzado



Fuente: ANGELFIRE. [sitio web]. [consulta: 5 febrero 2019]. Disponible en: http://www.angelfire.com/ia2/ingeniería_agricola/aire_forzado.html

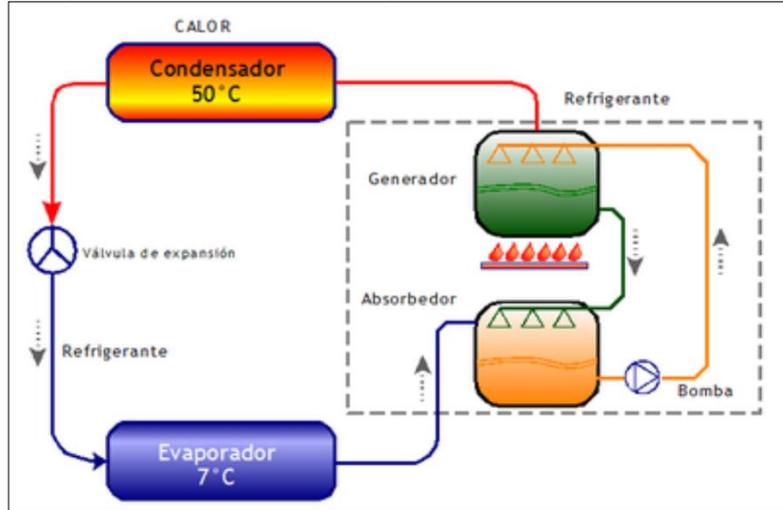
Tabla 2. Ventajas y desventajas sistema de refrigeración por aire forzado

| VENTAJA | DESVENTAJA |
|---|---|
| Rapidez al alcanzar la temperatura de trabajo | Trabaja con temperaturas alrededor de 100°C |
| Bajo peso de instalaciones | Gran cantidad de componentes |
| Alto rendimiento térmico | Alto costo |
| Eficiencia media de trabajo | Alto gasto energético |

Fuente: elaboración propia

3.1.3 Sistema de refrigeración por absorción. A continuación, se muestran las ventajas de la refrigeración por absorción.

Imagen 9. Sistema de refrigeración por absorción



Fuente: CALORYFRIO.COM. [sitio web]. [Consulta: 5 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aireinstalaciones-componentes/sistema-de-refrigeracion-por-absorcion.html>

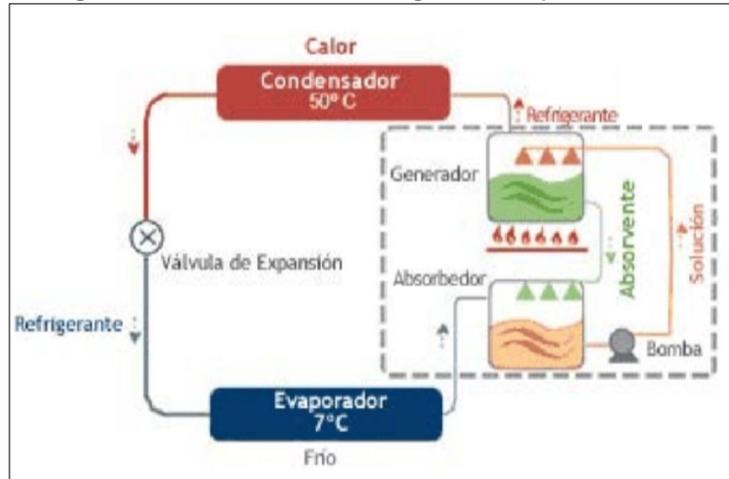
Tabla 3. Ventajas y desventajas sistema de refrigeración por absorción

| VENTAJA | DESVENTAJA |
|---|--|
| Cuando se usa litio y agua como refrigerante tiene alta cap. calorífica | Trabaja arriba de la temperatura del punto de congelación del agua |
| Cuando se usa amoniaco y agua tiene alta capacidad calorífica | Trabaja a presiones muy altas |
| Con amoniaco el sistema puede trabajar hasta -60°C. | Menor rendimiento respecto a la compresión de vapor |
| Bajo costo | Toxicidad del amoniaco |
| Utiliza calor del sol como fuente de energía primaria | |
| Refrigerantes ecológicos | Alta impermeabilidad |

Fuente: elaboración propia

3.1.4 Sistema de refrigeración por adsorción. A continuación, se muestran las ventajas de la refrigeración por adsorción.

Imagen 10. Sistema de refrigeración por adsorción



Fuente: ROMERO PAGUAY, José y MORALES Tania. Sistemas de refrigeración solar por absorción para la comunidad de kumay en Ecuador. Ingeniería energética [en línea]. 2014, septiembre – diciembre, 35 (3). p. 287. [consultado: 7 febrero 2019]. ISSN 1815- 5901. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/sistema-de-refrigeracion-solar-por-absorcion/Fuente-estado-del-arte-de-las-distintas_fig1_3175

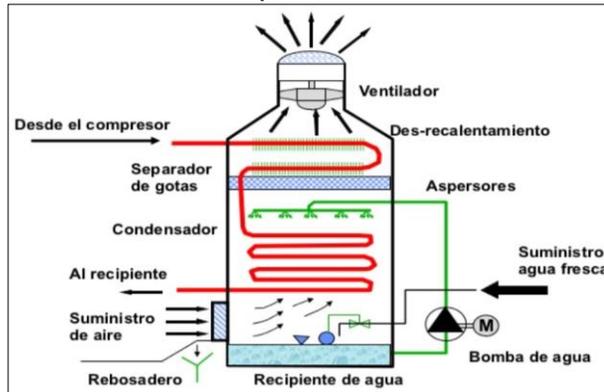
Tabla 4. Ventajas y desventajas sistema de refrigeración por adsorción

| VENTAJA | DESVENTAJA |
|--|-----------------------------------|
| No usa energía eléctrica o mecánica | Intermitencia del funcionamiento |
| Usa fuentes de energía térmica | Largo periodo de refrigeración |
| Refrigerantes ecológicos | Bajos coeficiente de montaje |
| Simplicidad de operación respecto a otros métodos de refrigeración | Temperaturas de trabajo hasta 7C. |

Fuente: elaboración propia

3.1.5 Sistema de refrigeración por condensador evaporativo. A continuación, se muestran las ventajas de la refrigeración por condensador evaporativo.

Imagen 11. Sistema de refrigeración por condensador evaporativo



Fuente: GUNTNERUS. [sitio web]. [consulta 10 febrero 2019]. disponible en: <https://www.guntnerus.com/know-how/technical-articles/>

Tabla 5. Ventajas y desventajas sistema de refrigeración por condensador evaporativo

| VENTAJA | DESVENTAJA |
|---|--|
| Baja temperatura de condensación | Perdida de carga en las líneas de ref. |
| Bajo consumo respecto a la eficiencia generada | Materiales costosos y de alta resistencia a la corrosión |
| Eficiencia energética | Mantenimiento complejo y costoso |
| Bajo costo respecto a la eficiencia | Formación de bacterias tipo bacilo |
| Bajo consumo de agua y alto aprovechamiento del mismo | El diseño requiere de bastante espacio para su montaje |
| | Alto grado de contaminación |

Fuente: elaboración propia

3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACION

Por medio del método de scoring se selecciona el sistema de refrigeración.

3.2.1 Análisis de resultados. Con base en las alternativas propuestas se eligen algunos criterios de evaluación. Para seleccionar el sistema, se hace uso del método de ponderación lineal (Scoring).

Los criterios de evaluación propuestos en el cuadro 6, enuncian criterios globales por los cuales se va a evaluar cada alternativa de sistema de refrigeración propuesto.

Tabla 6. Criterios de evaluación

| Calificación | Valor |
|---------------------|-------|
| Muy poco importante | 1 |
| Poco importante | 2 |
| Importancia media | 3 |
| Algo importante | 4 |
| Muy importante | 5 |

Fuente: elaboración propia

Teniendo asignada una ponderación a cada criterio, se establece un nivel de satisfacción de cada alternativa del sistema.

Los criterios de selección para el sistema de refrigeración de la planta de sacrificio, son pautas importantes bajo las cuales se va a realizar todo el desarrollo del diseño. Con dichas pautas también se puede garantizar que el sistema cumpla con la normativa técnica propuesta en el capítulo 1 del presente documento.

3.2.1.1 Diseño. Se debe evaluar como la complejidad de realizar planos, ubicación y construcción del sistema dentro de la planta de sacrificio. Debe cumplir con los requerimientos de la normativa técnica.

3.2.1.2 Mantenimiento. Se debe evaluar como el número y complejidad de las tareas o acciones que se deben tener en cuenta para preservar el sistema.

3.2.1.3 Costo. Se debe evaluar el costo total de los componentes, la mano de obra en montaje y construcción del sistema

3.2.1.4 Emisiones. Se debe evaluar la cantidad de gases contaminantes que emita al medio ambiente. También se deben tener en cuenta las contra indicaciones que tenga el sistema al momento de que las personas se expongan a largas jornadas de trabajo con el sistema o con los componentes del sistema.

3.2.1.5 Consumo de energía. Se debe evaluar la relación entre el suministro de energía eléctrica y el tiempo que tarda en llegar a las temperaturas requeridas. Se puede denominar, la eficiencia de la maquina en relación al consumo eléctrico.

3.2.1.6 Montaje. El montaje es una función primordial al momento de evaluar cualquier sistema. Dentro del montaje se evalúa toda la mano de obra requerida, tiempo, materiales, transportes, dimensiones, entre otras, para poner a funcionar el sistema.

3.2.2 Evaluación de alternativas. Se les asignara una calificación con base en el cuadro 1, donde se muestran los puntajes de evaluación para cada alternativa.

Cuadro 1. Resultados para la selección

| Parámetro | Relevancia | Compresión De Vapor | Aire forzado | Absorción | Adsorción | Condensador Evaporativo |
|--------------------|------------|---------------------|--------------|-----------|-----------|-------------------------|
| Diseño | 20% | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Mantenimiento | 25% | 5 | 3 | 3 | 4 | 2 |
| Costo | 20% | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| Emisiones de gases | 15% | 5 | 2 | 4 | 4 | 4 |
| Consumo energía | 10% | 4 | 3 | 5 | 5 | 2 |
| Montaje | 10% | 5 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| TOTAL | 100% | 27 | 17 | 20 | 20 | 12 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 7. Ponderación de cada criterio

| Calificación | Valor |
|--------------|-------|
| Muy bajo | 6-9 |
| Bajo | 10-14 |
| Medio | 15-19 |
| Alto | 20-24 |
| Muy alto | 25-30 |

Fuente: elaboración propia

3.3 ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE REFRIGERANTES

Ya que para el método de refrigeración por compresión de vapor se necesita un fluido refrigerante, se presentan algunas de las alternativas más usadas en la industria de los frigoríficos o plantas de beneficio de ganado bovino y se realiza una evaluación por medio del método de scoring, bajo las siguientes alternativas.

Los refrigerantes son el fluido usado en el sistema de compresión de vapor para extraer el exceso de calor del ambiente.

3.3.1 Refrigerante R-717 (Amoniaco). A continuación, se muestran las ventajas del amoniaco como refrigerante.

Tabla 8. Ventajas y desventajas sistema del amoniaco como refrigerante.

| VENTAJA | DESVENTAJA |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| Olor fuerte | Incoloro |
| No contiene agua | Es venenoso en altas cantidades |
| Trabaja en temperaturas hasta -70°C | No compatible con el cobre |
| Alta eficiencia respecto a CFC | |
| Menor consumo de energía eléctrica | |

Fuente: elaboración propia

3.3.2 Refrigerante R-600A. A continuación, se muestran las ventajas del refrigerante R-600.

Tabla 9. Ventajas y desventajas sistema del refrigerante R-600.

| VENTAJA | DESVENTAJA |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| Trabaja en temperaturas altas | Aplicación descontinuada gradualmente |
| No daña la capa de ozono | Alto costo |
| No toxico | Extremadamente inflamable |

Fuente: elaboración propia

3.3.3 Refrigerante R-744 (CO₂). A continuación, se muestran las ventajas del refrigerante R-744, como refrigerante.

Tabla 10. Ventajas y desventajas sistema del amoniaco como refrigerante.

| VENTAJA | DESVENTAJA |
|--|--|
| Inodoro, No inflamable, Alto rendimiento | Opera a temperaturas y presiones mayores que HFC y otros refrigerantes |
| Es usado como lubricante | En escapes el fluido se va por el suelo |
| Toxico en altas cantidades | Usado en sistemas cascada |
| Bajo costo del fluido refrigerante | Alto costo respecto a las instalaciones |
| Alto rendimiento y bajo consumo de energía eléctrica | Precio de todo el sistema, relativamente alto |

Fuente: elaboración propia

3.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL REFRIGERANTE

3.4.1 Análisis de resultados. Con base en las alternativas de fluidos refrigerantes propuestas, se eligen algunos criterios de evaluación, con el fin de seleccionar el fluido refrigerante que mejor se ajuste a las necesidades del diseño. Esta evaluación se va a realizar por medio método de ponderación lineal (Scoring).

Los puntos a evaluar en cada fluido refrigerante son:

3.4.1.1 Costos. Se tiene en cuenta: el costo de montaje, costo de consumo de refrigerante y el costo para cargar el sistema del refrigerante inicialmente.

3.4.1.2 Grado de contaminación. Los refrigerantes que usan los hidroclorofluorocarburos (HCFC) o los clorofluorocarburos (CFCs), tienden a dañar la capa de ozono cuando son liberados a la atmósfera.

Los refrigerantes HFCs no afectan la capa de ozono.

3.4.1.3 Eficiencia energética. La evaluación de este ítem llevara a cabo, teniendo en cuenta el EER, COP, SCOP y SEER.

Estos factores y/o coeficientes mencionados anteriormente son con los cuales se va a realizar la evaluación de eficiencia energética de cada refrigerante. Todos los factores son importantes, ya que el sistema necesita cumplir con la normativa técnica

3.4.1.4 Tóxicos o inflamables. Es una variable importante ya que estos refrigerantes son transportados por tuberías y en caso que tengan fugas pueden ser nocivos para la salud de las personas. Es importante que el refrigerante tenga un sistema el cual alerte a las personas en caso de fugas, como olores o colores, cuando existan fugas del mismo.

3.4.1.5 Contribución al efecto invernadero. Los refrigerantes más usados en la industria tienden a dañar la capa de ozono y contribuir de forma negativa al efecto invernadero. Este es un factor bastante importante a la hora de seleccionar un refrigerante ya que con esto se puede aumentar o disminuir el impacto ambiental emitido por el sistema.

3.4.2 Evaluación de alternativas. Para la evaluación de alternativas se tomará como base los criterios de evaluación del cuadro 6.

Cuadro 2. Resultados para la selección

| Parámetro | Relevancia | R-717 | R-600 | R-744 |
|--------------------------|------------|-------|-------|-------|
| Costos | 15% | 4 | 3 | 1 |
| Grado de contaminación | 20% | 4 | 2 | 3 |
| Eficiencia energética | 25% | 5 | 3 | 4 |
| Tóxicos o inflamables | 20% | 4 | 2 | 3 |
| Cont. Efecto invernadero | 20% | 4 | 1 | 2 |
| TOTAL | 100% | 21 | 11 | 13 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 11. Ponderación de cada criterio

| Calificación | Valor |
|--------------|-------|
| Muy bajo | 5-9 |
| Bajo | 10-14 |
| Medio | 15-19 |
| Alto | 20-24 |
| Muy alto | 25 |

Fuente: elaboración propia

3.5 ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE CONDENSADOR

A continuación, se presentarán los diferentes condensadores y posteriormente se le dará una calificación a cada alternativa, por el método de scoring.

3.5.1 Enfriados por aire.

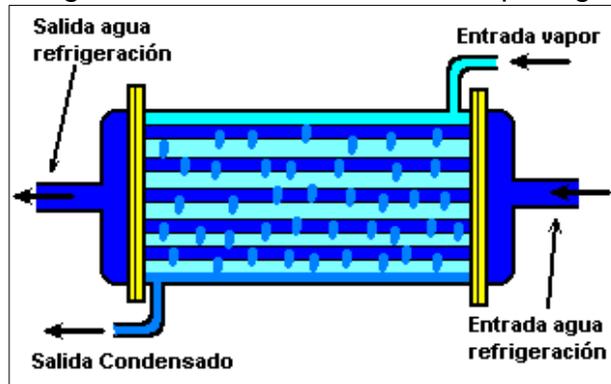
Tabla 12. Ventajas y desventajas de condensadores enfriados por aire

| VENTAJA | DESVENTAJA |
|---------------------|---|
| Usa poca agua | Requieren amplios espacios en las instalaciones |
| Caudal de aire bajo | Requiere aire limpio y fresco |
| | Capacidad limitada |

Fuente: elaboración propia

3.5.2 Condensadores enfriados por agua.

Imagen 12. Condensador enfriado por agua



Fuente: TERMOINDUSTRIAL. [sitio web]. [consulta: 11 febrero 2019]. Disponible en: <http://termoindustrial1ii132.blogspot.com/2013/06/el-condensador-es-lemento.html>

Tabla 13. Ventajas y desventajas de condensadores enfriados por agua

| VENTAJA | DESVENTAJA |
|--|---|
| Temperaturas y presiones de condensación bajas | El agua genera incrustaciones y corrosión |
| Buen control de presión | Se crean algas en los ductos |

Fuente: elaboración propia

3.5.3 Condensadores evaporativos.

Tabla 14. Ventajas y desventajas del condensador evaporativo

| VENTAJA | DESVENTAJA |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Menor temperatura de condensación | Altas pérdidas de carga. |
| Bajo consumo en bombeo de agua | |

Fuente: elaboración propia

3.6 SELECCION DE ALTERNATIVAS DE CONDENSADORES.

Por medio del método de scoring se va selecciona el tipo de condensador a usar en el sistema.

3.6.1 Análisis de resultados. Con base en las alternativas propuestas se eligen algunos criterios de evaluación. Para seleccionar el condensador, se hace uso del método de ponderación lineal (Scoring).

Los criterios de selección para el sistema de refrigeración de la planta de sacrificio, son pautas importantes bajo las cuales se va a realizar todo el desarrollo del diseño. Con dichas pautas también se puede garantizar que el sistema cumpla con la normativa técnica propuesta en el capítulo 1 del presente documento.

3.6.1.1 Dimensión. Es importante evaluar las dimensiones de todos los equipos usados dentro de la planta de sacrificio.

3.6.1.2 Costos. El costo de los equipos tiene un porcentaje ponderado de 30 %. Ya que de los mismo depende que seleccionemos uno o el otro.

3.6.1.2 Eficiencia. El sistema que se está diseñando necesita tener un alto grado de eficiencia, ya que va a trabajar de manera continua, con altos estándares de calidad y bajo la normativa técnica.

3.6.2 Evaluación de alternativas. Se les asignara una calificación con base en el cuadro 6, donde se muestran los puntajes de evaluación para cada alternativa.

Cuadro 3. Resultados para la selección

| Parámetro | Relevancia | Enfriado por agua | Enfriado por aire | Evaporativos |
|-------------|------------|-------------------|-------------------|--------------|
| Dimensiones | 30% | 5 | 5 | 3 |
| Costo | 30% | 2 | 4 | 2 |
| Eficiencia | 40% | 4 | 4 | 4 |
| TOTAL | 100% | 11 | 13 | 9 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 15. Ponderación de cada criterio

| Calificación | Valor |
|--------------|-------|
| Muy bajo | 3-6 |
| Bajo | 6-9 |
| Medio | 10-12 |
| Alto | 13-14 |
| Muy alto | 15 |

Fuente: elaboración propia

3.7 ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE EVAPORADORES

A continuación, se presentarán los diferentes evaporadores y posteriormente se le dará una calificación a cada alternativa, por el método de scoring.

Los evaporadores son intercambiadores de calor donde se genera una transferencia de energía térmica. Estos evaporadores cumplen el mismo principio de funcionamiento que los condensadores, solo cambia el método por el cual se enfrían los mismos (por aire o agua).

Para seleccionar el evaporador, se tendrán en cuenta los mismos criterios de los condensadores. Mencionados en el apartado 3.6.

3.8 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE EVAPORADORES

3.8.1 Análisis de resultados. Se tendrán en cuenta los mismos criterios de evaluación propuestos en el numeral 3.6.1. Ya que los sistemas son muy similares.

3.8.2 Evaluación de alternativas. Se les asignara una calificación con base en el cuadro 6, donde se muestran los puntajes de evaluación para cada alternativa.

Cuadro 4. Resultados para la selección

| Parámetro | Relevancia | Enfriado por agua | Enfriado por aire | Evaporativos |
|-------------|------------|-------------------|-------------------|--------------|
| Dimensiones | 30% | 3 | 4 | 3 |
| Costo | 30% | 4 | 4 | 2 |
| Eficiencia | 40% | 3 | 5 | 4 |
| TOTAL | 100% | 10 | 13 | 9 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Ponderación de cada criterio

| Calificación | Valor |
|--------------|-------|
| Muy bajo | 3-6 |
| Bajo | 6-9 |
| Medio | 10-12 |
| Alto | 13-14 |
| Muy alto | 15 |

Fuente: elaboración propia

3.9 CONDICIONES CLIMATICAS DE DISEÑO

3.9.1 Temperatura de condensación (Tk). Para calcular esta temperatura se requiere el salto térmico del condensador (ΔT_T). Por medio del método scoring se eligió un condensador de aire, para estos condensadores los fabricantes recomiendan que la temperatura de condensación debe ser entre 10 y 20°C más elevada que la temperatura a la cual entra el aire. Se toma de $\Delta T_T = 15^\circ\text{C}$; ya que se usa un condensador enfriado de aire.⁸⁸

Ecuación 1. Temperatura de condensación

$$T_K = T_{ae} + \Delta T_T$$

Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 8. ISBN: 978-84-692-4518-7

Donde:

T_k = Temperatura de condensación

T_{ae} = Temperatura del aire a la entrada

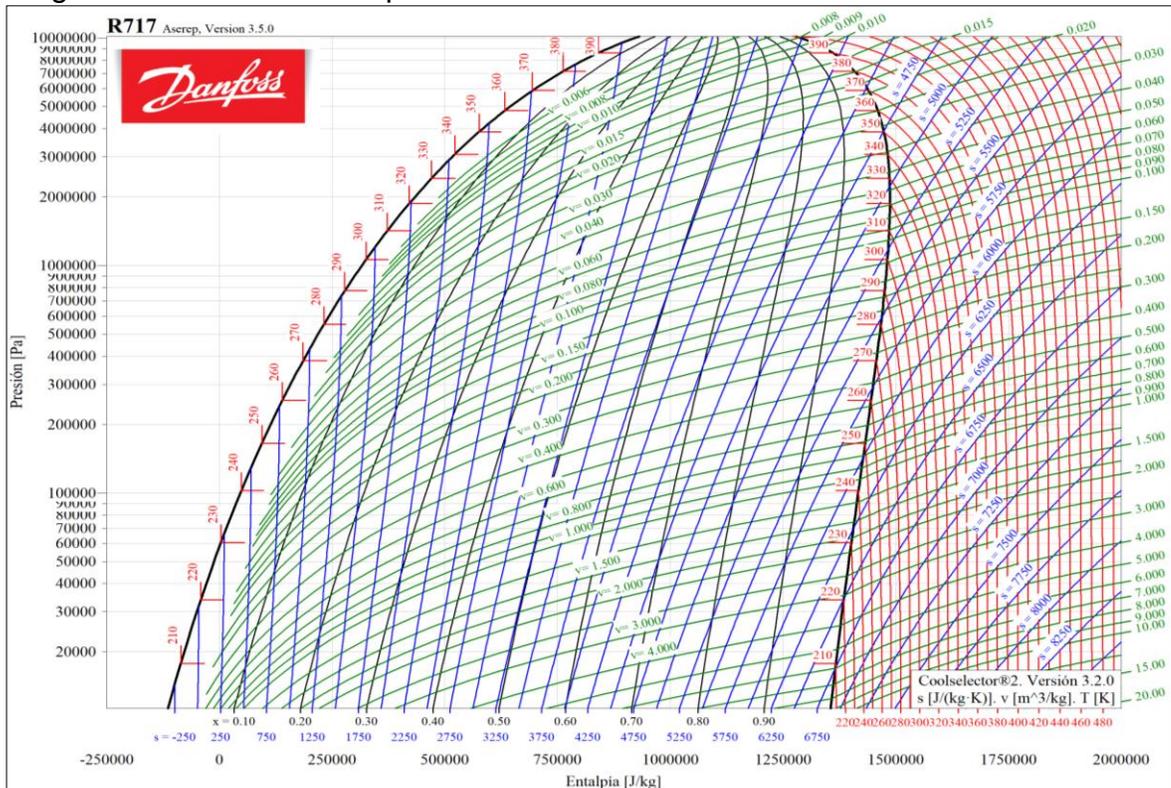
ΔT_T = Salto térmico en el condensador

⁸⁸ CARRIER INTERNATIONAL. Handbook of air conditioning system design. Traducido por Carlos Capellán. 5 ed. New York.: McGraw Hill, 1980. p. 1-15. ISBN: 84-267-0115-9

Se determina la temperatura de condensación (T_K) como 28°C.

3.9.2 Presión de condensación (P_k). Para calcular esta presión se debe conocer primero la temperatura de condensación (T_K), que se encontró con la ecuación 1.⁸⁹ En el diagrama presión-entalpia del refrigerante que vamos a usar (Amoniaco), se debe trazar una línea a la temperatura de condensación (T_K).

Diagrama 1. Presión- Entalpia R-717



Fuente: elaboración propia con base en Coolselector 2

Se determino por medio de la gráfica anterior que la presión de condensación (P_k), es de 1.090 kPa.

Se verifica esta afirmación, que dice en el IIAR 2-2.014 que en el “lado de alta presión de los sistemas enfriados por aire: 30°F (16,7°C) mayor a la temperatura de diseño de bulbo seco al 1%, más elevada durante el verano, para el sitio”.⁹⁰

La presión de condensación (1.090 kPa), para el refrigerante usado da una temperatura de 30,7°C.

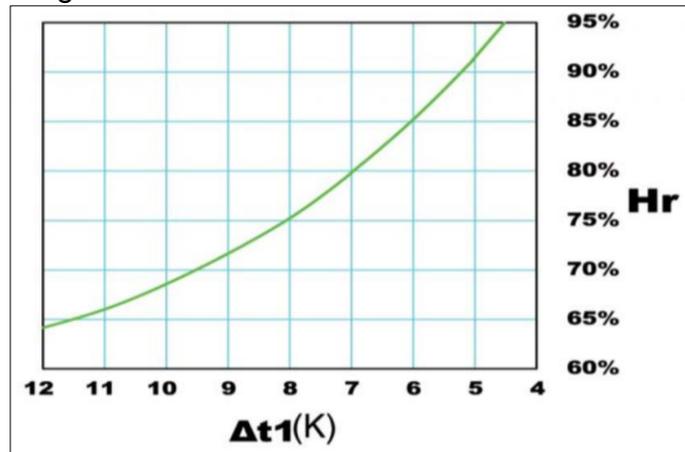
⁸⁹ Ibid., p. 1-15.

⁹⁰ INSTITUTO INTERNACIONAL DE REFRIGERACION POR AMONIACO 2. Op. cit. p. 13.

3.9.3 Temperatura de evaporación (To). Para determinar la temperatura de evaporación se debe tener en cuenta el salto térmico en el evaporador (DT).⁹¹

El DT, es la diferencia de temperatura del aire que entra al evaporador y la temperatura de evaporación del refrigerante (To). La temperatura de entrada del aire se denomina temperatura de cámara o de conservación del producto (Tc).

Diagrama 2 Evolución H Rel/ DT



Fuente: INTERSAM. Catálogo de evaporadores para amoníaco. En INTERSAM. [sitio web]. [Consultado 22 marzo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://www.intersam.es/Info/PDF/Evaporadores-de-Amoníaco-NH3-NCubicos-Plafon-y-Mural.pdf>

Se determinó que con la humedad relativa del proceso es de 95%, y con base en el diagrama 2, se obtiene que el salto térmico en el evaporador (DT) de 4,6°C.⁹²

Luego se procede a calcular la temperatura de evaporación del refrigerante (To).

Ecuación 2. Temperatura evaporación refrigerante

$$T_o = T_c - DT$$

Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 12. ISBN 978-84-6924518-7

⁹¹ CARRIER INTERNATIONAL. Ob. cit. p. 1-189

⁹² INTERSAM. Catálogo de evaporadores para amoníaco. En INTERSAM. [sitio web]. [Consultado 22 marzo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://www.intersam.es/Info/PDF/Evaporadores-de-Amoníaco-NH3-NCubicos-lafon-y-Mural.pdf>

Donde:

T_o = Temperatura de evaporación

T_c = Temperatura de conservación del producto

DT= Salto térmico en el evaporador

Tomando la temperatura de conservación del producto (T_c) de 0°C ,⁹³ obtenemos una temperatura de evaporación (T_o) de $-4,6^\circ\text{C}$.

3.9.4 Presión de evaporación (P_o). Teniendo la temperatura de evaporación del refrigerante (T_o); en un diagrama de presión- entalpia, se busca la presión de evaporación del mismo.⁹⁴

Con base en el diagrama 1, se determinó que la presión de evaporación del refrigerante es de 366,4 kPa.

Se verifica la presión de evaporación con base en el IIR 2-2.014; donde se anuncia que “la presión de diseño no será menor a la presión manométrica de saturación”.⁹⁵

Se verifica esta afirmación ya que en el IIR 2-2.014 dice que en “lado de baja presión: 10°F ($5,6^\circ\text{C}$) por encima del 1% de la temperatura ambiente de bulbo seco, para el sitio de instalación, o $114,6^\circ\text{F}$ ($45,9^\circ\text{C}$), lo que resulte mayor”.⁹⁶

La presión de evaporación (366,4 kPa), para el refrigerante usado da una temperatura de $2,3^\circ\text{C}$.

3.9.6 Relación de compresión. Es un parámetro de diseño, altamente usado en compresores de pistón, ya que está relacionado con el rendimiento volumétrico, caudal de refrigerante, potencia y ahorro de energía.

Matemáticamente se define como la presión de absoluta de condensación (P_K) sobre la presión de absoluta de evaporación (P_o).⁹⁷

⁹³ SANCHES PINEDA, María Teresa. Ingeniería del frío: teoría y práctica. Bogotá D.C.: Mundi-prensa. 2001. p. 509. ISBN: 97-884-7114-883-4

⁹⁴ CARRIER INTERNATIONAL. Op. cit., 1-17

⁹⁵ IIR 2 P. 13

⁹⁶ IIR 2 P. 13

⁹⁷ CARRIER INTERNATIONAL. Op. cit., 1-17

Ecuación 3. Relación de compresión

$$\tau = \frac{P_K}{P_0}$$

Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 14. ISBN: 978-84-692-45187

Donde:

τ = Relación de compresión

P_k = Presión de condensación

P_0 = Presión de evaporación

Desarrollando la ecuación 3, se obtiene una relación de compresión (τ), de 2,97.

3.9.6 Ahorro energético y medio ambiente. Son dos aspectos que en el actualmente deben ir de la mano, tanto el uno del otro. En la actualidad el diseño debe ir ligado con estos con el ahorro energético y el medio ambiente; ya que desde ahí se parte para tener un buen ahorro energético cuidando el medio ambiente.

Estos valores se pueden controlar de la siguiente forma:

Si el sistema presenta una baja relación de compresión se consumirá menos energía. De acuerdo a la ecuación 4, se debe mantener bajo la P_k y alta la P_0 .

3.10 CONCLUSION

Se evaluaron los métodos de refrigeración y sus componentes por scoring. Esta evaluación dio como resultado el sistema de compresión de vapor, con amoníaco como fluido refrigerante, usando condensador enfriado por aire y evaporador de aire.

La evaluación de alternativas realizada por el método de scoring, da como resultado que la refrigeración por compresión consume menos energía que la absorción o la adsorción ya que estos dos métodos trabajan con otras fuentes no convencionales de energía como la energía térmica transmitida por el sol. También se puede ver que el sistema de compresión de vapor tiene un diseño más sencillo respecto al condensador evaporativo que necesita componentes de mayor envergadura, tamaño, mantenimiento y costo.

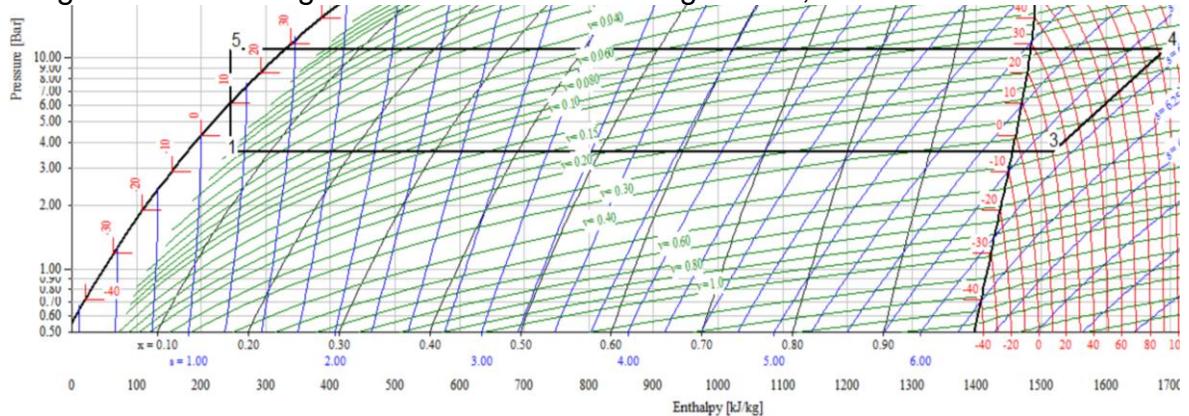
Realizando el scoring en el cuadro 12; obtenemos que el mejor fluido a usar como refrigerante es el R-717 o amoníaco.

Esto quiere decir que se va a diseñar un sistema de refrigeración por compresión de vapores para la planta de sacrificio de ganado bovino. Este sistema de refrigeración se va a diseñar de acuerdo a la normativa técnica presentada en el capítulo 1, del presente documento.

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

A continuación, se procede a trazar el ciclo frigorífico de la instalación, con base en el diagrama de Molliere; del allí se extraerá la temperatura, presión, entalpia, volumen específico, entropía y calidad del fluido refrigerante (Amoniaco o R-717) en cada punto específico del sistema de refrigeración.

Diagrama 3. Ciclo frigorífico del sistema de refrigeración, del R-717



Fuente: elaboración propia. Software usado: Coolselector 2

El recalentamiento útil es 10°C y el recalentamiento total es 15°C. El subenfriado es de 20°C.⁹⁸ Del diagrama anterior se determinaron los siguientes datos:

Cuadro 5. Datos del ciclo frigorífico

| Punto N° | Temp. (T) K | Temp. (T) °C | Presión (P) Pa | Vol. Especif. (V) m ³ /kg | Entalpia (h) J/kg | Entropía (s) J/kg*K |
|----------|-------------|--------------|----------------|--------------------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 269 | -4 | 366400 | N.A. | 245870 | N.A. |
| 2 | 279 | 6 | 366400 | 0,3549 | 1482430 | 5770 |
| 3 | 293,4 | 20,4 | 366400 | 0,3810 | 1518090 | 5890 |
| 4 | 377 | 104 | 1090000 | 0,1599 | 1692030 | 5890 |
| 5 | 283 | 10 | 1090000 | N.A. | 245870 | N.A. |

Fuente: elaboración propia

Donde el punto uno (1) es la entrada del evaporador, el punto tres (3) es la entrada del compresor, el punto cuatro (4) es la entrada del condensador; el punto (5) es la entrada del sistema de expansión.

4.1 COMPRESOR

⁹⁸ CARRIER INTERNATIONAL. Op. cit., 1-18

Para seleccionar el compresor se debe calcular el trabajo del mismo, con respecto a las condiciones climáticas de diseño y al ciclo de refrigeración.

Ecuación 4. Trabajo del compresor

$$W_{\text{compresor}} = h_4 - h_3$$

Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 22. ISBN: 978-84-692-4518-7

Donde:

$W_{\text{compresor}}$ = Trabajo del compresor

h = Entalpia

Se desarrolla la ecuación 4, y se obtiene el trabajo del compresor: 173,94 kJ/kg.

4.1.1 Producción frigorífica específica (q_{om}). Está definido por la cantidad de calor que recibe el evaporador por cada kg de refrigerante en el sistema.⁹⁹

Ecuación 5. Producción frigorífica específica

$$q_{om} = h_2 - h_1$$

Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 27. ISBN: 978-84-692-4518-7

Donde:

q_{om} = Producción frigorífica específica

h = entalpia

Con la ecuación 5, se desarrolló y se determinó que el q_{om} es de 1.236,56 kJ/kg.

4.1.2 Caudal másico de refrigerante (C_m). Es la cantidad de refrigerante que está en el evaporador, para suplir la potencia frigorífica necesaria en el sistema.¹⁰⁰

⁹⁹ Ibid., 10-15

¹⁰⁰ Ibid., 4-8

Ecuación 6. Caudal masico

$$C_m = \frac{P_f}{q_{om}}$$

Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 28. ISBN: 978-84-692-4518-7

Donde:

C_m = Caudal masico de refrigerante

P_f = Potencia frigorífica

q_{om} = Producción frigorífica específica

Con la ecuación 6, se determinó que el C_m es de 137,73 kg/h.

4.1.4 Volumen de refrigerante aspirado por el compresor. Se define como el volumen de refrigerante que el compresor es capaz de mover en una unidad de tiempo determinada.

Ecuación 7. Volumen de refrigerante aspirado por el compresor

$$V_a = C_m * V_{especifico}$$

Fuente: Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 29. ISBN: 978-84-692-4518-7

Donde:

V_a = Volumen de refrigerante aspirador por el compresor

C_m = Caudal masico de refrigerante

$V_{especifico}$ = Volumen específico del refrigerante

Con la ecuación 7, se determinó que el V_a es de $57,47 \frac{m^3}{h}$

4.1.5 Volumen barrido o desplazado. Se define como el volumen de refrigerante que el compresor es capaz de mover en una unidad de tiempo determinada. Este se calcula teniendo el rendimiento volumétrico.

Ecuación 8. Volumen barrido

$$V_b = C * N$$

Fuente: Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 30. ISBN: 978-84-692-4518-7

Donde:

V_b = Volumen barrido por el compresor

C = Cilindrada del compresor

N = Velocidad de giro del compresor

Dado que el compresor no es una maquina con eficiencia del 100% se debe calcular el volumen barrido por el sistema, con base en el rendimiento volumétrico.

Ecuación 9. Volumen barrido

$$V_b = \frac{V_a}{\eta_v}$$

Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 31. ISBN: 978-84-692-4518-7

Donde:

V_b = Volumen barrido por el compresor

V_a = Volumen aspirado por el compresor

η_v = Rendimiento volumétrico

Para definir el rendimiento volumétrico, se usa la siguiente ecuación.

Ecuación 10. Rendimiento volumétrico

$$\eta_v = 1 - (0,05 * \tau)$$

Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 31. ISBN: 978-84-692-4518-7

Donde:

η_v = Rendimiento volumétrico

τ = Relación de compresión

Desarrollando la ecuación 10, se determinó que el η_v es de 0,8512

Obtenido el η_v lo reemplazamos en la ecuación 9, en la cual se determinó que el V_b es de $61,65 \frac{m^3}{h}$.

Esto quiere decir que para circular $52,47 \frac{m^3}{h}$ en el sistema, el compresor debe poder mover $61,65 \frac{m^3}{h}$.

4.1.6 Potencia teórica de compresión. Se calcula con la diferencia de entalpías en la entrada y salida del compresor.

Ecuación 11. Trabajo de compresión

$$q_{cm} = h_4 - h_3$$

Fuente: Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 32. ISBN: 978-84-692-4518-7

Donde:

q_{cm} = Trabajo de compresión

h = Entalpia

Con la ecuación 11, se determinó que el q_{cm} es de 173,94 kJ/kg.

Ecuación 12. Potencia teórica de compresión

$$P_t = q_{cm} * c_m$$

Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica. Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 33. ISBN: 978-970-10-5611-0

Donde:

P_t = Potencia teórica de compresión

q_{cm} = Trabajo de compresión

C_m = Caudal másico de refrigerante

Con la ecuación 12, se determinó que el P_t es de 23957,40 kJ/h.

4.1.7 Potencia real para la compresión. La compresión teórica y real son diferentes ya que este proceso no se realiza a entropía constante. Lo que genera que el la temperatura de salida y la potencia absorbida sean mayores.

Ecuación 13. Potencia real para la compresión

$$P_r = \frac{P_t}{\eta_i}$$

Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica. Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 34. ISBN: 978-970-10-5611-0

Donde:

P_r = Potencia real para la compresión

P_t = Potencia teórica

η_i = Rendimiento indicado

El rendimiento indicado se aproxima al rendimiento volumétrico del compresor. En ecuación 13, se determinó que el P_r es de 28.143,61 kJ/h.

Ecuación 14. Rendimiento indicado

$$\eta_i = \frac{(h_4' - h_3)}{(h_4 - h_3)}$$

Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 28. ISBN: 978 84692 45187

Donde:

h_4' = Entalpia compresión teórica.

De la ecuación 14, se despeja h_4' y se determinó que su valor es de 1.666,15 kJ/kg.

4.1.8 Potencia del motor eléctrico del compresor. Es la potencia que el compresor necesita, para arrastrar la potencia frigorífica calculada.

Se determinan las perdidas mecánicas (η_m) de 0,85.¹⁰¹

Se determinan las perdidas eléctricas (η_e) de 0,95.¹⁰²

Ecuación 15. Potencia del motor eléctrico

$$P = \frac{P_r}{\eta_m * \eta_e}$$

Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 35. ISBN: 978-970-10-5611-0

Donde:

P= Potencia del motor eléctrico

P_r = Potencia real

η_m = Perdidas mecánica

η_e = Perdidas eléctricas

Con la ecuación 15, se determinó que el P = 34.852,76 kJ/h

¹⁰¹ BITZER. Reciprocating Compressors. En: BITZER. Alemania: BITZER. [sitio web]. [Consulta: 21 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/kp-520-3.pdf

¹⁰² Ibid., p. 13.

4.1.9 Selección del compresor. Se debe seleccionar el compresor que cumpla con las necesidades del sistema de refrigeración, buscando siempre el mayor ahorro de energía, la mejor eficiencia y la mejor adaptación a las cargas térmicas.

El compresor debe tener una potencia frigorífica ($Q_o = 47.310 W$) que logre la evacuación del lugar a refrigerar ($297,5 m^3$), que es de media temperatura ($T_o = -4,6^\circ C$), debe mover un caudal masico de refrigerante ($C_m = 137,73 kg/h$) y un volumen barrido ($V_b = 61,65 m^3/h$).

Se evalúan los principales fabricantes de compresores (Bock, Copeland y Bitzer), donde se encuentra que el compresor con mayor eficiencia es el de la marca Bitzer, debido a que el pistón está diseñado de tal forma que el fluido refrigerante se distribuya de forma más homogénea en las válvulas de salida del mismo.

Imagen 13. Pistones Bitzer Vs Pistones otras marcas



Fuente: BITZER. Reciprocating Compressors. En: BITZER. Alemania: BITZER. [sitio web]. [Consulta: 21 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.bitzer.de/share_media/documetation/kp-520-3.pdf

Teniendo esta información se seleccionó un compresor de pistón tipo abierto, marca Bitzer de referencia W4GA-S190. Ficha técnica del compresor ANEXO.

El compresor seleccionado posee un sistema de transmisión de potencia por correa y tiene las siguientes características. Ver imagen 11.

Imagen 14. Ficha técnica del compresor

| Kälteleistung in Watt bezogen auf 5 K Sauggas-Überhitzung, ohne Flüssigkeits-Unterkühlung Motor-Drehzahl 1450 min ⁻¹ (50 Hz) | | | Cooling capacity in Watt relating to 5 K suction superheat, without liquid subcooling motor speed 1450 min ⁻¹ (50 Hz) | | | Puissance frigorifique en Watt se référant à une surchauffe à l'aspiration de 5 K, sans sous-refroidissement de liquide vitesse du moteur 1450 min ⁻¹ (50 Hz) | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------|---|---|--------|----------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|
| Verdichter Typ | Motor- scheibe ø | Förder- Volumen | Erforderlicher Antriebsmotor | Verfl. Temp. | Kälteleistung Cooling capacity Puissance frigorifique | | | | | | | | | |
| Compressor type | Motor pulley ø | Displace- ment | Necessary driving motor | Cond. temp. | Q ₀ [Watt] | | | | | | | | | |
| Compresseur type | Poullie du moteur ø mm | Volume balayé m ³ /h | Moteur de com- mande nécessaire kW N | Temp. de cond. °C | Verdampfungstemperatur °C | | | Evaporating temperature °C | | | Température d'évaporation °C | | | |
| | | | | | 15 | 12,5 | 10 | 7,5 | 5 | 0 | -5 | -10 | -15 | |
| W4GA- | S190 | 67,9 | 11,0 | 11,0 | 30 | 119400 | 109000 | 99300 | 90100 | 81500 | 65900 | 52200 | 40300 | 29850 |
| | | | 15,0 | 15,0 | 40 | 111700 | 101700 | 92200 | 83400 | 75100 | 60000 | 46800 | 35250 | |
| | | | 18,5 | | 50 | 103800 | 94100 | 85000 | 76400 | 68400 | 53700 | | | |
| | S210 | 75,5 | 15,0 | 15,0 | 30 | 131500 | 120100 | 109300 | 99200 | 89800 | 72600 | 57500 | 44350 | 32900 |
| | | | 18,5 | 15,0 | 40 | 123000 | 111900 | 101600 | 91800 | 82700 | 66100 | 51600 | 38850 | |
| | | | 22,0 | | 50 | 114300 | 103600 | 93600 | 84200 | 75300 | 59200 | | | |

Fuente: Elaboración propia con base en BITZER. Reciprocating Compressors. En: BITZER. Alemania: BITZER. [sitio web]. [Consulta: 21 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/kp-520-3.pdf

Se elige este compresor ya que la potencia frigorífica que proporciona es de 65.900 W, a una temperatura de evaporación de 0°C. Es decir, una potencia frigorífica mayor a la calculada para esta planta a la misma temperatura.

Este compresor tiene acoplado un motor eléctrico el cual genera 11 kW.

Imagen 15. Otros datos técnicos del compresor seleccionado

| Technische Daten Verdichter für Kupplungsantrieb | | | | Technical data Compressors for coupling drive | | | | Caractéristiques techniques Compresseurs pour accouplement direct | | | | |
|---|--|--|--------|--|--------|-------------------|---------|--|--|---|---|--|
| Verdichter Typ | Förder- volumen bei 1450 min ⁻¹ ⊕ | Förder- volumen bei 1750 min ⁻¹ ⊕ | Zahl | Zylinder- Bohrung | Hub | Öl- füllung | Gewicht | Tief- kühlung | Kupplung Normal- kühlung Klima- kühlung | SL Saugleitung | Anschlüsse DL Druckleitung | Kühlwasser- Anschluss ⊕ |
| Compressor type | Displace- ment with 1450 min ⁻¹ ⊕ | Displace- ment with 1750 min ⁻¹ ⊕ | Number | Cylinders- Bore | Stroke | Oil- charge | Weight | low temp. application | Coupling medium temp. appli- cation/air- conditioning | SL Suction line | Pipe connec- tions DL Discharge line | Cooling water connection ⊕ |
| Com- presseur type | Volume balayé à 1450 min ⁻¹ ⊕ m ³ /h | Volume balayé à 1750 min ⁻¹ ⊕ m ³ /h | Nombre | Cylindres- Alésage | Course | Charge d'huile | Poids | réfrig. à basses temp. | Accouplement réfrig. à moy- enne temp. conditionne- ment d'air | SL Conduite d'aspiration | Raccords DL Conduite de ref. | Raccord d'eau de refroidissement ⊕ Q |
| 4H.2(Y)-K W4HA-K ⊕ | 73,6 | 88,8 | 4 | 70 | 55 | 4,7 | 129 | | | 42 1 ⁵ / ₈ DN 40 | 28 1 ¹ / ₈ DN 25 | G ³ / ₄ |
| 4G.2(Y)-K W4GA-K ⊕ | 84,5 | 102,0 | 4 | 75 | 55 | 4,7 | 129 | KK625 | KK620 | 42 1 ⁵ / ₈ DN 40 | 28 1 ¹ / ₈ DN 25 | G ³ / ₄ |
| 6H.2(Y)-K W6HA-K ⊕ | 110,5 | 133,4 | 6 | 70 | 55 | 5,0 | 153 | max. 22 kW KK630 max. 45 kW | max. 22 kW KK630 max. 45 kW | 54 2 ¹ / ₈ DN 50 | 35 1 ³ / ₈ DN 32 | G ³ / ₄ |

Fuente: Elaboración propia con base en BITZER. Reciprocating Compressors. En: BITZER. Alemania: BITZER. [sitio web]. [Consulta: 21 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/kp-520-3.pdf

4.1.10 Balance del compresor. Debido a que no existe un principio de conservación de los volúmenes, se puede afirmar que los volúmenes pueden variar a la entrada y salida de equipo. Sin embargo, todo el sistema trabaja bajo el mismo caudal de fluido refrigerante, con diferentes áreas y diámetros, dependiendo del tramo y del equipo que se encuentre cubriendo el tramo.

Para todos los equipos el balance de energía se puede transferir por calor, trabajo y masa solamente. Los balances energéticos del sistema partirán con base en la ecuación 16.

Ecuación 16. Tasa de transferencia de energía neta

$$\dot{E}_{\text{entrada}} = \dot{E}_{\text{salida}}$$

Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 237. ISBN: 978-97010-5611-0

Donde:

\dot{E}_{entrada} = Energía en la entrada del equipo

\dot{E}_{salida} = Energía en la salida del equipo

Debido a que solo hay una entrada y una salida se determina que $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$.

Sustituyendo términos y desarrollando la ecuación 16, se obtiene la ecuación 17;

Ecuación 17. Sustituciones ecuación 21

$$\dot{W}_{\text{entrada}} + \dot{m}h_1 = \dot{Q}_{\text{salida}} + \dot{m}h_2$$

Fuente: Elaboración propia con base en YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 237. ISBN: 978-970-10-5611-0

Donde:

\dot{m} = Flujo masico

h_1 o h_2 = Entalpia

\dot{Q}_{salida} = Trabajo en la salida

Se despeja la entrada de potencia del compresor de la ecuación 17.

Ecuación 18. Despeje de la potencia del compresor

$$\dot{W}_{entrada} = \dot{m}q_{salida} + \dot{m}(h_2 - h_1)$$

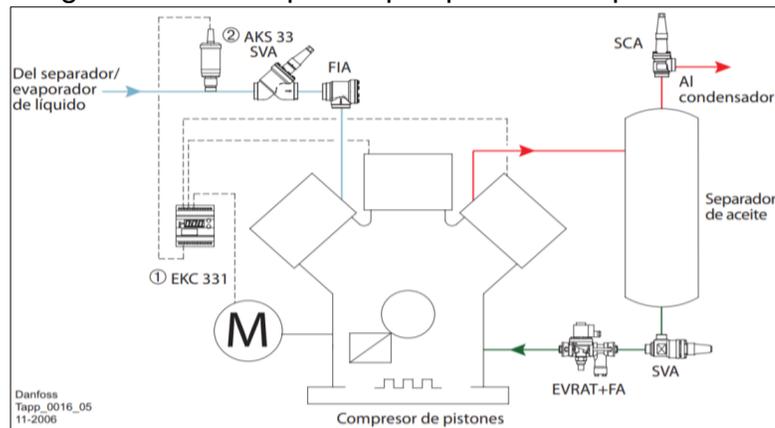
Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 237. ISBN: 978-970-10-56110

Se reemplazan los datos obtenidos a lo largo de este capítulo en la ecuación 18, y se determina que el $\dot{W}_{entrada}$ es de 13,30 kJ/s o 13,30 kW. Verificando el catálogo del fabricante indica que el compresor seleccionado puede trabajar máximo a 22 kW. Esto quiere decir que el compresor cumple con los requerimientos del sistema.

4.1.11 Protección para el compresor. El compresor es el equipo más importante y de mayor cuidado del sistema, ya que no pueden ingresar impurezas o fluido refrigerante en estado líquido. Se van a instalar los siguientes elementos de protección para el equipo.

4.1.11.1 Control de capacidad del compresor. Sabiendo las funciones del compresor se selecciona un control por etapas, el cual permite que los cilindros descargan en el compresor y controlen la capacidad del mismo.

Imagen 16. Control por etapas para el compresor



Fuente: DANFOSS. [sitio web]. [consulta: 26 mayo 2019]. Disponible en: <http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/01/pa000c205.pdf>

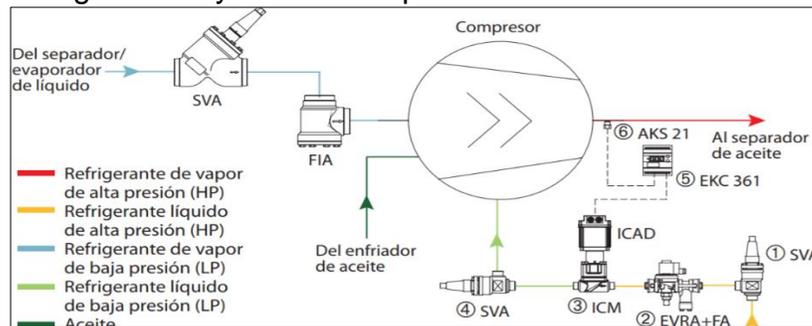
Las líneas rojas de la imagen 16, son la presión de alta y las azules de baja.

Se usa un controlador de paso fabricado por Danfoss, de referencia EKC-331, él cual cuenta con cuatro relés. El controlador seleccionado es capaz de realizar acciones sobre la carga y descarga del compresor, dependiendo de la señal del transmisor de presión AKS-33, que vienen en conjunto con el controlador.

Este controlador trabaja de -1 Bar a 34 Bar y/o de -40°C a 120°C. Es decir que cumple con los rangos de temperatura y presión que se van a trabajar en la planta.

4.1.11.2 Control de temperaturas de descarga con inyección de líquido. La temperatura de descarga se limita para prevenir el recalentamiento de vapores.

Imagen 17. Inyección de líquido con válvula motorizada



Fuente: DANFOSS. [sitio web]. [consulta: 26 mayo 2019].
 Disponible en: <http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/01/pa000c205.pdf>

El controlador de referencia EKC-361, de Danfoss, está diseñado para un actuador ICAD, el cual se encarga de abrir o cerrar una válvula motorizada que garantiza que el fluido sea descargado a la temperatura requerida por el condensador. El EKC-361 trabaja de -60 a 120°C; con presión máxima de 52 bares.

4.1.13 Ubicación del compresor. Debido a la arquitectura del lugar y para que los equipos se encuentren más cerca, el compresor se va a instalar sobre el techo de la planta de sacrificio. El fabricante enuncia que el compresor está diseñado para trabajar al aire libre, ya que el flujo de aire del exterior ayuda a refrigerarlo.

La ubicación exacta del equipo se puede ver en los planos que están en anexos.

4.1.14 Aislantes. El IAR 2-2.014, dice que “las tuberías se aislarán con el fin de mitigar la condensación y acumulación excesiva de escarcha donde la temperatura se encuentre por debajo del punto de condensación.”¹⁰³

Con base en la afirmación anterior del IAR 2-2.014, se decide aislar la tubería de succión, ya que las condiciones climáticas pueden afectar la temperatura del fluido en este punto y lo que se quiere en este punto es aprovechar el calentamiento del fluido refrigerante para que al compresor no llegue refrigerante en estado líquido. Para la selección del aislante se decide usar un tipo cubre tuberías de lana de vidrio, ya que la tubería va a estar expuesta a agentes externos. Este tipo de aislamiento se diferencia ya que tiene un recubrimiento de lámina lo cubre exteriormente.

¹⁰³ INSTITUTO INTERNACIONAL DE REFRIGERACIÓN POR AMONÍACO. Ob. Cit., p. 15.

La única función del aislante para este caso es el de prever que las condiciones climáticas no afecten el fluido refrigerante en este punto. La función del aislante no es el control de fugas ni otra finalidad, que la mencionada o explicada anteriormente.

También en el IIAR 2-2.014, anuncia algunas excepciones para el uso de aislantes; como en equipos que sea necesario tener acceso fácil y rápido. También en la tubería y los accesorios contruidos en materiales resistentes a la corrosión.

4.2 CONDENSADOR

El condensador en esencia es un intercambiador de calor, el cual se encarga de extraerle el calor al fluido refrigerante y pasarlo de estado gaseoso a líquido.

Por medio de un intercambio térmico, genera la condensación del fluido refrigerante.

Ecuación 19. Potencia del condensador

$$P_{\text{cond}} = P_f + P + P_s$$

Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 55. ISBN: 978-84-692-4518-7

Donde:

P_f : Potencia frigorífica del compresor.

P : Potencia consumida por el compresor.

P_s : Potencia necesaria para el subenfriamiento del condensador

Primero se calcula la potencia del condensador y se obtiene el valor de 131,43 kPa.

4.2.1 Selección del condensador. Se realiza una evaluación con los principales fabricantes condensadores y se decide trabajar con EOS Refrigeration, debido a que sus equipos presentan alta tecnología, lo cual hace que los equipos sean más eficientes y tengan un menor consumo de energía eléctrica, respecto a sus competidores (Intersam, Thermocoil, EM).

EOS Refrigeration, suministra una tabla para la correcta selección del condensador; en esta tabla se tomó la humedad relativa del ambiente de 70% y una temperatura ambiente o de bulbo seco de 26°C. Se selecciono esta temperatura ya que, en

2.017 la ciudad de Bogotá alcanzó una temperatura de 25,1°C, siendo esta la más alta en los últimos 60 años.¹⁰⁴

Sin embargo, el equipo va a trabajar a temperaturas más bajas, ya que se usará en el intervalo de tiempo de 8 PM a 5AM. Solamente se seleccionó una temperatura ambiente más alta de lo normal, garantizando que, en un caso fortuito, el equipo pueda operar en cualquier momento del día, sin depender de la temperatura ambiente del lugar en dicho momento.

Imagen 18. Selección del condensador

| Tª Bulbo seco (ambiente) °C | Humedad relativa % | Tª Bulbo húmedo °C | Evaporación agua litros/m³ | Temperatura de condensación °C | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 |
| 24 | 40 | 15,4 | 0,0031 | 1,23 | 1,41 | 1,60 | 1,78 | 1,96 | 2,15 |
| | 50 | 17,0 | 0,0026 | 1,11 | 1,30 | 1,48 | 1,66 | 1,85 | 2,03 |
| | 60 | 18,6 | 0,0020 | 1,00 | 1,18 | 1,37 | 1,55 | 1,73 | 1,92 |
| | 70 | 20,0 | 0,0014 | 0,88 | 1,07 | 1,25 | 1,44 | 1,62 | 1,80 |
| 26 | 40 | 16,9 | 0,0033 | 1,07 | 1,26 | 1,44 | 1,63 | 1,81 | 1,99 |
| | 50 | 18,6 | 0,0026 | 0,94 | 1,12 | 1,31 | 1,49 | 1,68 | 1,86 |
| | 60 | 20,3 | 0,0021 | 0,83 | 1,01 | 1,19 | 1,38 | 1,56 | 1,74 |
| | 70 | 21,8 | 0,0015 | 0,71 | 0,90 | 1,08 | 1,26 | 1,45 | 1,63 |

Fuente: Elaboración propia con base EOS REFRIGERATION. Condensador adiabático. En: [sitio web]. Barcelona: [Consulta 15 abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.eosrefrigeration.com/wp-content/uploads/2015/11/EOS_cat

De la Imagen 19, obtenemos el factor de corrección de 0,71.

Ecuación 20. Capacidad nominal el condensador

$$Q_{\text{nominal}} = \frac{P_{\text{cond}}}{FC}$$

Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 28. ISBN: 978-84-692-4518-7

¹⁰⁴ SEMANA. Bogotá alcanzó la mayor temperatura en 60 años. [sitio web]. [20 febrero 2019] Disponible en: <https://www.semana.com/nacion/articulo/bogota-alcanzo-la-mayor-temperatura-en-60-anos/514865>

Donde:

Q_{nominal} : Capacidad nominal del condensador

$P_{\text{cond.}}$: Potencia nominal del condensador

FC: Factor de corrección

Desarrollado la ecuación 20, se obtiene un valor de 156,94 kW. Y se selecciona el condensador EOS Refrigeration de referencia 391A1-EC. El cual tiene una capacidad nominal de 175 kW. Lo que quiere decir que el condensador seleccionado puede trabajar en este sistema de refrigeración sin problemas. Para comprobar esos valores obtenidos por el software se realiza más adelante el balance del equipo.

Imagen 19. Características, información técnica y dimensiones del condensador

| Modelo CAI-AD | 391A1-EC |
|--|------------|
| Capacidad Nominal • kW ⁽¹⁾ | 175 |
| Potencia Absorbida • kW ⁽²⁾ | 8,6 |
| Caudal de Aire • m ³ /h | 75150 |
| Presión Sonora • dB(A) ⁽³⁾ | 59 |
| Agua Recirculada • l/h ⁽⁴⁾ | 2835 |
| Altura (A) • mm | 1880 |
| Longitud (B) • mm | 3350 |
| Anchura (C) • mm | 2200 |
| Ventiladores • n ^o ^(5.1) | 3 |
| Potencia • Ventilador kW/u | 2,9 |
| Entrada Gas • " | 2 X 1 1/2" |
| Salida Líquido • " | 2 X 1 1/4" |
| Superficie Intercambio • m ² | 1020 |
| Volumen Interno • dm ³ | 150 |
| Peso en Vacío • kg | 1100 |

Fuente: Elaboración propia con base EOS REFRIGERATION. Condensador adiabático. En: EOS REFRIGERATION. [sitio web]. Barcelona: EOS REFRIGERATION. [Consulta 15 abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en:

http://www.eosrefrigeration.com/wpcontent/uploads/2015/11/EOS_catalogo_CAI.pdf

El condensador seleccionado cuenta con 3 ventiladores de conmutación electrónica lo cual ayuda notablemente con el ahorro de energía eléctrica, bajo consumo y eficiencia energética. Los ventiladores ejercen una potencia de 2,9 kW/h, ejerciendo una presión sonora de 59 dB, lo que permite que el condensador se pueda usar en espacios residenciales debido a su bajo nivel de sonoridad, y tiene caudal en el ventilador de 75.150 m³/h.

El fabricante proporciona los datos anteriores mencionados y por medio de la ecuación 18, se obtiene la velocidad a la que trabajan los ventiladores.

Ecuación 21. Trabajo de los ventiladores

$$Q = V * A$$

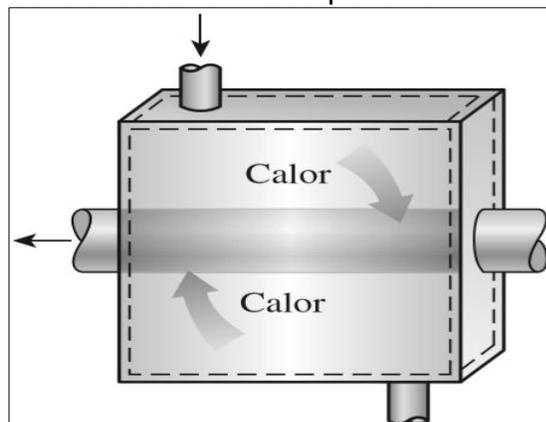
Fuente: OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 28. ISBN: 978-84-692-4518-7

De la ecuación 21, la velocidad de los ventiladores es de 21,96 m/s.

4.2.2 Balance del condensador. El condensador en esencia es un intercambiador de calor, el cual se encarga de bajar la temperatura del fluido refrigerante y pasarlo de estado gaseoso a líquido.

Para este caso específico el condensador es enfriado por aire imagen 21.

Imagen 20. Funcionamiento del condensador enfriado por aire



Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. ISBN: 978-97010-5611-0

Se inicia el proceso del balance con base en la ecuación 22. La cual expresa que todo lo que entra al condensador como un sistema es igual a todo un volumen de control debido a que la masa cruza la frontera durante su funcionamiento.

Ecuación 22. Balance por equipos

$$\dot{m}_{\text{entrada}} = \dot{m}_{\text{salida}}$$

Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 238. ISBN: 978-970-10-5611-0

Debido a que ninguno de los dos fluidos (aire, amoniaco) se mezcla en el interior del condensador se dice que el flujo masico a la entrada del amoniaco es igual que al de la salida del amoniaco. (Ecuación 23)

Ecuación 23. Flujo másico amoniaco

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 237. ISBN: 978-970-10-5611-0

Partiendo de que ambos flujos másicos son equivalentes, se procede a realizar el balance de energía en el sistema con la ecuación 24.

Ecuación 24. Desarrollo del balance de energía

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4$$

Fuente: Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 237. ISBN: 978-970-10-5611-0

Dado que los flujos másicos son los mismos, se agrupan factores para determinar el flujo del aire a la temperatura ambiente y a la temperatura de condensación.

$h_5 = 18.869,84$ kJ/kg. Entalpia del aire a temperatura ambiente

$h_6 = 54.392,00$ kJ/kg. Entalpia del aire a temperatura de condensación

El fluido refrigerante entra al condensador en estado gaseoso y sale como liquido; y de la ecuación 24, obtenemos que el flujo másico del aire es de 0.0015 kg/s.

Luego se procede a realizar el balance energético del equipo, partiendo de la ecuación 16, se obtiene la ecuación 25.

Ecuación 25. Trabajo en la entrada

$$\dot{Q}_{\text{entrada}} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

Fuente: Cengel. Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 237. ISBN: 978-970-10-5611-0

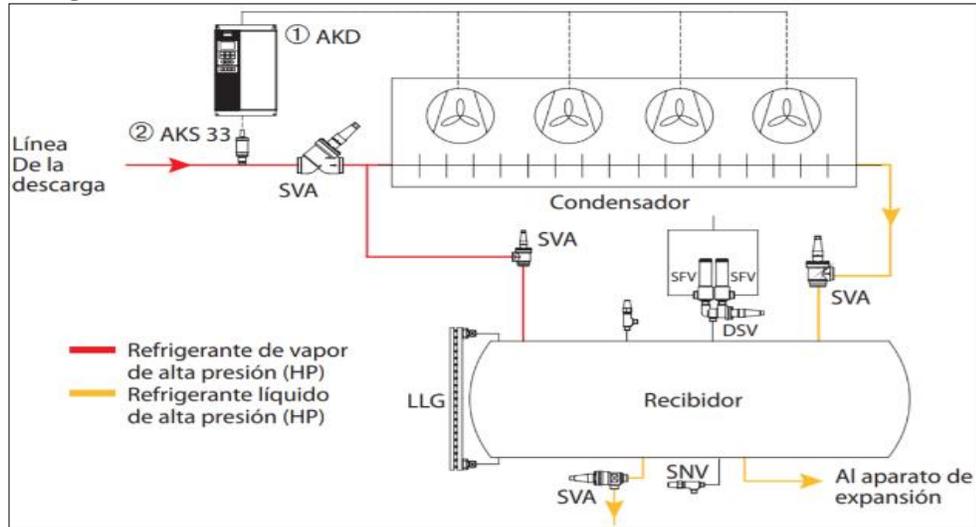
Desarrollando la ecuación 25, tomando los datos mencionados anteriormente del aire, se obtiene que el trabajo en la entrada es de 1.358 kJ/s. Lo que quiere decir que el calor que gana el aire, es el mismo calor que pierde el refrigerante cuando realiza su paso por el condensado.

El compresor seleccionado tiene un calor de rechazo de 1.317 kJ/s,¹⁰⁵ quiere decir que el compresor y el condensador se acoplan bien tanto a las necesidades de cada equipo independientemente para suplir los parámetros establecidos.

4.2.3 Control de velocidad de los ventiladores del condensador. Cuando se inicia el funcionamiento del equipo se requiere controlar el sonido de los ventiladores del condensador, debido a que la planta puede estar ubicada en zonas residenciales, para suplir esta necesidad se seleccionó un condensador con ventiladores de velocidad variable. A este condensador se le conecta un controlador Danfoss AKC-33, el cual se encarga de la conmutación de los ventiladores de acuerdo a la señal enviada por los transmisores de presión.

¹⁰⁵ BITZER. Reciprocating Compressors. En: BITZER. Alemania: BITZER. [sitio web]. [Consulta: 21 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/kp-520-3.pdf

Imagen 21. Control de los ventiladores del condensador



Fuente: DANFOSS. [sitio web]. [consulta: 26 mayo 2019]. Disponible en: <http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/01/pa000c205.PDF>

Se elige trabajar con transmisor de presión debido al subenfriamiento del líquido o a la presencia de gases condensables en el sistema, esto también afecta a la temperatura de salida del condensador, ya que no refleja correctamente los datos.

El montaje seleccionado reduce la corriente en el arranque del equipo, genera menor ruido en los ventiladores, y reduce el ahorro de energía eléctrica.

4.2.4 Ubicación del condensador. El condensador va ubicado justo a la salida del compresor, llega fluido refrigerante en estado gaseoso y a la salida se conecta al sistema de expansión.

“Los condensadores enfriados por aire se instalarán de cumplimiento con las disposiciones sobre los espacios libres mínimos recomendados por el fabricante para la colocación de las unidades y sus respectivas entradas y salidas de aire, con el fin de evitar corto circuitos y garantizar el flujo de aire sin obstrucciones.”¹⁰⁶

Según el texto anterior tomado del instituto internacional de refrigeración por amoníaco (IAR 2-2.014), la ubicación del equipo se debe realizar conforme lo indicado por el fabricante.

Para la instalación el fabricante recomienda que se realice en exteriores, primero por su gran tamaño y segundo debido a la cantidad de calor que emite; necesita un espacio bastante amplio para emitir dicho calor.

¹⁰⁶ INSTITUTO INTERNACIONAL DE REFRIGERACIÓN POR AMONÍACO. Ob. Cit., p. 41.

4.4 SISTEMA DE EXPANSION

El sistema de expansión es el encargado de que el fluido refrigerante que está en estado líquido (a la salida del condensador), pase a estado gaseoso (entrada del evaporador), a este fenómeno se le denomina efecto Joule Thomson.

Para la selección del sistema de expansión termostático se evalúan los sistemas de capilar, válvula de expansión automática, mecánica, electrónica y termostática.

Se decide trabajar con válvulas de expansión termostáticas debido al fácil mantenimiento, tecnología que proporcionan y suplen las necesidades del sistema.

Es importancia seleccionar bien el sistema de expansión ya hay una pérdida de presión de aproximadamente 723,6 kPa.

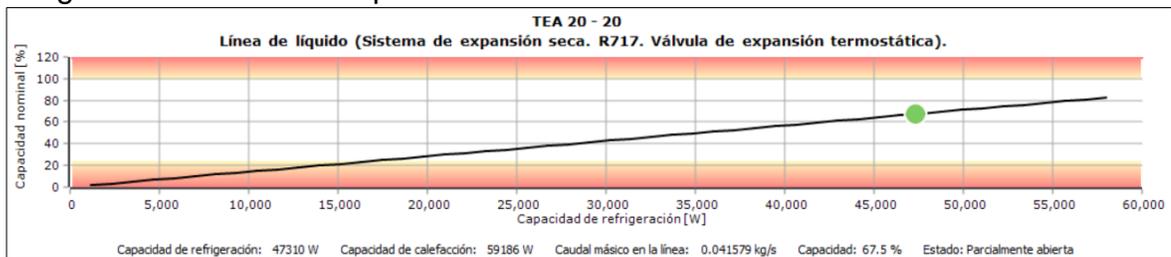
4.4.1 Selección de la válvula de expansión termostática. La válvula de expansión debe seleccionarse con respecto al caudal de refrigerante (C_m), la potencia frigorífica (P_f), presión de condensación (P_k) y de evaporación (P_o).

Algunas válvulas permiten tener un tamaño de orificio intercambiable, esto permite que el sistema trabaje con diferentes potencias frigoríficas, ya que a mayor tamaño mayor caudal de refrigerante y mayor potencia frigorífica.

“Generalmente, la capacidad máxima de la válvula es aproximadamente un 20 % mayor que la que aparece en tablas del fabricante”¹⁰⁷ Según esta afirmación del fabricante se puede seleccionar una válvula que trabaje por encima del 100%.

Con base en los datos anteriores y con ayuda del software Coolselector 2 se selecciona una válvula termostática del fabricante Danfoss referencia TEA 20-20.

Imagen 22. Sistema de expansión



Fuente: elaboración propia con base en Coolselector 2

¹⁰⁷ DANFOSS. Válvulas de expansión termostáticas para amoníaco, TEA. En: DANFOSS. [sitio web]. Dinamarca: DANFOSS. [Consulta: 27 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/DKRCI.PD.AJ0.A2.05_TEA.pdf

Esta válvula seleccionada cumple con los requerimientos del IAR 2, garantiza la potencia frigorífica y la caída de presión requerida por el sistema.

Imagen 23. Datos técnicos válvula de expansión termostática

| Tipo y capacidad nominal en tons (TR) | Capacidad nominal ¹⁾ kW | Conexión bridas soldar | | Código | | | |
|--|---------------------------------------|------------------------|---------------|------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | | Entrada in. | Salida in. | Válvula completa | Filtro ²⁾ | Conjunto de orificio | Elemento termostático |
| TEA 20, rango : -20 a +30°C | | | | | | | |
| TEA 20-1 | 3.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6137 | 006-0042 | 068G2050 | 068G3252 |
| TEA 20-2 | 7 | 1/2 | 1/2 | 068G6133 | | 068G2051 | |
| TEA 20-3 | 10.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6134 | | 068G2052 | |
| TEA 20-5 | 17.5 | 1/2 | 1/2 | 068G6138 | | 068G2053 | |
| TEA 20-8 | 28 | 1/2 | 1/2 | 068G6139 | | 068G2054 | |
| TEA 20-12 | 42 | 1/2 | 1/2 | 068G6140 | | 068G2055 | |
| TEA 20-20 | 70 | 1/2 | 1/2 | 068G6135 | | 068G2056 | |

Fuente: elaboración propia con base en coolselector 2

4.4.2 Protecciones de la válvula de expansión. La válvula de expansión, no cuenta con ningún tipo de protección, debido a que este equipo es el encargado de cuidar de que no llegue fluido refrigerante en estado líquido al compresor.

Para liberar un poco el trabajo de la válvula de expansión termostática se va a usar una válvula solenoide, la cual hace que el fluido refrigerante valla perdiendo presión de forma paulatina antes de ingresar a la VET.

La válvula solenoide es una EVRA 40, la cual puede trabajar máximo a 42 bar.

Imagen 24. Solenoide EVRA 40



Fuente: DANFOSS. [sitio web]. [consulta: 26 mayo 2019]. Disponible e en: shorturl.at/fptlM

Lo que se busca al instalar El solenoide es cuidar y prolongar la vida útil de la VET.

4.4.3 Ubicación del sistema de expansión. La válvula de expansión termostática va ubicada a la entrada del evaporador y el bulbo remoto va ubicado como mínimo 10 cm afuera de la salida del evaporador.

Se decide medir la presión del refrigerante debido a que es más exacta, si se elige medir la temperatura, esta puede sufrir cambios por corrientes de aire o fluctuaciones en el ambiente. El bulbo seleccionado se encarga de medir la presión a la salida del evaporador en el interior del fluido refrigerante. Cuando el bulbo evidencia cambios en de presión envía una señal a la VET, la cual se ajusta de forma termostática, para garantizar de que no llegue fluido refrigerante en estado líquido al compresor.

4.5 EVAPORADOR

El evaporador en esencia es un intercambiador de calor, el cual se encarga de que el fluido refrigerante aumente la presión y la temperatura, de forma que a la salida del equipo todo el fluido refrigerante este en estado gaseoso.

4.5.1 Selección del evaporador. Para el sistema de refrigeración se va a seleccionar un evaporador de doble efecto. Se garantiza por medio del balance del equipo que cumple con las especificaciones necesaria para acoplarse al compresor.

Supliendo las necesidades de la potencia frigorífica del lugar y la humedad relativa.

Haciendo que ambos trabajen de forma conjunta y adecuada. Sin embargo, se seleccionó este tipo de evaporador ya que garantiza un porcentaje más alto de refrigeración al producto cárnico que los evaporadores cúbicos, verticales, entre otros.

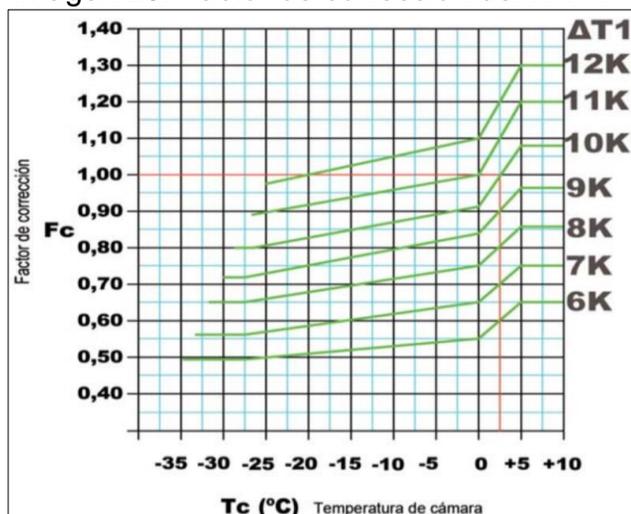
Se necesita que el evaporador sea de baja velocidad, tenga corrientes de flujo en todos los sentidos y una humedad relativa superior al 90%, ya que el producto a refrigerar es sensible a la desecación.

El sistema trabaja a temperaturas bajas (por debajo de los 0°C), esto genera que se debe seleccionar un evaporador con separación entre aletas de 7 a 10 mm.¹⁰⁸

Se selecciona un sistema de circulación de aire por el evaporador de doble efecto, ya que el mismo se va a trabajar a temperaturas cercanas a 0°C. El evaporador necesita tener un sistema de descharche eléctrico por resistencia y bandeja.

¹⁰⁸ INSTITUTO INTERNACIONAL DE REFRIGERACIÓN POR AMONIACO. Norma para el diseño seguro de sistemas de refrigeración por amoniaco de circuito cerrado. Washington.: El instituto, 2014. p. 49.

Imagen 25. Factor de corrección del R-717



Fuente: INTERSAM. [en línea]. Recuperado En: 25 febrero 2019. Disponible en: <https://www.intersam.es/Info/PDF/Evaporadores-de-Amoniaco-NH3-NCubicos-Plafon-y-Mural.pdf>

En la imagen 13, se seleccionó un factor de corrección suministrado por el fabricante para la correcta selección del evaporador de 0,4.

Con el factor de corrección se obtiene una potencia en el evaporador de 118,27 kW.

Con base en estos datos se seleccionó el evaporador, de referencia IPHT-1345.

Imagen 26. Datos comunes del evaporador

| PLAFON-DOBLE FLUJO/ CEILING IPHT (P=10mm) | | | IPHT-1345 |
|--|------------------------|-----------|-----------|
| Capacidad / Rating (R-717) | Tc=+10° ΔT = 10 kcal/h | SC1 | 144,588 |
| | Tc=-10° ΔT = 10 kw | SC1 | 168,13 |
| | Tc=0° ΔT = 8 kcal/h | SC2 | 115,670 |
| | Tc=0° ΔT = 8 kw | SC2 | 134,50 |
| Caudal de aire / Air flow | | m³/h | 62.000 |
| Superficie / Surface | | m² | 426,6 |
| Flecha de aire / Air throw | | m | 2 x 20 |
| Peso neto / Net weight | | Kg | 693 |
| DATOS COMUNES • GENERAL DATA | | | |
| Ventiladores / Fans | 400-III-50Hz | nº x ø mm | 4 x 630 |
| Pot. Absorb.total/Total power consumption | | kW | 7,6 |
| Consumo total /Total Consumption 400V-std | | A | 12,8 |
| Nivel Sonoro / Sound Level | | dB(A) | 83 |
| Desescarche eléctrico / Electric Defrost | Bateria / Coil | W | 19x3650 |
| | Bandeja / Tray | W | 2x3650 |

Fuente: INTERSAM. [en línea]. Recuperado en 25 febrero 2019. Disponible en: <https://www.intersam.es/Info/PDF/Evaporadores-de-Amoniaco-NH3-NCubicos-Plafon-y-Mural.pdf>

Los ventiladores del evaporador tienen un caudal de 62.000 m³/h.

4.5.2 Balance del evaporador. Para este caso específico el evaporador es enfriado por aire, imagen 26.

Se inicia el proceso del balance con base en la ecuación 26. La cual expresa que todo lo que entra al evaporador como un sistema, es igual a todo un volumen de control debido a que la masa cruza la frontera durante su funcionamiento.

Ecuación 26. Balance por equipos

$$\dot{m}_{\text{entrada}} = \dot{m}_{\text{salida}}$$

Fuente: Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 238. ISBN: 978-970-10-5611-0

Debido a que ninguno de los dos fluidos (aire, amoniaco) se mezcla en el interior del evaporador, se dice que el flujo masico a la entrada del evaporador (amoniaco) es igual que al de la salida del evaporador (amoniaco). (Ecuación 27)

Ecuación 27. Flujo masico amoniaco

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

Fuente: Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 237. ISBN: 978-970-10-5611-0

Partiendo de que ambos flujos másicos son equivalentes, se procede a desarrollar realizar el balance de energía en el sistema con la ecuación 28.

Ecuación 28. Desarrollo del balance de energía

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4$$

Fuente: Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 237. ISBN: 978-970-10-5611-0

Dado que los flujos másicos son los mismos, se agrupan factores para determinar el flujo del aire a la temperatura ambiente y a la temperatura de evaporación

$h_5 = 23.012$ kJ/kg. Entalpia del aire a temperatura del producto

$h_6 = 12.886,72$ kJ/kg. Entalpia del aire a temperatura de evaporación

El fluido refrigerante entra al evaporador en estado líquido y sale del mismo en estado gaseoso; de la ecuación 28, obtenemos que el flujo masico del aire es de 0.00516 kg/min.

Luego se procede a realizar el balance energético del equipo, partiendo de la ecuación 27, se obtiene la ecuación 29.

Ecuación 29. Trabajo en la entrada

$$\dot{Q}_{\text{entrada}} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 237. ISBN: 978-970-10-5611-0

Desarrollando la ecuación 29, tomando los datos mencionados anteriormente del aire, se obtiene que el trabajo en la entrada es de 0,8717 kJ/s. Lo que quiere decir que el calor que gana el refrigerante es el mismo calor que pierde el aire cuando realiza su paso por el evaporador.

4.5.3 Ubicación del evaporador. El evaporador va sujetado en el techo interior de la planta de sacrificio, justo en el techo. Debe ir ubicado de forma paralela a los rieles de donde se cuelgan las canales de carne, para el flujo de aire y garantizar el porcentaje de la merma en la carne.

La ubicación exacta del equipo se puede ver en los planos que están en anexos.

4.6 TUBERIA

El IIAR 2-2.014 dice que “las tuberías roscadas de carbono y acero inoxidable serán como mínimo, cedula 80, para todos los tamaños”¹⁰⁹ y “Como mínimo, las tuberías de acero inoxidable de 1–½ y menores, serán cedula 40”.¹¹⁰ También enuncia que el material seleccionado debe ser con base en la norma ASME.

La selección del material de la tubería, que va a conectar los equipos y llevara en su interior fluido refrigerante en este caso amoniaco, se debe realizar con base en la norma ASME B31.5.¹¹¹

El IIAR 2-2.014, también dice que “los accesorios soldados a tope coincidirán con las cedulas de la tubería”¹¹²; con base en esta afirmación se determina que, para los accesorios de la tubería, también se usara material ASME B31.5

4.6.1 Materiales. Para la selección de materiales de la tubería, no están permitidas tuberías en hierro forjado, hierro colado, ASTM A53, tipo F, zinc, cobre o aleaciones de cobre. Tampoco están permitidas los accesorios con compuestos antiadherentes ni lubricantes que contengan cobre.¹¹³

4.6.2 Tramo 1. El compresor tiene un diámetro de salida de 28 mm; y una velocidad de 27,81 m/s.

En este tramo se seleccionó una tubería de acero inoxidable ASTM A-312 cedula 40, la salida del compresor con un diámetro exterior de 1+11/16” o 41,2 mm; ya que el diámetro interior del compresor es de 42 mm. Largo de 1,5 metros con un codo a 90°, el cual desvía la tubería para alcanzar al distribuidor.

Este tramo está dividido en diferentes secciones, ya que del compresor va a un distribuidor de presiones de diámetro de 6 pulgadas, del distribuidor se sacan dos tubos de 5+1/2 in o 139,7 mm, que van a la entrada del condensador.

¹⁰⁹ Ibid., p. 55.

¹¹⁰ Ibid., p. 55.

¹¹¹ Ibid., p. 55.

¹¹² Ibid., p. 55.

¹¹³ Ibid., p. 55.

El distribuidor tiene un largo de 2,9 m y las dos conexiones de entrada al condensador tienen un largo de 0,5 m, cada una.

Ecuación 30. Presión hidrostática

$$P = \frac{2St}{D}$$

Fuente: ACINOX. Tabla tubería industrial. En: ACINOX. [sitio web]. Colombia: ACINOX. [consulta: 1 mayo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://www.acinox.com.co/tabla-tuberia-industrial.pdf>

Donde:

S= Limite elástico del material de la pared del tubo

t= Espesor en pulgadas

D= Diámetro exterior en pulgadas

Desarrollando la ecuación 30, se obtiene que la tubería puede trabajar hasta con 22.218,02 kPa; la presión que se maneja en este tramo es de 1.090 kPa. Es decir, que los factores de seguridad asociado a estas presiones son de alrededor 20. Lo que indica que la tubería seleccionada puede soportar las presiones y sobrepresiones que se producen al interior de la tubería.

Imagen 27. Tabla de cedula de materiales

| Diámetro nominal | Diámetro exterior | Schedule | | | | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 5S | | 10S | | 40 S | | 80 S | |
| | | Espesor de pared y peso | | | | | | | |
| Pulg. | (mm) | mm | kg/m | mm | kg/m | mm | kg/m | mm | kg/m |
| 1/8 | 10.3 | - | - | 1.25 | 0.28 | 1.73 | 0.37 | 2.42 | 0.47 |
| 1/4 | 13.7 | - | - | 1.66 | 0.49 | 2.24 | 0.63 | 3.03 | 0.8 |
| 3/8 | 17.2 | - | - | 1.66 | 0.63 | 2.32 | 0.85 | 3.2 | 1.1 |
| 1/2 | 21.3 | 1.66 | 0.81 | 2.11 | 1 | 2.77 | 1.27 | 3.74 | 1.62 |
| 3/4 | 26.7 | 1.66 | 1.02 | 2.11 | 1.28 | 2.87 | 1.68 | 3.92 | 2.2 |
| 1 | 33.4 | 1.66 | 1.3 | 2.77 | 2.09 | 3.38 | 2.5 | 4.55 | 3.24 |

Fuente: Tabla tubería industrial. En: ACINOX. [sitio web]. Colombia: ACINOX. [consulta: 1 mayo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.acinox.com.co/tabla-tuberia-industrial.pdf>

4.6.2.1 Perdidas en las tuberías. Para determinar las pérdidas en los diferentes tramos se inicia calculando el número de Reynolds

Ecuación 31. Cálculo de Reynolds

$$N_R = \frac{\vartheta * D * \rho}{\eta}$$

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos Traducido Javier Enrique Brito. 6 ed. México D.F.: Pearson Educación, 2006 p. 230. ISBN:970-26-08058

Donde:

N_R = Numero de Reynolds

ϑ = Velocidad

D = Diámetro

ρ = Densidad

η = Viscosidad dinámica

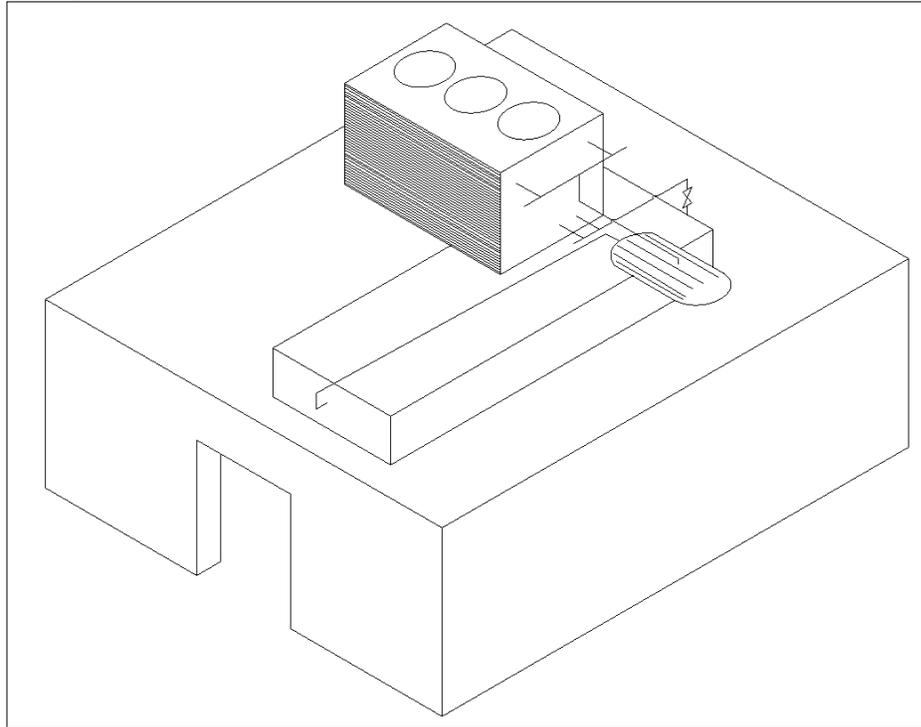
El tramo 1, se divide en 3 partes, la primera es la salida del compresor, la cual se va a llamar 1A, la segunda es la del distribuidor de presión la cual se va a llamar 1B y para el tramo del distribuidor de presión a la entrada del condensador se va a llamar 1C.

Para el tramo 1A, obtenemos que el Numero de Reynolds N_R es de 50.295; para el tramo 1B, obtenemos que es de 14.765; y en el tramo 1C, obtenemos que es de 10.080. Los datos anteriores indican que el fluido está en régimen turbulento.

La rugosidad del material seleccionado es $1,8 \times 10^{-3}$ metros.¹¹⁴

¹¹⁴ MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos Traducido por Javier Enrique Brito. 6 ed. México D.F.: Pearson Educación, 2006. p. 229. ISBN: 970-26-0805-8

Imagen 28. Tubería



Fuente: elaboración propia

Determinando el número de Reynolds el sistema se determina que el fluido está en régimen turbulento. Luego se calcula el factor de fricción en cada tramo.

Ecuación 32. Factor de fricción para flujo turbulento

$$f = \frac{0,25}{\left[\text{Log} \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Fuente: MOTT, Robert Mecánica de Fluidos Traducido Javier Enrique Brito. 6 ed. México D.F.: Pearson Educación, 2006. p. 232. ISBN:970-26-0805-8

El factor de fricción para el tramo 1A es de 0,0814; para el tramo 1B es de 0.0443; y para el tramo 1C es de 0,0469. Después se procede a calcular el valor de h_f por la ecuación de Darcy (ecuación 33), debido a que es un flujo turbulento.

Ecuación 33. Ecuación de Darcy

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos Traducido Javier Enrique Brito. 6 ed. México D.F.: Pearson Educación, 2006. p. 235. ISBN:970-26-0805-8

Desarrollando la ecuación de Darcy (ecuación 33), se obtiene el (h_L) , que para el tramo 1A es 296,43 metros; para el tramo 1B es de 0,0967 metros; para el tramo 1C es de 0,0105 metros. Para un h_L total de 296,5372 metros

En la ecuación 34 se va a obtener la presión a la que debe salir el fluido refrigerante del compresor, para garantizar que con las perdidas en la tubería ingresen al condensador 1.090 kPa.

Ecuación 34. Cálculo de presión

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} - h_L = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos Traducido Javier Enrique Brito. 6 ed. México D.F.: Pearson Educación, 2006 p. 227. ISBN:970-26-0805-8

Se despeja la presión en el punto A, la cual da un valor de 1.366,50 kPa. A este valor se le sumaron las perdidas por un codo a 90°, perdidas por tres T, perdidas por la válvula de seguridad instalada a la entrada del condensador y se tomó el $\gamma=0,880 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$. Los valores anteriores se tomaron del libro de mecánica de fluidos de Robert Mott.¹¹⁵

Las pérdidas en este tramo de tubería son de 276.5 kPa.

Después de realizar todos los cálculos de pérdida de presión se garantiza que con el compresor seleccionado van a salir 1.366,50 kPa, para que lleguen al 1.090 kPa a la entrada del condensador

4.6.3 Tramo 2. El condensador tiene dos salidas de 2+3/4", con largo de 0,5 m que van conectadas a la tubería la cual tiene un diámetro de 1/2"; en conjunto con la entrada de la válvula de expansión termostática ya seleccionada. La velocidad a la salida del condensador es de 4,46 m/s.

¹¹⁵ MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos Traducido Javier Enrique Brito. 6 ed. México D.F.: Pearson Educación, 2006 p. 227. ISBN:970-26-0805-8

La tubería en este tramo tiene un largo de 2,5 m. Se seleccionó acero inoxidable ASTM A-312 cedula 40.

Desarrollando la ecuación 19 para este tramo, se obtiene que la tubería puede trabajar con 27.900,76 kPa; la presión que maneja este tramo es de 366,4 kPa.

4.6.3.1 Perdidas en la tubería. Para calcular las perdidas en el tramo 2, se divide en 2 partes, la primera es la salida del condensador, la cual se va a llamar 2A, la segunda es la del distribuidor de presión la cual se va a llamar 2B.

Para el tramo 2A, obtenemos de la ecuación 31, que el Numero de Reynolds N_R es de 20.161; para el tramo 2B, obtenemos que es de 12.304. Los datos anteriores indican que el fluido está en régimen turbulento.

Luego se procede a calcular el factor de fricción (f) con la ecuación 32. El cual da para el tramo 2A un valor de 0.0561; para el tramo 2B es de 0.1269. Debido a que el fluido es turbulento, se usa la ecuación de Darcy (ecuación 33). Donde para el tramo 2A es de 0.4091 metros; para el tramo 2B es de 2349,36 metros. Da un total de 2.349,77 metros.

Debido que es un proceso isobárico dentro del condensador es a presión constante, las perdidas dentro del condensador son mínimas.

Las pérdidas en la tubería del tramo 2, son de 11,00 kPa. A este valor se le sumaron las perdidas por dos T y por dos válvulas de seguridad instalada a la salida del condensador.

Después de realizar todos los cálculos de pérdida de presión se garantiza que con el condensador seleccionado van a llegar aproximadamente 1.079,00 kPa, a la válvula de expansión termostática.

4.6.4 Tramo 3. La válvula de expansión, tiene un diámetro de salida de $\frac{1}{2}$ ", que van conectadas a la del evaporador el cual tiene un diámetro de 2+ $\frac{1}{4}$ ".

La tubería en este tramo tiene un largo total de 1,4 m. Se selecciono acero inoxidable ASTM A-312 cedula 40 de diámetro nominal $\frac{3}{8}$ ".

Desarrollando la ecuación 19 para este tramo, se obtiene que la tubería puede trabajar con una presión hidrostática de 27.900,76 kPa; la presión que maneja este tramo es de 366,4 kPa.

4.6.4.1 Perdidas en la tubería. Para calcular las perdidas en el tramo 3, se divide en 2 partes, la primer es la salida de la válvula de expansión, la cual se va a llamar 3A, la segunda es la entrada al evaporador la cual se va a llamar 3B.

De la ecuación 31 se obtiene que el Numero de Reynolds N_R para el tramo 3A es de 110.887; y para el tramo 3B se obtiene que es de 23.471. Los datos anteriores indican que el fluido está en régimen turbulento.

Luego se procede a calcular el factor de fricción con la ecuación 32. El cual da para el tramo 3A un valor de 0.1248; para el tramo 3B es de 0.0591. Debido a que el fluido es turbulento, se usa la ecuación de Darcy (ecuación 33). Donde para el tramo 3A es de 9.160,42 metros; para el tramo 3B es de 0,7373 metros. Da un total de 9.161,16 metros.

Con base en los datos obtenidos se calcula la presión a la salida de la válvula de expansión termostática, de la ecuación 34. Las pérdidas en para este tramo de tubería son de 12,30 kPa. A este valor se le sumaron las perdidas por un codo a 90°, un filtro, visor y por dos válvulas de seguridad instalada a la salida del condensador.

4.6.5 Tramo 4. La salida del evaporador tiene un diámetro de 2,5", que va conectada a la entrada del compresor que es de 1+3/4". El tubo de salida del evaporador es más grande y en este caso se va a usar como un distribuidor del cual se sacará la tubería para la entrada del compresor, ya que es de diámetro menor, respecto a la del evaporador.

La tubería a la salida del evaporador tiene un largo de 0,4 metros y luego tiene un tramo que va hasta la entrada del compresor la cual tiene un largo de 2,6 m. De acero inoxidable ASTM A-312 cedula 40.

Desarrollando la ecuación 19 para este tramo, se obtiene que la tubería puede trabajar con 11.681,85 kPa; la presión que maneja este tramo es de 366,4 kPa.

4.6.3.1 Perdidas en la tubería. Para calcular las perdidas en el tramo 4, se divide en dos partes, la primera es la salida del condensador, la cual se va a llamar 4A, la segunda es la entrada del compresor la cual se va a llamar 4B.

De la ecuación 31 se obtiene que el Numero de Reynolds N_R para el tramo 4A, es de 15.823; y para el tramo 4B se obtiene que es de 33.530. Los datos anteriores indican que el fluido está en régimen turbulento.

Luego se procede a calcular el factor de fricción con la ecuación 32. El cual da para el tramo 4A un valor de 0.0520; para el tramo 4B es de 0.0679. Debido a que el fluido es turbulento, se usa la ecuación de Darcy (ecuación 33). Donde para el tramo

4A es de 0,0933 metros; para el tramo 4B es de 30,24 metros. Da un total de 30,3333 metros.

Con base en los datos obtenidos se calcula la presión a la salida del evaporador, de la ecuación 34. Las pérdidas la tubería para este tramo dan un valor de 8,70 kPa, a este valor se le sumaron las pérdidas por dos codos a 90°, una válvula de seguridad instalada a la entrada del compresor.

4.6.6 Válvulas de seguridad. Se deben instalar estas válvulas sobre la tubería del refrigerante, en los siguientes puntos;

- ✓ Entrada y salida del compresor
- ✓ Entrada y salida del condensador
- ✓ Entrada del evaporador

Estas válvulas están ubicadas en dichos lugares, para poder despresurizar los equipos o las líneas sobre las que pasa, con el fin de realizar mantenimiento a los equipos o tuberías de forma más fácil, también se pueden usar estas válvulas en caso de emergencia.

Se va a usar válvula de seguridad, tipo BSV 8, del fabricante Danfoss, que pueden trabajar con presión de 25.000 kPa a 44 kg/h de R-717 (Amoniaco). Esta válvula la ofrece el fabricante Danfoss y se usa en: entrada del compresor, entrada y salida del condensador, entrada al evaporador. La válvula mencionada anteriormente funciona muy bien para dichos puntos ya para dichas presiones y capacidades de trabajo está diseñada.

Para el punto de salida del compresor no funciona de la misma forma, pero en dicho punto existe una válvula que trae inmersa el compresor la cual va conecta con el interruptor de apagado del compresor y cuando esta válvula se cierra y el compresor sigue trabajando, y no se permite la salida o está cerrada, esta válvula apaga el sistema.

Los soportes van a estar sometidos a vibraciones, tensiones, corrosión e impactos físicos.¹¹⁶ Se debe garantizar que los soportes seleccionados para el evaporador satisfagan la necesidad.

¹¹⁶ INSTITUTO INTERNAIONAL DE REFRIGERACIÓN POR AMONIACO. Ob. cit., p. 57.

4.7 REFRIGERANTE

Teniendo en cuenta que, el fluido refrigerante que se va a utilizar en el sistema es amónico (R-717), compuesto por NH_3 , no debe confundirse con amoniaco acuoso o con el amoniaco en estado gaseoso con solución en agua. Se debe tener en cuenta que se necesita un volumen de refrigerante el cual se debe calcular con algunos parámetros establecidos anteriormente. Dicho fluido refrigerante está bastante regulado en el país, por ende, tiene un proceso de compra bastante detallado el cual se explicará a continuación.

4.7.1 Carga de refrigerante para el sistema. Para calcular la carga de refrigerante es necesario tener el volumen total del sistema de refrigeración por circuito cerrado y la densidad del fluido.

Ecuación 35. Cálculo de cantidad de refrigerante

$$V * D = M$$

Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 65. ISBN: 978-97010-5611-0

Donde

V= Volumen total del sistema

D= Densidad del fluido

M= Masa de refrigerante

El volumen total de refrigerante en el sistema se calcula por medio de la ecuación fundamental de la densidad (ecuación 35), se despeja la masa. Todas las medidas de la tubería que se muestran en la tabla 17 se obtuvieron del plano hidráulico del sistema. (ver anexos)

De la ecuación 35, se obtiene la cantidad de refrigerante que se necesita.

Primero se sacan los volúmenes de cada tramo de tubería, luego se procede a obtener los volúmenes de los equipos del sistema.

Luego se suman todos los volúmenes como se observa en la tabla 17.

Tabla 17. Longitudes de la instalación hidráulica

| LONGITUDES | DIAMETRO | RADIO | VOLUMEN |
|----------------------|----------|----------|----------------|
| m | m | m | m ³ |
| 0.5 | 0.028 | 0.014 | 0.000307876 |
| 0.5 | 0.028 | 0.014 | 0.000307876 |
| 0.5 | 0.1397 | 0.06985 | 0.007663951 |
| 2 | 0.2 | 0.1 | 0.062831853 |
| 0.5 | 0.06985 | 0.034925 | 0.001915988 |
| 2.2 | 0.1 | 0.05 | 0.01727876 |
| 0.2 | 0.0127 | 0.00635 | 2.53354E-05 |
| 0.3 | 0.0127 | 0.00635 | 3.80031E-05 |
| 0.5 | 0.054 | 0.027 | 0.001145111 |
| 0.2 | 0.064 | 0.032 | 0.000643398 |
| 0.3 | 0.064 | 0.032 | 0.000965097 |
| 0.3 | 0.042 | 0.021 | 0.000415633 |
| 0.2 | 0.042 | 0.021 | 0.000277088 |
| 4.2 | 0.042 | 0.021 | 0.005818858 |
| COMPRESOR | | | 0.0047 |
| EVAPORADOR | | | 0.2 |
| CONDENSADOR | | | 0.3 |
| VALVULVA DE EXPASION | | | 0.001 |
| TOTAL | | | 0.605334827 |

Fuente: elaboración propia

El volumen total del sistema es de 0,6053 m³. Desarrollando la ecuación 35, obtenemos que la cantidad de fluido refrigerante es de 386,54 kg o 852,17 lb de amoníaco para el sistema. Se toma la densidad como 638.6 kg/m³.¹¹⁷

Es importante resaltar que el fluido refrigerante se debe cargar por la línea de baja presión en la salida del condensador, con la carga calculada.

En el proceso de carga de refrigerante se debe hacer con el sistema encendido y debe tener conectados manómetros y termómetros, que controlen la carga.

Cuando se esté realizando la carga de amoníaco al sistema, se deben conectar termómetros a la entrada y a la salida, cuando la diferencia de temperatura entre los termómetros sea de 8°C como máximo, indica que la cantidad de amoníaco es la correcta para el sistema, y no se debe ingresar más refrigerante al sistema.

¹¹⁷ TILLNER-ROTH, R.; HARMS-WATZENBERG, F. B. H. D.; BAEHR, H. D. Eine neue fundamental gleichung für ammoniak. DKV TAGUNGSBERICHT, 1993, vol. 20, p. 67-67.

4.7.2 Proceso de compra del refrigerante. El amoniaco es un fluido altamente toxico al entrar en contacto directo con el cuerpo humano.

El ministerio de justicia y del derecho, establece que las personas que requieren amoniaco como refrigerante, deben tener;

- ✓ Especificaciones técnicas del sistema de refrigeración
- ✓ Capacidad de carga del sistema de refrigeración
- ✓ Cantidad de amoniaco mensual para atender fugas o mantenimiento

Y presentar documentos necesarios dependiendo del tipo de persona que lo solicita (persona natural con o sin establecimiento de comercio, y/o jurídica, sociedades anónimas o extranjeras).¹¹⁸

Debido a que el amoniaco es utilizado de forma directa e indirecta en la producción de drogas alucinógenas y estupefacientes.

Es por ello que no es un producto de venta libre; para poder acceder a comprar el amoniaco hay que obtener un certificado de la dirección de antinarcóticos de la policía nacional – DIRAN.

Luego de tener el certificado de la dirección de antinarcóticos, es necesario que una empresa del sector de amoniaco apruebe el montaje y la compra del fluido refrigerante, por el riesgo que con lleva la mala instalación de este. Después de obtener estos dos certificados, se puede proceder a comprar el amoniaco conforme lo exige la ley.

El ministerio de justicia y del derecho, tiene un control de administración para el manejo de sustancias químicas.¹¹⁹

El ministerio de justicia y del derecho dictamina que la normativa vigente para el control del amoniaco es la convención de Vienna de 1988; y mediante la ley 67 de 1.993 se adopta la convención de las Naciones Unidas contra el tráfico ilícito de estupefacientes y sustancias psicotrópicas.

La ley 67 de 1.993 en el artículo 12 “dictamina que las sustancias que se utilizan con frecuencia en la fabricación ilícita de estupefacientes o sustancias

¹¹⁸ MINISTERIO DE JUSTICIA. Op., cit. p. 7

¹¹⁹ MINISTERIO DE JUSTICIA. [en línea]. [Archivo PDF]. Consultado 2 Julio 2019. Disponible en: <http://www.minjusticia.gov.co/Portals/0/ciudadano/Tramites/Control%20de%20Administraci%C3%B3n%20para%20el%20manejo%20de%20sustancias%20qu%C3%ADmicas.pdf>

psicotrópicas”.¹²⁰ En el mismo habla del proceso que se debe ejecutar en caso de que las autoridades competentes evidencien el transporte o uso de dichas sustancias, sin previa autorización o con fines de fabricación de sustancias alucinógenas o estupefacientes.

El transporte del amoniaco debe realizarse conforme a los requisitos de la autorización ordinaria (certificado de carencia de informes por tráfico de estupefacientes) y/o autorización extraordinaria.

Todos los requisitos, certificados tramites y autorizaciones tiene tarifas establecidos por el ministerio de justicia y del derecho.

4.7.3 Control de fugas de refrigerante. Existen diferentes métodos para detectar fugas de amoniaco, algunos de esos métodos están prohibidos usarlos debido a las leyes de cada país.

Partiendo de que el amoniaco es una sustancia altamente inflamable y combustible al mezclarse o entrar en contacto con el oxígeno, se debe tener especial cuidado con cualquier tipo de fugas que puedan generarse en el sistema. En el cuerpo humano puede presentar irritación y dañar la mucosa nasal.

Cuando ingrese al lugar donde este la fuga debe ir debidamente equipado como se muestra en el capítulo 7. Debe tener presente que debe ir a favor del viento.

Si la fuga es <200 mg/m³ se debe aislar a la redonda 30 metros; y proteger a las personas en sus alrededores durante el día y la noche 100 metros. Si la fuga es >200 mg/m³, debe aislar 60 metros a la redonda; y proteger a las personas en sus alrededores durante el día a 600 metros y en la noche a 2.200 metros.¹²¹

Los residuos líquidos de amoniaco se pueden recoger en recipientes herméticos plásticos de PVC, polipropileno; no se deben almacenar en contenedores metálicos.

4.7.3.1 Suministro de energía para los detectores y las alarmas. La alimentación de energía a los detectores y alarmas debe ser un circuito derivado dedicado; contemplando posibles cortes de energía. Se debe enviar una señal la cual indique problemas o cortes de energía a un punto monitoreado.¹²²

Los detectores y alarmas deben ponerse a prueba por lo menos una vez al año o según lo establezcan las recomendaciones del fabricante.

¹²⁰ JURISCOL [en línea]. [sitio web]. Consultado 2 Julio 2019. Disponible en: <http://www.suin-juricol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1618560>

¹²¹ INSTITUTO INTERNAIONAL DE REFRIGERACIÓN POR AMONIACO. Ob. cit., p. 74.

¹²² Ibid. p. 75.

4.7.3.2 Ubicación de los detectores y alarmas. Deben ir ubicados a la entrada o salida de un tubo, en posición donde se esperen posibles flujos de refrigerante en caso de fuga. Debido a que gran parte de los equipos esta montado al aire libre, se debe garantizar que el detector sea ubicado de tal forma que, sin importar la dirección del flujo de aire, el mismo pueda detectarla.

4.7.3.3 Señalización. “Las alarmas de detección de fugas de amoniaco deben identificarse con señalización adyacente a los dispositivos de alarma visuales y sonoros”.¹²³

Dando cumplimiento con el IIAR 2-2.014, se aprueba que el sistema de refrigeración diseñado cumple con el nivel 2 de detección de amoniaco y alarma.¹²⁴

El nivel 2 debe tener;

- ✓ Mínimo un detector de amoniaco en la sala o en el área
- ✓ El detector debe activar una alarma que informe al sitio de monitoreo. Este detector se debe activar con concentraciones de 25 ppm o mayores
- ✓ Alarmas sonoras y visuales en el interior de la sala, y emitir una advertencia en el momento que se activado la alarma sonora, para el personal autorizado y para los equipos de emergencia

Los detectores de fuga de amoniaco seleccionados están conectados por medio del circuito derivado dedicado, esto garantiza que, si llegan a quedarse sin energía eléctrica estos detectores puedan seguir trabajando sin problema.

4.7.4 Propiedades físicas del amoniaco.

Tabla 18. Propiedades físicas del amoniaco

| Propiedad física | Sistema métrico |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Símbolo Molecular | NH ₃ |
| Peso Molecular | 17,031 g/mol |
| Punto de ebullición a una atmosfera | -33,33°C |
| Punto de congelamiento | -77,66°C |
| Temperatura critica | 132.22°C |
| Densidad del liquido | 681,6 kg/m ³ |
| Densidad del vapor | 0,8896 kg/m ³ |
| Calor latente | 327,1 cal/g |

Fuente: elaboración propia con base en el IIAR 2-2.014

¹²³ Ibid. p. 75.

¹²⁴ Ibid. p. 76

4.7.5 Composición química y pureza del amoniaco. El amoniaco usado como refrigerante necesita cumplir con la pureza proporcionada en la tabla 19.

El amoniaco seleccionado para el sistema de refrigeración debe cumplir con los requisitos de la norma G-2 de la CGA.

Tabla 19. Pureza del amoniaco

| | |
|---|---------------|
| Contenido de amoniaco | 99,95% mínimo |
| Gas básico en fase de vapor | 25 ppm máximo |
| Gas no básico en fase líquida | 10 ppm máximo |
| Agua | 33 ppm máximo |
| Aceite | 2 ppm máximo |
| Sal (calculado como NaCl) | Ninguna |
| Piridina, sulfuro de hidrogeno, naftaleno | Ninguno |

Fuente: elaboración propia con base en IAR 2-2014

4.8 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control es el encargado de monitorear los parámetros de operación (temperatura y presión).

Se desarrolla un diagrama de flujo (diagrama 6) de lazo de control cerrado, el cual se le determina una señal de entrada de referencia (temperatura de 0 a 5°C) y cuando el operario inicia el funcionamiento de los equipos, se compara la señal tomada en ese instante con la señal de referencia.

El sistema tiene una tolerancia de temperatura ya que la carne en canal tiene un área superficial grande, lo que genera que la transferencia de calor se demore mayor tiempo.

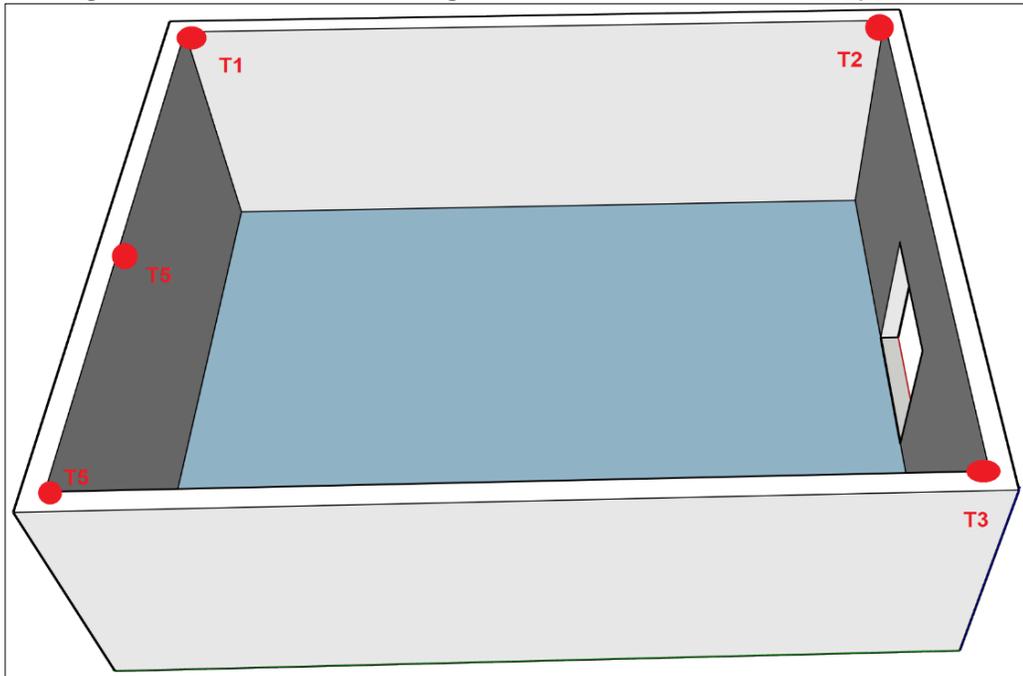
También reduciendo el proceso de encendido y apagado de los equipos se realiza este control de lazo cerrado con sistema ON-OFF.

Se establece la necesidad de ubicar 5 termostatos fabricados por Danfoss, de la referencia KPS-83, este termostato tiene un rango de temperatura de -40°C a 70°C, también se van a ubicar 4 presostatos del mismo fabricante de la referencia KPI-35, el cual tiene un rango de trabajo de 20 kPa a 800 kPa.

La temperatura del proceso es de -10°C a 25°C, lo que indica que este termostato funciona en el rango de temperatura suministrado por el fabricante.

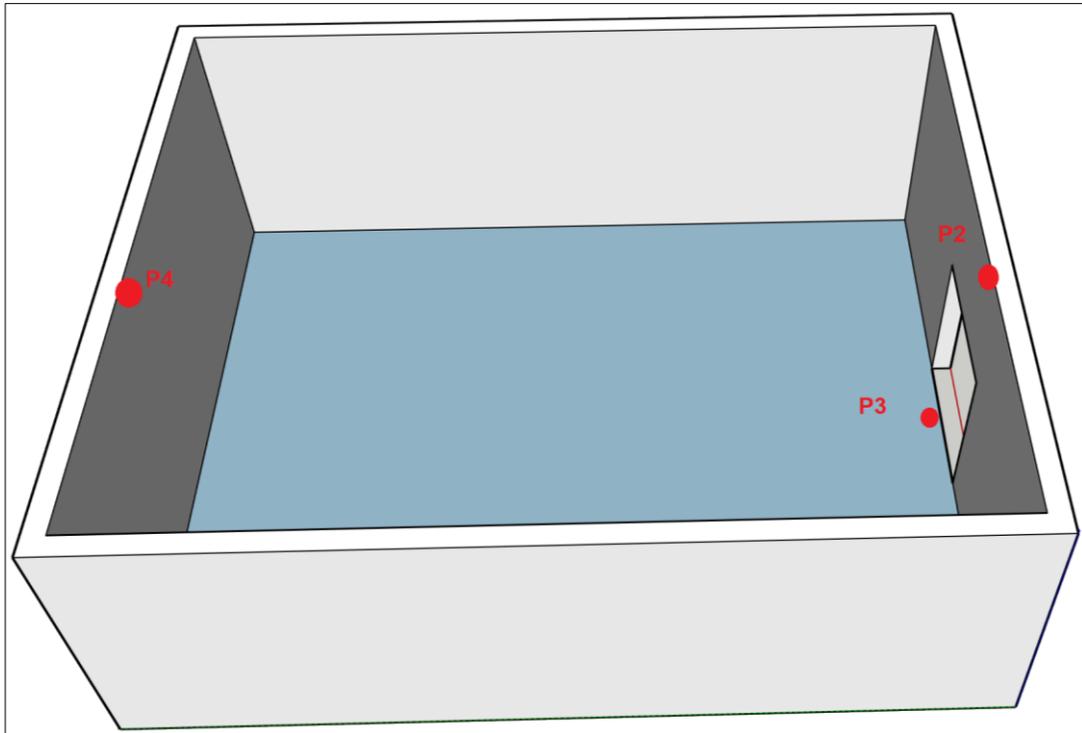
El proceso requiere que la presión dentro de la planta de sacrificio sea mayor que la presión atmosférica; con este parámetro se garantiza que el flujo bacteriano sea desde el interior de la planta hacia el exterior; y las bacterias no entren a la planta de sacrificio.

Imagen 29. Ubicación estratégica de los termostatos en la planta



Fuente: elaboración propia

Imagen 30. Ubicación estratégica de los presostatos (P2, P3 y P4) en la planta



Fuente: elaboración propia

Se diseña el sistema de control de tal forma que los termostatos y presostatos ubicados, garanticen la temperatura ambiente. Se prevé que el aire caliente suba y el aire frío baje; partiendo de esta premisa, y viendo que el evaporador está ubicado en el centro, se decide ubicar 4 termostatos en las esquinas superiores y dos termostatos más en la mitad de los extremos de la planta de sacrificio

4.9 SISTEMA DE DETECCION DE FUGAS Y ALARMAS

Cuando las personas consumen o entran en contacto con el amoniaco, es perjudicial para la salud humana. Por tal motivo se van a proponer una serie de detectores y alarmas, ubicados dentro de la planta de sacrificio; previniendo cualquier escape de amoniaco o cualquier acción que ponga en riesgo la vida de las personas en el interior de la planta.

Los escapes de amoniaco deben ser detectados ya que con ellos se garantiza la eficiencia del sistema, se reducen costos de mantenimiento, seguros e impuestos sobre el refrigerante. También la normativa técnica¹²⁵, obliga al uso de sistemas de alamar y detección de amoniaco.

Se realiza una comparación de costos, mantenimiento y vida útil de los sistemas comerciales de detección de amoniaco. Se evalúan diferentes fabricantes de estos detectores y se determina trabajar con el fabricante Danfoss, ya que proporciona productos de alta calidad y garantiza la vida útil de los detectores por 3 años.

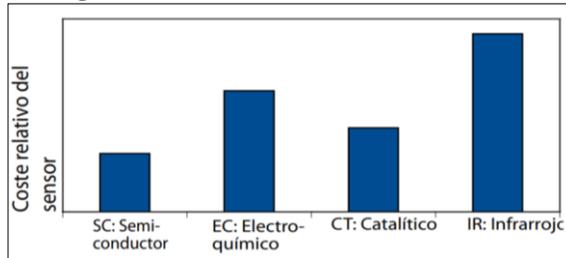
Danfoss ofrece cuatro tipos de sensores o detectores;

- ✓ Semiconductor. Trabajan con concentración media de amoniaco (<1.000 ppm).
- ✓ Catalítico. Trabaja con concentración altas de amoniaco (>10.000 ppm).
- ✓ Electroquímico. Trabajan con concentraciones bajas de amoniaco (>1.000 ppm).
- ✓ Infrarrojo. Trabaja en todo rango de concentraciones de amoniaco.

Según la evaluación realizada a los detectores mencionados anteriormente, los más completos son los infrarrojos, ya que trabajan en todo rango de temperaturas, sin embargo, son los más costosos de los 4 y trabajan por encima de las 1.000 ppm, es decir, que, usando este tipo de sensores, pequeñas fugas en el sistema no serían detectadas por este sensor.

¹²⁵ Ibid., p. 60.

Imagen 31. Costo relativo del sensor



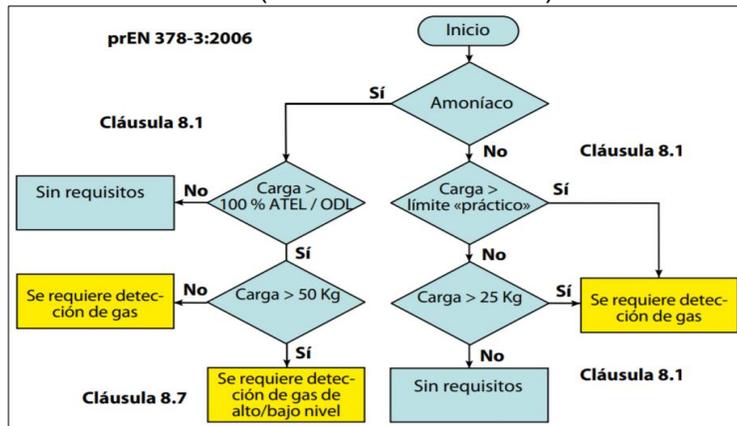
Fuente: DANFOSS. [sitio web]. [consulta: 20 mayo 2019]. Disponible en: http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/DKRCIPA000B105_NET.pdf

En la imagen 24, se puede evidenciar una comparación de costos respecto a todos los sensores de detección de amoníaco.

Previendo el cumplimiento de la normativa técnica, la cual exige que deben ser detectadas todo rango de fugas, se elige trabajar con sensores electroquímico y catalíticos. Ya que el electroquímico tiene un rango óptimo de trabajo de 0 a 1.000 ppm. Sin embargo, el fabricante garantiza que puede llegar a medir 7.000 ppm; el catalítico tiene un rango óptimo de trabajo mayor a 10.000 ppm. Sin embargo, el fabricante garantiza que puede llegar a medir 4.000 ppm.

La norma EN 378 del 2.006, explica y organiza por medio de un listado que fluidos refrigerantes necesitan detectores de gas. Dentro de dicho listado se encuentra el amoníaco. También se encuentra un protocolo para la inspección y detección de fugas en los sistemas de circuito cerrado. Diagrama 6.

Diagrama 4. Proceso de detección de fugas, según EN378 del 2.006 (última actualización)



Fuente: DANFOSS. [sitio web]. [consulta: 20 mayo 2019]. Disponible en: http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/DKRCIPA000B105_NET.pdf

4.9.1 Puntos de instalación de los sensores de amoniaco. Se determino que los sensores de amoniaco deben ir en lugares propensos a fugas como uniones, conexiones o soldaduras dentro del sistema de refrigeración de circuito cerrado.

Se deben instalar un juego de sensores en la salida de los equipos, en los distribuidores de presión y donde las tuberías requieran tubos debido a la arquitectura del lugar y/o ubicación de los equipos. El juego de sensores se compone de un sensor electroquímico y uno catalítico.

Listado de juego de sensores;

- ✓ Salida de compresor
- ✓ Salida del distribuidor de presión del compresor al condensador
- ✓ Salida del condensador
- ✓ Salida del distribuidor de presión del evaporador a la válvula termostática
- ✓ Salida de la válvula de expansión termostática
- ✓ Salida del evaporador

Se plantean la instalación de sensores de amoniaco en los puntos mencionados anteriormente. El ingeniero a cargo de la instalación es responsable de identificar más puntos críticos omitidos en el listado anterior o propensos a que existan fugas en el sistema.

Es obligación del ingeniero instalar más sensores en puntos críticos o propensos a fugas, identificados en el montaje de los equipos.

“Los detectores de gas deben alimentarse como se especifica en el manual de instrucciones y colocarse respetando la longitud máxima de cable desde la unidad monitor de control central.”¹²⁶

Los sensores no deben ir montados sobre estructuras que estén expuestas a vibraciones, golpes o soportes de tubería, tampoco deben ir cerca a fuentes de calor, agua o humedad. No deben estar expuestos a luz solar¹²⁷.

En el sistema de control se ubican los sensores de tal forma que cuando se activen corten la corriente en todo el sistema.

¹²⁶ Fuente: DANFOSS. [sitio web]. [consulta: 20 mayo 2019]. Disponible en: http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/DKRCIPA000B105_NET.pdf

¹²⁷ Ibid., p. 10.

Estos sensores deben calibrarse una vez al año. Ya que cuando detecten más de 500 ppm, estos deben activarse de forma automática.

Imagen 32. Detector de gas



Fuente: DANFOSS. [sitio web]. [consulta: 20 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.danfoss.com/es-es/search/sensor-electroquimico>

Imagen 33. Sensor electroquímico



Fuente: DANFOSS. [sitio web]. [consulta: 20 mayo 2019]. Disponible en: <https://store.danfoss.com/es/es/Refrigeraci%C3%B3n/Sensores-y-transmisores/piezas-de-repuesto-y-accesorios-para-sensor-y-transmisores/p/148H6217>

4.10 SISTEMA DE RENOVACION DEL AIRE

El aire es un vehículo de transmisión de microorganismos. También la planta trabaja con presión positiva como se describió anteriormente; esto hace el flujo bacteriano valla del interior al exterior. El aire que sale se debe limpiar, tratar o purificar, antes de ser emitido al ambiente.

Un cuarto limpio se define como un espacio en el cual se controla la concentración de partículas en el aire. Para controlar la concentración de partículas de aire, se va a instalar un sistema de renovación, o una planta de tratamiento de aire.

La renovación del aire consiste en controlar la cantidad de partículas que son emitidas al ambiente. Se realiza por medio de filtros que se seleccionan dependiendo del grado de eficiencia que se necesita.

La norma ISO 14644-1 de 2.015 clasifica la limpieza del aire por concentración de partículas. (Imagen 34).

Imagen 34. Clasificación de la limpieza del aire por concentración de partículas

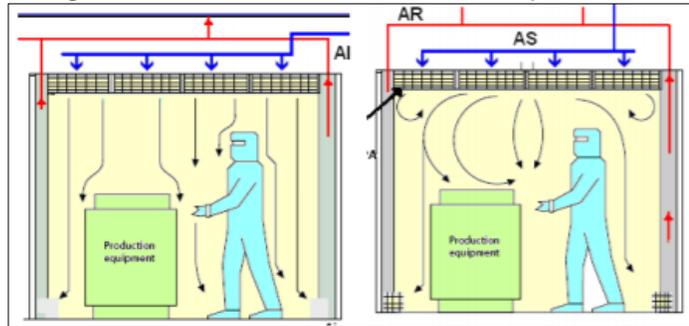
| ISO Class number (N) | Maximum allowable concentrations (particles/m ³) for particles equal to and greater than the considered sizes, shown below ^a | | | | | |
|-------------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
| | 0,1 µm | 0,2 µm | 0,3 µm | 0,5 µm | 1 µm | 5 µm |
| 1 | 10 ^b | d | d | d | d | e |
| 2 | 100 | 24 ^b | 10 ^b | d | d | e |
| 3 | 1 000 | 237 | 102 | 35 ^b | d | e |
| 4 | 10 000 | 2 370 | 1 020 | 352 | 83 ^b | e |
| 5 | 100 000 | 23 700 | 10 200 | 3 520 | 832 | d, e, f |
| 6 | 1 000 000 | 237 000 | 102 000 | 35 200 | 8 320 | 293 |
| 7 | c | c | c | 352 000 | 83 200 | 2 930 |
| 8 | c | c | c | 3 520 000 | 832 000 | 29 300 |
| 9g | c | c | c | 35 200 000 | 8 320 000 | 293 000 |

Fuente: ZOOSER. [en línea]. [Archivo PDF]. Consultado 5 Julio 2019. Disponible en: <http://zoser.com.co/wp-content/uploads/2015/10/ISO%2014644-1%20Version-%202015.pdf>

El control de la concentración de partículas, tiene en común que necesitan un aire con alto grado de pureza, con finalidad de conservar y proteger el producto de las partículas del aire.

La clasificación general de los cuartos limpios se hace de acuerdo al flujo de aire, si es laminar o turbulento. (Ver imagen 35)

Imagen 35. Diferencia de cuartos limpios



Fuente: Scientia et Technica Año XIV, No 38, Junio de 2008. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701

En la imagen anterior, el cuarto de la izquierda se encuentra con flujo unidireccional o laminar y el de la derecha se encuentra con flujo no-unidireccional o turbulento.

Estos cuartos tienen entre 20 y 60 cambios de aire por hora.

Para controlar la concentración de partículas se debe hacer controlando las fuentes internas y externas del lugar.

“Las fuentes externas incluyen polución de aire y tormentas de polvo. Las fuentes internas son las que provienen de los elementos de construcción tales como paredes, piso, cielos falsos y operarios.”¹²⁸

La universidad de Pereira, realizó una publicación “METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE CUARTOS LIMPIOS”,¹²⁹ donde detalla las consideraciones de diseño y funcionamiento;

- ✓ Identificar el tipo de industria o aplicación del proyecto
- ✓ Definir el propósito principal del proyecto
- ✓ Identificar las condiciones internas de temperatura y humedad relativa del espacio
- ✓ Presentar las condiciones más extremas que pueda presentar el sistema de refrigeración en un periodo no máximo de 24 horas, basándose en las temperaturas de bulbo seco y húmedo, humedad relativa

¹²⁸ Scientia et Technica Año XIV, No 38, Junio de 2008. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701. p. 189.

¹²⁹ Ibid., p. 190.

- ✓ Establecer niveles de control y tolerancias
- ✓ Realizar un proceso exhaustivo para el cálculo de cargas térmicas y humedad internas y externas
- ✓ Condiciones de espacio (área y volumen)
- ✓ Diseñar aplicando proceso de deshumidificación mixta
- ✓ Seleccionar los equipos y componentes.

Con base en el listado desarrollado por la universidad de Pereira, se va a realizar el siguiente listado para diseñar el sistema de renovación de aire. Sin embargo, los dos últimos ítems (diseñar aplicando procesos de deshumidificación mixta y seleccionar equipos y componentes) no se van a realizar.

- ✓ Este sistema de refrigeración pertenece a la industria alimentaria en la ciudad de Bogotá, el volumen que se va a refrigerar es de 297,5 m³, con cargas térmicas de 50 kW aproximadamente
- ✓ El proyecto tiene como objetivo general que el sistema de refrigeración para una planta de sacrificio de ganado bovino cumpla con la normativa técnica y también elevar el porcentaje de cumplimiento de la cadena de frío en la producción de carne bovina. De acuerdo al Handbook ASHRAE 2-2.014, la velocidad del viento en el interior de la planta debe ser máximo de 25 m/s
- ✓ La planta de sacrificio trabaja a temperaturas internas entre -18°C a 12°C; la temperatura ambiente en las noches fluctúa entre 5°C a 10°C. La humedad relativa del ambiente exterior es de 70%
- ✓ La temperatura de bulbo seco es de 26°C y la humedad relativa dentro de la planta de sacrificio es de 90% a 95% y en el exterior es de 70%
- ✓ Las cargas térmicas ya fueron determinadas en el capítulo 2; fueron tomadas del proyecto de grado "EVALUACION TECNICA DE LA CADENA DE FRIO EN COLOMBIA". Carga total de 47,31 kW
- ✓ Las medidas de la planta son de 10x8,5x3,5 metros, con una puerta de 2x2,5 metros. Volumen total de 297,5 m³. Área total de 85 m²
- ✓ El tiempo de recuperación, va de la mano de la rata del cambio de aire, para este caso se debe determinar clase de ISO que está expuesto el medio (imagen 39) y calcula el tiempo con la ecuación

Para este proyecto solamente se deja descrito todo el listado con que debe cumplir el sistema de renovación de aire, y solo faltaría el diseño y selección de los equipos.

Imagen 36. Clase de ISO

| Clase | Tipo de Flujo | Velocidad (fpm) | Cambios Hora |
|-----------------|---------------|-----------------|--------------|
| ISO 8(100,000) | N/M | 1-8 | 5-48 |
| ISO 7(100,000) | N/M | 10-15 | 60-90 |
| ISO 6(100,000) | N/M | 25-40 | 150-240 |
| ISO 5(100,000) | U/N/M | 40-80 | 240-480 |
| ISO 4(100,000) | U | 50-90 | 300-540 |
| ISO 3(100,000) | U | 60-90 | 360-540 |
| Mejor que ISO 3 | U | 60-100 | 360-600 |

Tabla 4 Velocidad y cambios por hora para cuartos limpios.
N=no unidireccional. U= unidireccional.

Fuente: Scientia et Technica Año XIV, No 38, Junio de 2008. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701

Ecuación 36. Tiempo de recuperación

$$t = \frac{2,5}{V}$$

Fuente: Scientia et Technica Año XIV, No 38, junio de 2008. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701

Donde:

V= Rata de flujo de aire

Los controles que se efectúan a los cuartos limpios dependen de la clase de ISO (imagen 39) a la que pertenecen, para el caso la planta de sacrificio es aire bien mezclado en flujo turbulento, se puede asumir que es superior a un ISO 5, sin infiltración y presurizado. Para los sistemas superiores a ISO 5, se puede usar la ecuación 37, para determinar la concentración de partículas.

Ecuación 37. Concentración de partículas

$$dx = (S - V) * V * dt + g * dt$$

Fuente: Scientia et Technica Año XIV, No 38, Junio de 2008. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701

Donde:

S= Concentración de partículas en el aire

V= Rata de flujo de aire

g= Generación interna de partículas

4.10.1 Recomendaciones de diseño. El sistema de renovación de aire requiere realizar un estudio previo y cuidadoso de la aplicación que se pretenda (para este caso limpieza del aire, por las bacterias generadas por los productos cárnicos), la concentración de partículas, ubicación y procesos permisibles de generación de bacterias.

4.11 CALCULO A NIVEL NACIONAL

En el desarrollo del capítulo se tuvo en cuenta que el sistema estaba siendo diseñado para la ciudad de Bogotá. Así se desarrolló todo el diseño del proyecto.

Sin embargo, se decide dejar una matriz como base en la cual, solamente cambiando la temperatura del ambiente, presión de condensación, salto térmico en el evaporador (solo si se cambia de fabricante de evaporador), humedad relativa, potencia frigorífica, volumen a refrigerar y entalpías en cada punto; se pueden obtener los datos para seleccionar los equipos para otra ciudad totalmente diferente a Bogotá.

Los datos en amarillo son los que se debe cambiar en la matriz, y los que está en rojo no se deben cambiar, debido a que ya son cálculos establecidos en la matriz.

Imagen 37. Matriz de diseño detallado

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|------|-------------------------------------|-------------|------------|-------|---|---|---|---|
| 1 | | CONDICIONES DE DISEÑO | VALOR | EN kelvin | UNID. | | | | |
| 2 | Tk | Temp. Condensacion | 28 | 301 | °C | | | | |
| 3 | Pk | Presion de condensacion | 1090 | kPa | | | | | |
| 4 | To | Temp. Evaporacion | -4.6 | 268.4 | °C | | | | |
| 5 | Po | Presion de evaporacion | 366.4 | kPa | | | | | |
| 6 | r | Relacion de compresion | 2.97489083 | | | | | | |
| 7 | Tae | Temperatura ambiente | 13 | 286 | °C | | | | |
| 8 | ΔTt | Salto termico en el condensador | 15 | | °C | es enfriado con aire Delta Tt e de 15°C | | | |
| 9 | DT | Salto termico en el evaporador | 4.6 | | °C | | | | |
| 10 | Tc | Temp. De conservacion del producto | 0 | | °C | | | | |
| 11 | Hr | Humedad Relativa | 95 | | % | | | | |
| 12 | | | | | | | | | |
| 13 | Rv | Recalentamiento util | 10 | | °C | | | | |
| 14 | Rt | Recalentamiento Total | 15 | | °C | | | | |
| 15 | Se | Sub enfriado o Subenfriamiento | 25 | | °C | | | | |
| 16 | | | | | | | | | |
| 17 | Pf | Potencia frigorifica | 47.31 | 170316 | kW | | | | |
| 18 | Pcat | Potencia evaporador | 118.275 | | Kw | | | | |
| 19 | Fc | Factor de correccion evaporador | 0.4 | | | | | | |
| 20 | Vr | Volumen a refrigerar | 297.5 | | m3 | | | | |
| 21 | Wc | Trabajo de compresor | 173.94 | | kJ/kg | | | | |
| 22 | Va | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | |
| 24 | h1 | Entalpia en punto 1 | 245.87 | | kJ/kg | | | | |
| 25 | h2 | Entalpia en punto 2 | 1482.43 | | kJ/kg | | | | |
| 26 | h3 | Entalpia en punto 3 | 1518.09 | | kJ/kg | | | | |
| 27 | h4 | Entalpia en punto 4 | 1692.03 | | kJ/kg | | | | |
| 28 | h4' | Entalpia en p. compres. Teorica | 1666.157374 | | kJ/kg | verificar este valor suministrado....!!!!!! | | | |
| 29 | Vx | Vol. Especifico del ref. | 0.381 | | m3/kg | | | | |
| 30 | qom | Prod. Frigorifica Especifica Neta | 1236.56 | | kJ/kg | | | | |
| 31 | | | | | | | | | |
| 32 | Cm | Caudal masico de refrigerante | 137.7337129 | | kg/h | | | | |
| 33 | | | | | | | | | |
| 34 | Va | Vol. de ref. Aspirado por el comp. | 52.47654461 | 0.01457682 | m3/h | m3/s | | | |
| 35 | Vb | Vol. Barrido | 61.64605946 | 0.01712391 | m3/h | m3/s | | | |
| 36 | nv | Rendimiento Vol. | 0.851255459 | 0.85125546 | | | | | |
| 37 | | | | | | | | | |
| 38 | qcm | Trabajo de compresion | 173.94 | | kJ/kg | | | | |
| 39 | Pt | Pot. Teorica para la compresion | 23957.40202 | 6.65483389 | kJ/h | kW | | | |
| 40 | Ps | | | | | | | | |
| 41 | ni | Rend. Termod. Del compresor | 0.851255459 | | | | | | |
| 42 | Pr | Potencia real | 28143.61045 | 7.81766957 | kJ/h | kW | | | |
| 43 | | | | | | | | | |
| 44 | P | Pot. Motor electrico compresor | 34852.76836 | 9.68132454 | kJ/h | kW | | | |
| 45 | nm | Rendimiento mecanico | 0.85 | | | | | | |
| 46 | ne | Rendimiento motor electrico | 0.95 | | | | | | |
| 47 | | | | | | | | | |
| 48 | | SELECCIÓN DEL EVAPORADOR | | | | | | | |
| 49 | Pcon | Potencia del condensador | 58810.17038 | 16.3361584 | | | | | |
| 50 | Pcon | Potencia del condensador | | 102.646158 | | | | | |
| 51 | FC | Factor de correccion condensador | 0.77 | | | | | | |
| 52 | Qnoi | Capacidad nominal del evaporador | 61.44155844 | | kW | | | | |
| 53 | Dia | Diametro salida de compresor | 5.1085 | 0.0051085 | mm | m | | | |
| 54 | A | Area a la salida del compresor | 8.19854E-06 | | m2 | | | | |
| 55 | V | Velocidad a la salida del compresor | 208.8652316 | | m/s | | | | |

Fuente: elaboración propia

Indiferentemente la temperatura de conservación del producto va hacer la misma para cualquier ciudad, igual la humedad relativa. La temperatura de evaporación no tiene influencia en el lugar donde se valla a instalar el sistema.

Sin embargo, la temperatura ambiente si cambia dependiendo del lugar donde se instale el equipo.

Dependiendo de las condiciones climáticas, el volumen a refrigerar, las cargas térmicas, la arquitectura y los costos; se debe realizar el análisis del sistema de

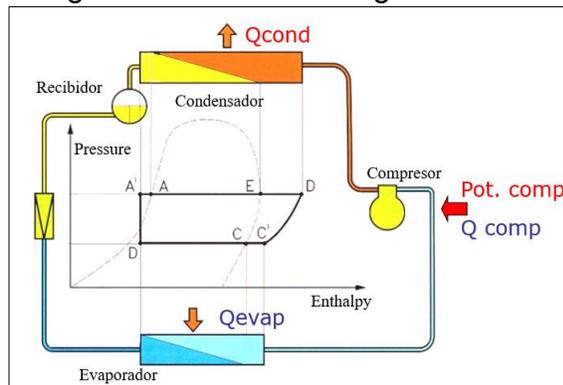
refrigeración para determinar con que fluido refrigerante se va a trabajar, así mismo los equipos van a cambiar y posiblemente los fabricantes.

Como se puede evidenciar, con solo cambiar la temperatura ambiente cambian todos los parámetros calculados. Debido al cambio de estos parámetros es necesario si se cambia esa temperatura ambiente, verificar la selección de los equipos y si es necesario cambiar los equipos por unos que cumplan los requerimientos de la matriz.

4.12 BALANCE DEL SISTEMA

Para realizar el diseño y los cálculos de cualquier sistema de refrigeración, es básico e importante realizar un balance térmico, con esto se comparan los datos obtenidos en los softwares usados y se compara con los cálculos obtenidos de forma manual.

Imagen 38. Ciclo de Refrigeración



Fuente: elaboración propia

Por la ecuación 38, se obtiene el calor del condensador, previamente se deben tener los calores de compresor y evaporador.

Ecuación 38. Calor del condensador

$$Q_{condensador} = Q_{evaporador} + Q_{compresor}$$

Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 237. ISBN: 978-970-10-5611-0

Donde:

$Q_{condensador}$ = Calor condensador

$Q_{evaporador}$ = Calor evaporador

$Q_{\text{compresor}} = \text{Calor compresor}$

De la ecuación 38, se despeja el $Q_{\text{evaporador}}$ y se toma el $Q_{\text{compresor}}$ como 2,97 kW; y se obtiene que el $Q_{\text{condensador}}$ es de 156,94 kW; el $Q_{\text{evaporador}}$ da 153,97 kW.

La ecuación 38 nos deja ver que los equipos compuestos seleccionado por medio de los software y cálculos previos en el texto, cumplen con los requisitos del sistema.

Los equipos están correctamente seleccionados; se puede contrastar el resultado de la ecuación 38, con los cálculos establecidos para seleccionar cada equipo y se evidencia que los equipos seleccionados satisfacen la necesidad y requerimientos del sistema de refrigeración.

Ecuación 39. Tasa de rechazo de calor del refrigerante

$$\dot{Q}_L = m(h_4 - h_3)$$

Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 621. ISBN: 978-970-10-5611-0

Para comprobar los datos obtenidos en el software, se calcula con la ecuación 39 la tasa de rechazo de calor del refrigerante la cual da un valor de 97,27 kW.

Se tiene que el \dot{W}_{ENTRADA} es de 13,30 (calculado en el balance del compresor); luego se procede a calcular el COP del

Ecuación 40. Coeficiente de desempeño

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{\text{entrada}}}$$

Fuente: YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. p. 621. ISBN: 978-970-10-5611-0

Desarrollando la ecuación 40, se determina que el COP es de 7,31 $\frac{\text{kW}}{\text{kW}}$

5. MANUALES

En este capítulo se desarrollarán los manuales de instalación, operación, mantenimiento y seguridad. Los manuales permiten el correcto uso de los equipos.

Todos los trabajos en el sistema de refrigeración deben ser realizados únicamente por personal de refrigeración cualificado y autorizado.

Antes de realizar el montaje de los equipos se debe verificar que la estructura soporta el peso de los equipos en funcionamiento y con todo el nivel de refrigerante.

5.1 INSTALACION

Los equipos que componen el sistema de refrigeración deben ser instalados en un lugar donde la temperatura ambiente este entre 5°C y 40°C; con humedad relativa del 75%.

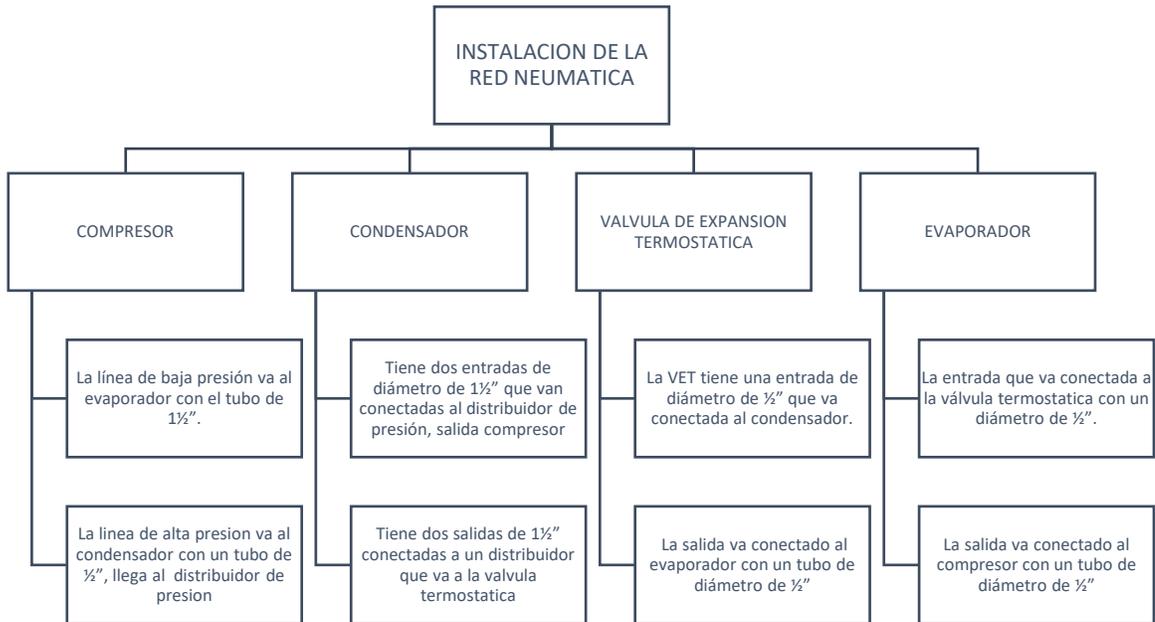
Cuando se reciba los equipos, verifique la placa del fabricante y esta debe coincidir con los datos solicitados.

Compruebe que los componentes no presenten deterioros o daños producidos en el transporte. En caso de que existan piezas deterioradas es necesario reponerlas.

Los tubos deben llevar sellador universal en los extremos y las conexiones deben ir conectadas con soldadura y/o roscadas, dependiendo el equipo. Las soldaduras no deben superar los 700°C.

El compresor cuenta con dispositivos de protección y seguridad en: el motor, líneas de alta y baja presión. Asegúrese que estos dispositivos de funcionen óptimamente.

Diagrama 5. Instalación de la red neumática



Fuente: elaboración propia

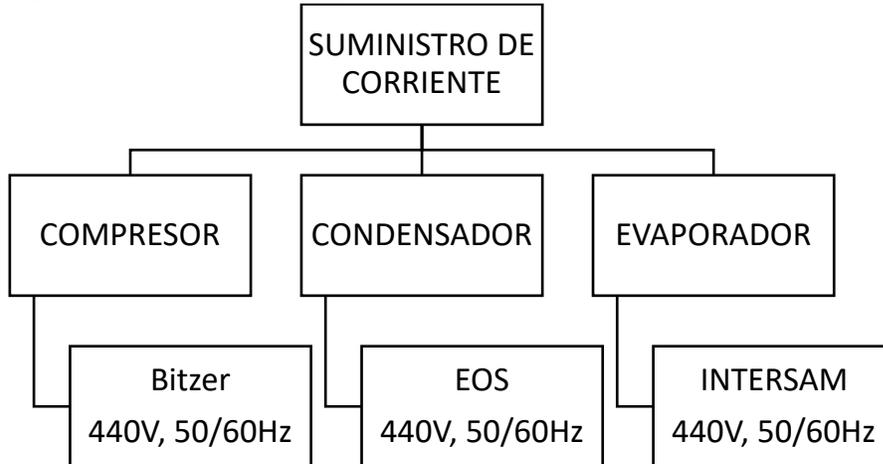
Después de realizar toda la instalación neumática se debe revisar que todos los conectores, estén bien puestos, soldados y roscados. Luego proceder a realizar una prueba de di nitrógeno bajo el protocolo de la norma UNE-EN 378-2 del 2017

Prepare las conexiones eléctricas y la toma de tierra, de acuerdo con los requisitos propuestos para cada equipo por el fabricante.

Los equipos deben ir conectados a la corriente que indica el fabricante, con una tolerancia máxima del 5%, esto generando la eficiencia óptima del equipo, y asegurando que se cubra el consumo eléctrico del equipo.

Es posible que después de la puesta en marcha de los equipos se necesite agregar refrigerante. Revise niveles de refrigerante y aceite.

Diagrama 6. Instalación eléctrica



Fuente: elaboración propia

Los equipos deben ir conectados a la red eléctrica respetando siempre la distancia mínima de cableado, propuesta por el fabricante.

Después de realizar todas las verificaciones y conexiones mencionadas anteriormente se puede proseguir a conectar las maquinas a la red eléctrica.

Verifica el correcto funcionamiento del arrancador de encendido en todos los equipos. Si el funcionamiento no es el correcto, reemplácelo por uno nuevo.

En el condensador se deben cambiar los filtros que van en las cabezas de las líneas de líquido y de aspiración, eliminando impurezas de las tuberías internas.

El condensador viene separado en parte inferior y superior. La parte superior va montada sobre la inferior. Estas partes casan perfectamente la una a la otra por medio de unos agujeros y se deben asegurar con pernos o con soldadura.

Imagen 39. Conexiones evaporador

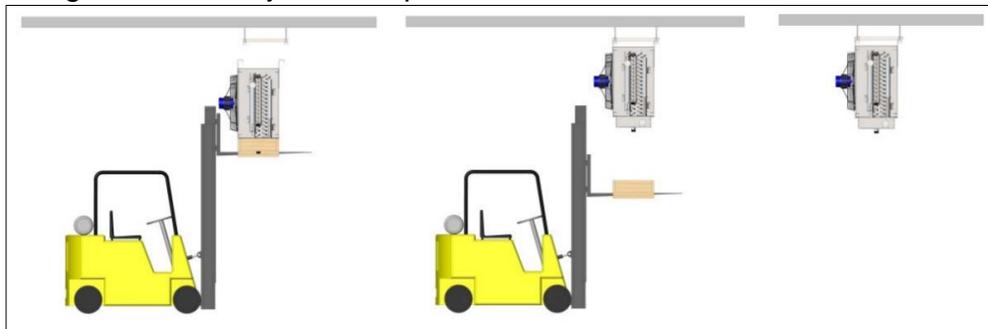


Fuente: EOS REFRIGERATION. Condensador adiabático. En: EOS REFRIGERATION. [sitio web]. Barcelona: EOS REFRIGERATION. [Consulta 15 abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.eosrefrigeration.com/wpcontent/uploads/2015/11/EOS_catalogo_CAI.pdf

El evaporador va en el techo y se deben poner sujetadores que resistan el peso del equipo en trabajo con carga de refrigerante. Cuando se tenga el lugar para colgar o sujetar el evaporador, se debe asegurar con todos los ganchos puestos en la estructura del mismo.

El evaporador se debe elevar preferiblemente con la ayuda de un montacarga a la altura prevista por el ingeniero o el fabricante.

Imagen 40. Montaje del evaporador



Fuente: COLMAC OIL. Instalación, funcionamiento y mantenimiento. [sitio web]. [Consulta: 15 mayo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.colmacoil.com/media/27151/iom-evaporadores-aplus-series-eng00019768.pdf>

Cuando el evaporador se encuentra situado en el lugar indicado se debe atornillar o soldar todos los soportes a la estructura sobre la cual está montado el evaporador.

Cuando el condensador alcance la temperatura indicada la VET, iniciara su funcionamiento de forma automática

5.1.1 Control de fugas. El alto riesgo de las fugas con refrigerante es que debido a su alta toxicad al entrar en contacto con el cuerpo humano se deben tener controlados este tipo de parámetros

5.1.2 Recomendaciones. Después de realizar todas las conexiones se propone realizar algunas actividades con el fin de conserva el buen estado de los equipos;

- ✓ Después de tener conectado todo el sistema se debe aliviar la presión del compresor, abriendo las válvulas de expulsión y de succión, luego de estar abiertas, se pueden retirar las válvulas mencionadas.
- ✓ Vaciar el depósito del aceite y poner uno totalmente nuevo de la referencia que indique el fabricante.

NOTA: El compresor no debe trabajar en ninguna circunstancia en vacío o sin refrigerante, esto puede generar daños mecánicos al momento de cargar el refrigerante sobre el mismo.

5.2 OPERACIÓN

La persona que está encargada del sistema debe conocer cómo funciona, debe tener la capacidad de comprender el interfaz del sistema de refrigeración con el proceso de sacrificio del animal. Lo anterior incluye los requerimientos de la normativa técnica.

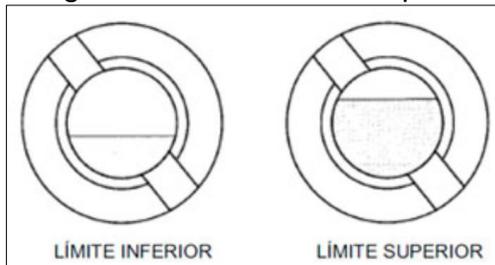
El sistema debe ser operado bajo las siguientes recomendaciones;

1. Antes de iniciar el funcionamiento del sistema de refrigeración, el operario debe haber leído y entendido las funciones de los componentes.
2. El operario debe identificar todos los componentes del sistema.
3. Se debe verificar que todos los operarios cumplan con los parámetros de seguridad industrial en el trabajo.
4. El operario debe tener a la mano los manos de cada equipo que compone el sistema general. De no tenerlos a la mano, el operario debe saber dónde encontrarlos fácil y rápidamente. justificar
5. Los componentes deben estar debidamente marcados para la fácil identificación en caso de emergencia.

5.2.1 Paso a paso inicio. Para iniciar el funcionamiento del sistema se deben ejecutar los siguientes pasos en orden:

1. Antes de iniciar todo el sistema se debe revisar niveles de aceite y de refrigerante en el compresor.

Imagen 41. Niveles del compresor



Fuente: RENAMERCR. [sitio web].
[consultado 17 mayo 2019].

Disponible en:

<http://renamecr.com/blog/index.php/2018/07/13/niveles-de-aceite-en-compresores/>

2. Revisar y apretar los elementos de fijación de los equipos (tuberías y pernos).

3. Verificar que estén los accesorios necesarios para poner a operar el sistema.

4. Verificar la apertura y cierre de las válvulas de seguridad. Estas válvulas abren en el sentido de las manecillas del reloj y se sierran en el sentido contrario a las manecillas del reloj.

Imagen 42. Válvulas de seguridad



Fuente: DANFOSS. [sitio web].
[consultado 18 mayo 2019].

Disponible en:
<https://store.danfoss.com/dk/da/KC3%B8leautomatik/Ventiler/Stop-og-afsp>

5. Revisar que todos los equipos estén conectados a la electricidad.

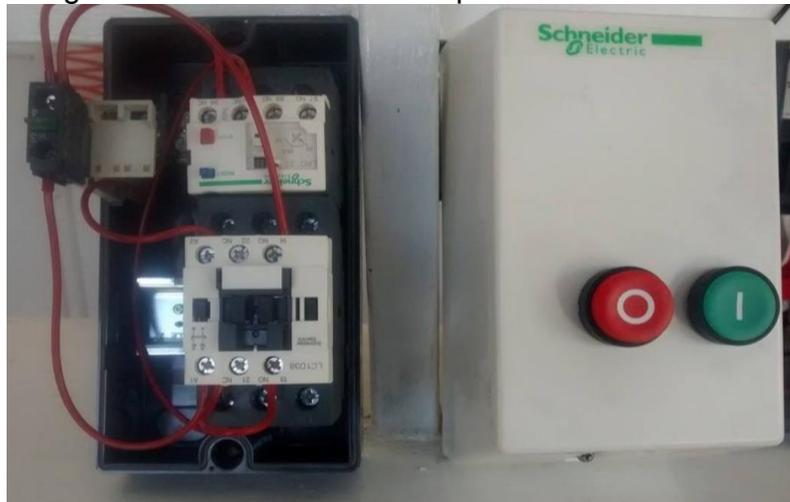
Imagen 43. Conexión de equipos a red eléctrica



Fuente: IMPORTACIONES INDUSTRIALES PERU. [sitio web]. [Consulta: 18 mayo 2019]. Disponible en: <http://pylimportaciones.com/subcategoria.php?idcat=22&idsub=70>

6. Después de realizar una verificación de los elementos y accesorios, se puede seguir a darle inicio al compresor.

Imagen 44. Arrancador del compresor



Fuente: MERCADOLIBRE COLOMBIA. [sitio web]. [consulta: 18 mayo 2019]. Disponible en <https://articulo.Mercadolibre.com.co/MCO-468522419-interruptor-pulsador-onoff-37kw-30amp- JM?qu antity=1>

7. Luego inicie el condensador y siga con el evaporador. El sistema están diseñados de tal manera que si presentan pérdidas de presión se va a desactivar de manera automática, ya que esto puede significar que hay pérdidas del refrigerante.

Imagen 45. Interruptor de encendido y apagado del condensador y evaporador



Fuente: VIDRI. [sitio web]. Santiago de Chile. VIDRI. [consulta: 15 diciembre 2019]. Pagina web. Disponible: <https://www.vidri.com.ve/producto/13930/Interruptor.html>

Si el sistema presenta perdidas de refrigerante por fugas asegurese de evacuar la planta, desactivar el sistema y llevar acabo el protocolo propuesto ya que el amoniaco es perjudicial para el cuerpo humano, en pequeñas y grandes.

El operario debe usar toda dotacion de seguridad industrial para poder ingresar a la planta despues de generada las fugas en el sistema de refrigeracion.

8. Regular la presión de entrada y de salida del compresor.

Imagen 46. Regulador de presión con válvula de seguridad



Fuente: VIDRI. [sitio web]. Santiago de Chile. VIDRI. [consulta: 15 diciembre 2019]. Página web. Disponible: <https://www.vidri.com.ve/producto/13930/Interruptor.html>

9. Cuando el sistema realice paradas de emergencia de forma automática debe revisar porque fue y si es necesario cambiar o sustituir las piezas que lo requieran

10. Realice pruebas de aire para garantizar que el lugar sea apto para el trabajo de las personas y para los procesos carnicos que se van a realizar en el lugar.

11. Después de usar el sistema es necesaria su limpieza, así como

5.2.2 Paradas programadas durante el funcionamiento. Estas paradas se pueden considerar de emergencia o paradas al finalizar el turno. Sin importar cuál de las dos sea, cuando se inicie de nuevo el sistema deber realiza el paso a paso del numeral 5.2.1.

5.2.3 Paradas no realizadas por el operario. Si el sistema se llega a detener o desactivar de manera automática, es posible que sea por fugas en el sistema o porque el sistema presenta alguna anomalía, debe revisar;

1. Los sensores de amoniaco, si indican de presencia del mismo en el ambiente, evacue la planta y llame a las líneas de emergencia. Si los sensores de amoniaco no indican presencia del mismo siga este paso a paso en orden.

2. Revise que todos los equipos estén conectados a la red eléctrica y encendidos.
3. Revise que todas las válvulas estén abiertas.
4. Verifique que las partes móviles de los equipos estén libres de objetos que impidan su correcto movimiento o funcionamiento.
5. Si ve que el fallo no es solucionado por ninguna de las acciones mencionadas en este numeral, comuníquese con profesional o con representante del fabricante.

5.2.4 Durante el funcionamiento. El operario debe estar en constante inspección, de que los diferentes equipos no tengan fugas. Si detecta fugas en el sistema debe realizar una parada de emergencia, como se menciona en el numeral 5.4.2.1

5.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO

Antes de realizar cualquier tipo de operación se debe confirmar que el sistema en general este desconectado de la red eléctrica, las válvulas cerradas y los elementos móviles que representen un riesgo para el operario, estén bloqueados.

El mantenimiento que se le realiza debe contemplar inspecciones, ajustes y lubricación en general al sistema.

Los ajustes al sistema en general, se deben realizar en tiempos cortos y de forma periódica. Principalmente verificar (tornillos, anclajes, estructura).

Los agentes de limpieza deben estar suministrados por el fabricante, con el fin de prolongar la vida útil de los equipos.

5.3.1 Compresor. Cuando valla a realizar trabajos de mantenimiento sobre el compresor, apague y retire los fusibles del motor eléctrico, si es posible desconecte o desenchufe el sistema.

Se recomienda una vez por semana, controlar el compresor e inspeccionar si hay fugas o incrustaciones en el aceite y demás partes del mismo.

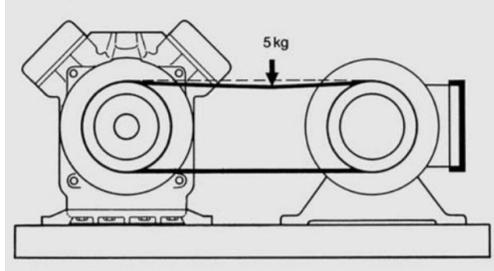
El aceite se debe cambiar cada 500 horas; y con él también se debe cambiar el filtro separador de aceite e impurezas.

Si el compresor se opera por más de 3.000 horas al año, el fabricante proporciona un manual de mantenimiento especial.

El compresor usa correa en V; este tipo de correa requiere una inspección en cada mantenimiento, esta correa debe resistir una carga puntual de 5 kg (Imagen 30), la

distancia que se desplaza la correa con esa carga es de máximo 17 milímetros. Si llegase a ser mayor, se debe reemplazar la correa.

Imagen 47. Inspección correa en V



Fuente: BITZER. Reciprocating Compressors. En: BITZER. Alemania: BITZER. [sitio web]. [Consulta: 21 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/kp-520-3.pdf

El mantenimiento al compresor se debe realizar cada 6 meses, en las siguientes áreas:

1. Revisión de niveles y estado de lubricante. El nivel debe estar en el mínimo indicado, si está por debajo se debe añadir más aceite y supervisar el equipo por un lapso de 3 a 4 horas de operación continua, con ello se puede saber la causa del bajo nivel. Se debe tener en cuenta la tasa de retorno de aceite del sistema antes de añadir más aceite
2. Los empaques del compresor deben mantener la hermeticidad adecuada para evitar pérdidas del refrigerante. Si los empaques están viejos, corroídos o desgastados se deben cambiar.

Imagen 49. Sellos mecánicos



Fuente: BITZER. Reciprocating Compressors. En: BITZER. Alemania: BITZER. [sitio web]. [Consulta: 21 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/kp-520-3.pdf

5.3.1.1 Lista de verificación del mantenimiento. Cada vez que se efectúen tareas de mantenimiento se deben revisar las siguientes partes del compresor: nivel y temperatura del lubricante, vibraciones, interruptor de frecuencia, válvulas del internas y externas del compresor, sellos, voltaje de la conexión eléctrica que llega a los equipos y verificación de las operaciones (temperatura de evaporación, condensación, succión y descarga).

En cada mantenimiento se debe actualizar el protocolo de datos.

5.3.2 Condensador y evaporador. El mantenimiento al condensador y evaporador se debe realizar de forma periódica y llevando un control físico o digital de las operaciones realizadas.

Sin embargo, lo anterior no excluye al operario de realizar una breve inspección visual del equipo cuando inicia y cuando termina las operaciones.

Se debe determinar por el operario si es necesario el descongelamiento del equipo o en dado caso del sistema. Puede darse el caso que sea necesario modificar la cantidad de ciclos de descongelamiento.

Se incluyen los dos (condensador y evaporador) como un solo ítem ya que el mantenimiento de ambos es muy similar.

La primera inspección debe realizarse a las primeras 24 horas de funcionamiento del equipo, donde se verifican: ruidos, vibraciones, comprobar que las entradas y salidas de aire estén despejadas, comprobar fugas en las conexiones, controlar el nivel de agua y de refrigerante presente en los equipos.

Se debe realizar una limpieza periódica de los filtros de aspiración.

Luego de realizar la primera inspección al equipo (primeras 24 horas de funcionamiento), se debe realizar el mantenimiento cada 4.000 horas de trabajo, en los siguientes lugares:

1. El rendimiento del condensador depende de la limpieza de la superficie. El mantenimiento a este equipo empieza lavando con agua a presión las superficies de intercambio, así se eliminan aceites y gases no condensados del circuito.

Imagen 50. Lavado del condensador



Fuente: AIRE ACONDICIONADO INDUSTRIAL. Tampa. AIRE ACONDICIONADO INDUSTRIAL. [sitio web]. [consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: http://aireacondicionado-industrial.es/página-inicial/p_32/

2. En el mantenimiento al evaporador, también se deben lavar las entradas de aire ya que estas le dan un óptimo rendimiento al equipo

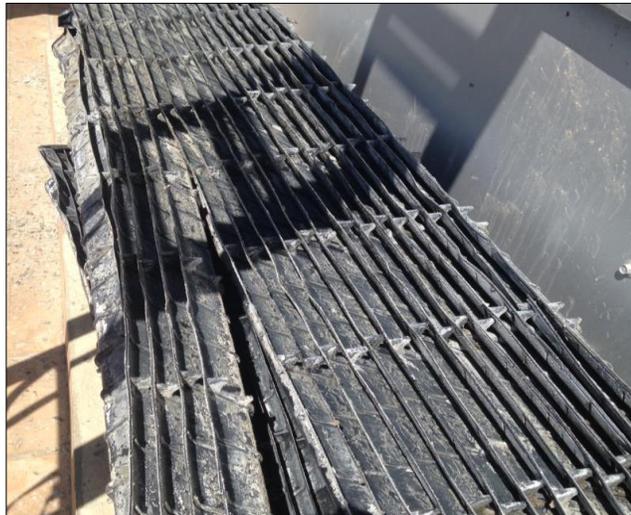
Imagen 51. Lavado del evaporador



Fuente: AIRE ACONDICIONADO INDUSTRIAL. Tampa. AIRE ACONDICIONADO INDUSTRIAL. [sitio web]. [consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: http://aireacondicionado-industrial.es/página-inicial/p_32/

3. Revisar que los equipos no tengan averías, golpes o deformaciones en los disipadores de calor o placas que no permitan la correcta transferencia de calor.

Imagen 52. Placas dañadas



Fuente: AIRE ACONDICIONADO INDUSTRIAL. Tampa. AIRE ACONDICIONADO INDUSTRIAL. [sitio web]. [consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: http://aireacondicionado-industrial.es/página-inicial/p_32

4. Revisar y apretar todas las conexiones eléctricas, cableado y aislamientos
5. Mantenimiento de los motores de los ventiladores, cambio de escobillas, ajuste de pernos de montaje de motor y cambio de las piezas que lo requieren.
6. Si encuentra algún aspa o extractor rota se debe reemplazar por una en perfectas condiciones

Imagen 53. Aspa rota



Fuente: AIRE ACONDICIONADO INDUSTRIAL. Tampa. AIRE ACONDICIONADO INDUSTRIAL. [sitio web]. [consulta: 22 mayo 2019]. Disponible en: http://aireacondicionado-industrial.es/página-inicial/p_32

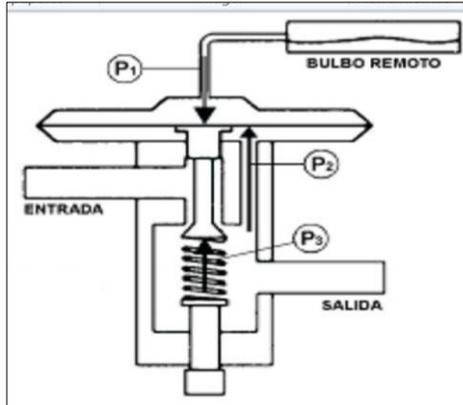
7. Revisar el nivel de refrigerante y que no haya fugas en el sistema
8. Durante el mantenimiento es importante verificar que todos los controles de seguridad funcionen adecuadamente

5.3.3 Válvula de expansión. El sistema de expansión termostático requiere un mantenimiento periódico que se debe realizar cada 6 meses.

El mantenimiento debe contemplar las siguientes actividades;

1. Revisar el correcto funcionamiento del bulbo remoto

Imagen 54. Bulbo remoto de la válvula de expansión



Fuente: CLIMA MONTERREY.
Monterrey: CLIMA
MONTERREY [sitio web].
[consulta: 25 mayo 2019].
Disponible en:
<https://www.climamonterrey.com/cual-es-el-tipo-de-carga-del-bulbo-remoto>

2. Observar las condiciones del tubo capilar, si ve fallas, sustituya el componente
3. Verifique que la válvula opere con el refrigerante correcto, las temperaturas y presiones de condensación y evaporación, que la potencia frigorífica sea la adecuada y el estado de las conexiones eléctricas
4. Gire manualmente el vástago de la válvula y compruebe el estado del resorte
5. Verifique el contacto térmico entre el bulbo y la línea de succión y asegúrese de fijar bien las abrazaderas para que el bulbo tenga buen contacto con la línea de succión. Un apriete excesivo puede dañar el bulbo

5.3.4 Tubería. La inspección se debe realizar de forma visual. Si es necesario con la maquina en funcionamiento.¹³⁰

Cuando se realicen trabajos de inspección a las tuberías se deben revisar;

1. Fugas en las tuberías del sistema
2. Los aislantes de los tubos deben estar en buen estado

¹³⁰ INSTITUTO INTERNAIONAL DE REFRIGERACIÓN POR AMONIACO. Op. cit., p. 49.

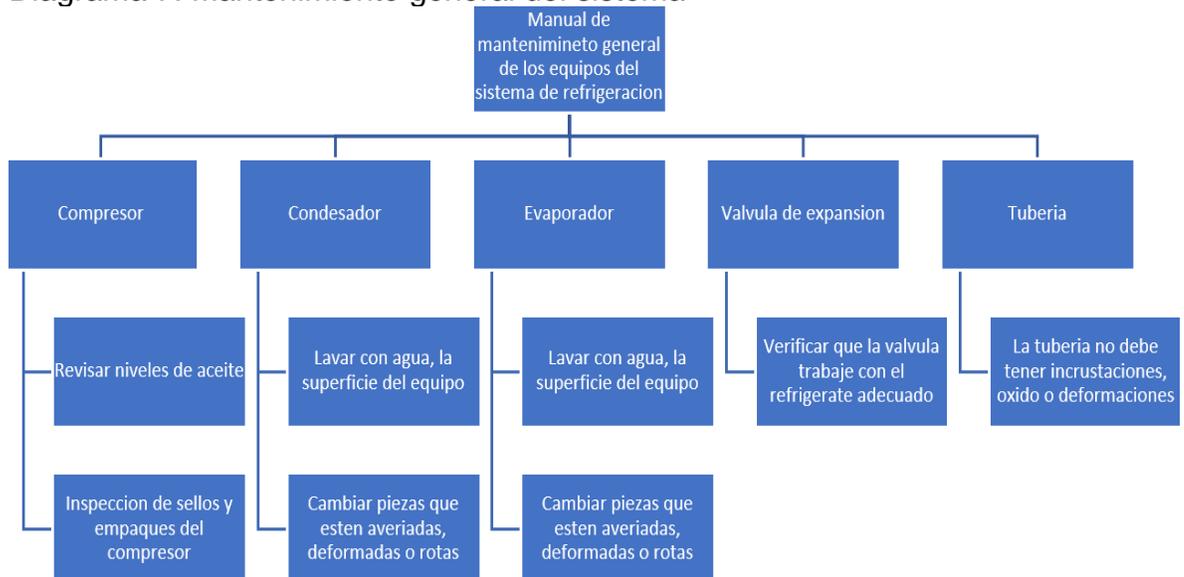
3. El sellador universal se encuentre presente en la tubería
4. Verificar que tuberías y equipos se encuentren limpios y libres de polvo
5. Realizar una inspección visual de corrosión, incrustaciones, deterioro de las uniones de las tuberías, penetraciones de raíces en el interior de la tubería. Si en la inspección se encuentran alguno de los aspectos mencionados anteriormente se debe cambiar todo el tramo de tubería

Imagen 55. Tubería en mal estado



Fuente: TLV. [sitio web]. Brasil. [consulta: 29 mayo 2019]. Sitio web. Disponible en: <https://www.tlv.com/global/LA/steam/corrosion.html>

Diagrama 7. Mantenimiento general del sistema



Fuente: elaboración propia

Los fabricantes de los equipos presentan algunas de las fallas más comunes en los equipos fabricados por ellos, estas fallas pueden ser generadas por sobredimensión de los equipos, también por mala operación del sistema.

Los fabricantes proponen el problema y dan algunas pautas para solucionar estos problemas y realizar los cambios respectivos. Ver Anexo

5.4 MANUAL DE SEGURIDAD

Los operarios deben contar con las normas de seguridad industrial.

El manejo incorrecto puede causar lesiones graves en piel y ojos, se debe usar gafas de seguridad mientras trabaja en el sistema de refrigeración.

Antes de abrir cualquier conexión del sistema de refrigeración debe haberse liberado la presión de ese punto.

5.4.1 Operario. El operario debe contar con implementos mínimos de seguridad personal e industrial, como;

- ✓ Gafas de seguridad
- ✓ Tapabocas
- ✓ Botas dieléctricas
- ✓ Casco
- ✓ Guantes

Imagen 56. Implementos de seguridad para los operarios de mantenimiento.



Fuente: elaboración propia

5.4.1.1 Equipo necesario. Durante la permanencia de cualquier persona dentro de la planta, debe disponer de los siguientes elementos: Overol, delantal en material impermeable, tapa bocas, botas impermeables, bolsa para el cabello, guantes.

Imagen 57. Implementos de seguridad para el operario de planta



Fuente: elaboración propia

5.4.1.2 Condiciones seguras. Antes de encender el sistema de refrigeración el operario debe revisar: el estado óptimo de cables, enchufes, tuberías y aspas de los ventiladores.

5.4.1.3 Parada de emergencia. En dado caso que se necesite detener el sistema por cualquier motivo, se debe identificar donde están ubicadas las válvulas de emergencia del sistema, por parte del operario antes de iniciar el proceso.

Imagen 58. Válvulas de emergencia.



Fuente: elaboración propia

La pérdida de refrigerante en el sistema puede generar riesgos altos para el operario.

5.4.2 Mantenimiento. En el mantenimiento de cualquier equipo se debe verificar que este apagado, desconectado de la fuente de energía y en lo posible con los fusibles afuera. El equipo no debe estar en funcionamiento. Es decir que el mantenimiento se debe realizar bajo condiciones seguras. Ver 6.4.2.1

En algún caso se requiera que los equipos estén en funcionamiento, se deben tener medidas de seguridad, siempre protegiendo la salud e integridad física del operario. En estos casos no se deben usar guantes, tener el cabello recogido y estará prohibido usar cualquier prenda o accesorio que eleve el nivel de riesgo.

5.4.2.1 Condiciones seguras. Antes de iniciar el procedimiento de mantenimiento, el operario debe tener en cuenta los siguientes aspectos;

- El sistema debe estar desenergizado o desconectado de la fuente de energía
- Las partes móviles del sistema deben estar correctamente bloqueadas
- Los cilindros deben estar en posición de reposo

Imagen 59. Estado óptimo de los equipos



Fuente: elaboración propia

5.4.3 Fugas. El fluido refrigerante que se está trabajando es amoníaco (R-717), el cual tiene propiedades químicas altamente corrosivas en forma de gas incoloro. Al entrar en contacto con el cuerpo, por vías respiratorias o por el sistema digestivo.

Los síntomas al aspirar amoníaco en el cuerpo humano son tos, irritación y lagrimeo.

Los equipos cuentan con un sistema de seguridad que permiten detectar fugas presentes en los diferentes puntos del sistema, este sistema de seguridad detecta la despresurización y apaga directamente el equipo.

Si el sistema presenta este tipo de paradas realice el procedimiento completo mencionado en el numeral 5.2.3.

6. EVALUACION DE CUMPLIMIENTO

Después de realizar todo el diseño detallado del sistema de refrigeración se procede a realizar la evaluación de la cadena de frío, bajo los mismos parámetros y criterios que se tuvieron en la “Evaluación técnica de la cadena de frío en Colombia, para ACAIRE”.

En dicha evaluación se determinaron rangos de cumplimiento por medio de criterios de evaluación aplicados a ciertos ítems valorados.¹³¹ Los cuales se explican en la tabla 17.

Tabla 20. Criterios de evaluación

| Rango de cumplimiento | Criterio de operación |
|-----------------------|-----------------------|
| 95% - 100% | Optima |
| 75% - 94,99% | Condicionado |
| 50% - 74,99% | Deficiente |
| <50% | No cumple |

Fuente: CALVO, Santiago y BARRERA Juan; Evaluación técnica de la cadena de frío en la producción de carne bovina en Colombia, para ACAIRE; Trabajo de grado para optar al grado de Ingeniería Mecánica; Bogotá D.C.; Universidad de América, 2018.

En la evaluación técnica de la cadena de frío se evaluaron todos los procesos, ambientes y equipos involucrados en la misma. Para este caso solamente se evaluarán los procesos, ambientes y equipos involucrados en la sala de sacrificio.

6.1 PROCESOS Y AMBIENTES

Los autores de la “Evaluación técnica de la cadena de frío en Colombia, para ACAIRE”, diseñaron un formato de cumplimiento con base a toda la normativa técnica nacional. Este formato tiene dos criterios de evaluación para las diferentes condiciones, 1 cuando si cumple y 0 cuando no cumple; luego se procede a realizar la suma de todos los ítems evaluados y se obtiene el porcentaje total de la ejecución de la ley.¹³²

Después de tener el porcentaje de cumplimiento de cada ley, se suma el porcentaje de todas y se obtiene el cumplimiento general.

Para la resolución 242 de 2.013 se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones;

¹³¹ CALVO, Santiago y BARRERA Juan. Ob. cit. p. 133

¹³² Ibid. p. 133

Tabla 21. Valoración de acuerdo a la resolución 242 de 2.013, para el sacrificio

| Ítem | Condición | Evaluación | Valoración |
|------|--|---|------------|
| 1 | Temperatura máxima ambiente de 12°C | El proceso se realiza en la noche, para garantizar que la temperatura máxima ambiente sea de 12°C | 1 |
| 2 | Área compatible con el proceso | La planta está distribuida de tal forma que todos los procesos requeridos se puedan realizar | 1 |
| 3 | Áreas independientes | La planta no cuenta con áreas independientes, todas las operaciones se realizan en un cuarto en distintos pasos | 0 |
| 4 | Procesos unidireccionales | Todos los procesos son realizados en una sola dirección, no se necesitan desvíos | 1 |
| 5 | Áreas señalizadas | Todas las áreas de la planta están señalizadas dependiendo del proceso y de la normativa | 1 |
| 6 | Ventanas adecuadas para la circulación de aire | La planta de sacrificio no posee ventanas, solamente la puerta de ingreso y salida | 0 |
| 7 | Ventilación adecuada | No existen ventanas en la planta. Sin embargo, se garantiza una ventilación adecuada por medio del evaporador | 1 |

Fuente: elaboración propia con base en CALVO, Santiago y BARRERA Juan; Evaluación técnica de la cadena de frío en la producción de carne bovina en Colombia, para ACAIRE; Trabajo de grado para optar al grado de Ingeniería Mecánica; Bogotá D.C.; Universidad de América, 2018.

Para la resolución 240 de 2.013 se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones;

Tabla 22. Valoración de acuerdo a la resolución 240 de 2.013 para el sacrificio

| Ítem | Condición | Evaluación | Valoración |
|------|--|--|------------|
| 1 | Reduce dolor de los animales | En el sacrificio, se disminuye el dolor del animal debido a que el cajón de aturdimiento, esta diseñado para que el ganado no sienta dolor | 1 |
| 2 | Adecuación del sitio respecto al volumen de sacrificio | La planta de sacrificio está1 diseñada para sacrificar 10 canales por hora | 1 |
| 3 | Se evita la contaminación cruzada entre operaciones | No hay áreas independientes para cada proceso. | 0 |
| 4 | Utilización de utensilios sanitarios | Durante el proceso se utilizan utensilios de acero inoxidable, de material sanitario e higiénico y sin corrosión | 1 |

Fuente: elaboración propia con base en CALVO, Santiago y BARRERA Juan; Evaluación técnica de la cadena de frio en la producción de carne bovina en Colombia, para ACAIRE; Trabajo de grado para optar al grado de Ingeniería Mecánica; Bogotá D.C.; Universidad de América, 2018.

Para la evaluación del Decreto 2278 de 1.982 se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones;

Tabla 23. Valoración de acuerdo al decreto 2278 de 1.982 para el sacrificio

| Ítem | Condición | Evaluación | Valoración |
|------|--|--|------------|
| 1 | Paredes cubiertas con material sanitario, higiénico, impermeable y no absorbente | Las paredes de la planta de sacrificio, están diseñadas con materiales sanitarios, impermeables, higiénicos, no absorbentes y lavables | 1 |
| 2 | Esquinas a media caña o sin filo en las esquinas | La construcción de la planta de sacrificio esta esta sin filos a 90°, todas las esquinas son a media caña, evitando la contaminación | 1 |
| 3 | Paredes resistentes a choques | El material del que está construida la planta, esta seleccionado para resistir el posible impacto del ganado en las paredes | 1 |

Fuente: elaboración propia con base en CALVO, Santiago y BARRERA Juan; Evaluación técnica de la cadena de frio en la producción de carne bovina en Colombia, para ACAIRE; Trabajo de grado para optar al grado de Ingeniería Mecánica; Bogotá D.C.; Universidad de América, 2018.

Para la evaluación del manual de procedimientos del animal durante el sacrificio y matanza de bovinos se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones;

Tabla 24. Valoración del manual de procedimientos del animal

| Ítem | Condiciones | Evaluación | Valoración |
|------|---|---|------------|
| 1 | Cajón de aturdimiento con dimensiones que impidan la movilidad del animal | El cajón de aturdimiento, cumple con las medidas adecuadas para que el animal no tenga mayor movimiento cuando este en el interior del mismo | 1 |
| 2 | Sangre recogida en tanques de acero inoxidable | Cuando se procede a recoger la sangre es deposita en tinas de concreto y luego se procede a recogerla en tanques de acero inoxidable para ser transportadas | 1 |

Fuente: elaboración propia con base en CALVO, Santiago y BARRERA Juan; Evaluación técnica de la cadena de frío en la producción de carne bovina en Colombia, para ACAIRE; Trabajo de grado para optar al grado de Ingeniería Mecánica; Bogotá D.C.; Universidad de América, 2018.

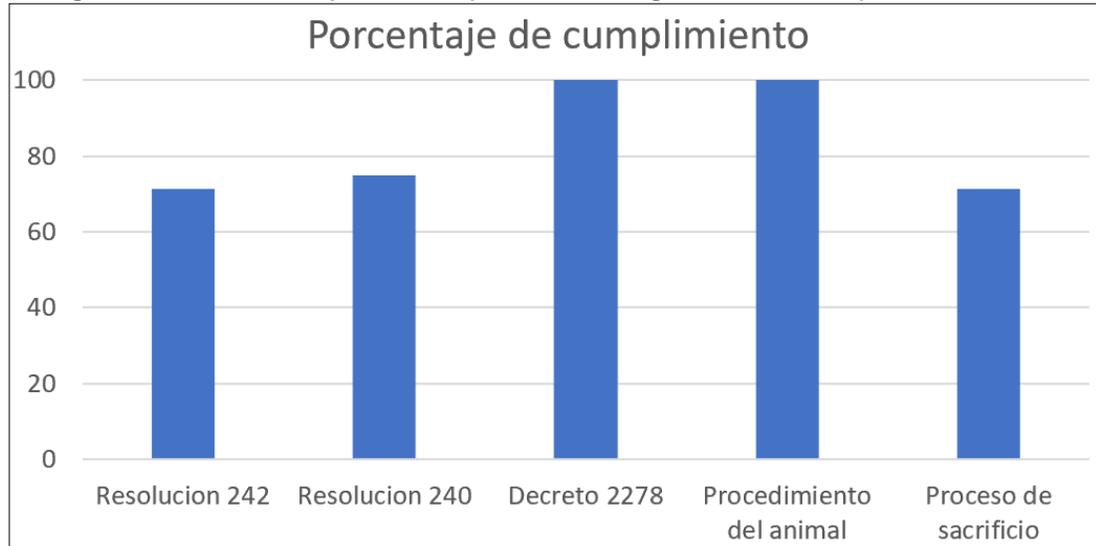
Tabla 25. Tabla de valoración del proceso de sacrificio

| Ítem | Condiciones | Evaluación | Valoración |
|------|--|---|------------|
| 1 | Tiempo de permanencia en los corrales de llegada de 12 horas | El tiempo de llegada del animal es de aproximadamente 6 horas. Sin embargo, para llevar adecuadamente el proceso se deben garantizar las 12 horas de permanencia en los corrales | 0 |
| 2 | Conducción al aturdimiento tranquila | La conducción está diseñada de tal forma que el animal no vea su sombra ni se sienta encerrado, el animal no es gritado ni es manipulado por los operarios | 1 |
| 3 | Aturdimiento con un solo disparo | Se realiza la pérdida de conocimiento del animal con un solo disparo | 1 |
| 4 | Uso de pistola neumática | El cajón de aturdimiento tiene como método de insensibilización la pistola neumática | 1 |
| 5 | Tiempo máximo de 30 segundos desde el aturdimiento hasta el sangrado | El cajón de aturdimiento está ubicado de tal forma que el después de que el animal pierda el conocimiento, sea colgado inmediatamente sin tener que ser trasladado a otro lugar para proceder al sangrado | 1 |
| 6 | Circulación por rieles en material sanitario | Los rieles son en material higiénico, sanitario, impermeable y no absorbente | 1 |
| 7 | Desmembramiento de cabeza y patas en otras salas | La cabaza y las patas del animal en el mismo ambiente donde está el cajón de aturdimiento y se realiza el proceso de sangrado del mismo | 0 |

Fuente: elaboración propia con base en CALVO, Santiago y BARRERA Juan; Evaluación técnica de la cadena de frío en la producción de carne bovina en Colombia, para ACAIRE; Trabajo de grado para optar al grado de Ingeniería Mecánica; Bogotá D.C.; Universidad de América, 2018.

Con base en las evaluaciones realizadas se procede a obtener el cumplimiento porcentual en la siguiente grafica de cada una de las normas.

Diagrama 8. Porcentaje de cumplimiento, según normativa para el sacrificio



Fuente: elaboración propia

Se observa que el nuevo porcentaje de cumplimiento de la cadena de frío en el proceso de sacrificio sube considerablemente. Esto deja evidenciar que los procesos cumplen en su gran mayoría con la normativa técnica nacional.

Con un total de cumplimiento de 83,571%, en el eslabón; se evidencia que aún hay procesos y ubicaciones dentro de la planta de sacrificio por mejorar.

6.2 DESEMPEÑO DE EQUIPOS

La evaluación del rendimiento de los equipos se realiza por medio de las cargas térmicas calculadas y las cargas térmicas de los equipos.

6.2.1 Capacidades térmicas. Se elabora una tabla donde se evalúan la carga térmica total y la capacidad del evaporador seleccionado del sistema de refrigeración.

Cuadro 6. Capacidades térmicas del sistema de refrigeración

| Capacidad del evaporador a 0°C (kW) | Carga térmica calculada a 0°C(kW) | % de cumplimiento |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| 73,589 | 47,310 | 155,546 |

Fuente: elaboración propia con base en CALVO, Santiago y BARRERA Juan; Evaluación técnica de la cadena de frío en la producción de carne bovina en Colombia, para ACAIRE; Trabajo de grado para optar al grado de Ingeniería Mecánica; Bogotá D.C.; Universidad de América, 2018.

En este eslabón se obtiene un 284,29% de cumplimiento a 0°C, es importante resaltar que el rango de temperatura en el interior de la planta es de -18°C a 12°C, esto quiere decir, que a otras posibles temperaturas el porcentaje de cumplimiento pueda tener pequeñas variaciones.

6.3 INFRAESTRUCTURA DE EQUIPOS

Por medio de los siguientes parámetros se procede a la evaluación de los equipos.

Tabla 26. Parámetros de calificación de equipos

| Ítem | Evaluación | Valor | Condición evaluativa |
|--------------------|---|-------|---|
| Ambiente instalado | Se evalúa que el equipo este instalado en el ambiente adecuado para su trabajo | 1 | Si se está instalando en un ambiente adecuado |
| | | 0 | No se está instalando en un ambiente adecuado |
| Accesibilidad | Se evalúa que el equipo tenga fácil accesibilidad a la hora de realizar una intervención | 1 | El equipo tiene fácil accesibilidad |
| | | 0 | El equipo no tiene fácil accesibilidad |
| Estado del equipo | Se verifica el estado del equipo, que no posea corrosión, funcionamiento adecuadamente, entre otros | 1 | El equipo se encuentra en buen estado |
| | | 0 | El equipo no se encuentra en buen estado |

Fuente: elaboración propia con base en CALVO, Santiago y BARRERA Juan; Evaluación técnica de la cadena de frío en la producción de carne bovina en Colombia, para ACAIRE; Trabajo de grado para optar al grado de Ingeniería Mecánica; Bogotá D.C.; Universidad de América, 2018.

Tabla 27. Calificación de equipos

| Ítem | Evaluación | Calificación |
|-----------------------------|---|--------------|
| Compresor | | |
| Ambiente Aislado | La ubicación del compresor no afecta la carga térmica del evaporador | 1 |
| Accesibilidad | La ubicación del compresor permite fácil acceso para mantenimiento y/o inspecciones periódicas | 1 |
| Estado del equipo | Son equipos totalmente nuevos, los cuales están en perfectas condiciones y dentro de la garantía del fabricante | 1 |
| Condensador | | |
| Ambiente Aislado | El condensador se encuentra ubicado en el techo de la planta, con esto garantiza que el calor es emitido al ambiente | 1 |
| Accesibilidad | El condensador está ubicado en el techo de la planta, con fácil acceso para mantenimiento y/o inspecciones periódicas | 1 |
| Estado del equipo | Son equipos totalmente nuevos, los cuales están en perfectas condiciones y dentro de la garantía del fabricante | 1 |
| Válvula de expansión | | |
| Ambiente Aislado | La válvula esa ubicada muy cerca al evaporador, y se concluye que está en el ambiente adecuado | 1 |
| Accesibilidad | El equipo está ubicado en el techo, del interior de la planta de sacrificio, se puede realizar inspección visual simple o manipular por medio de una escalera | 0 |
| Estado del equipo | Son equipos totalmente nuevos, los cuales están en perfectas condiciones y dentro de la garantía del fabricante | 1 |
| Evaporador | | |
| Ambiente Aislado | El evaporador está instalado en un ambiente de frío, con las condiciones adecuadas para su funcionamiento | 1 |
| Accesibilidad | El equipo está ubicado en el techo, del interior de la planta de sacrificio, se puede realizar inspección visual simple o manipular por medio de una escalera | 0 |
| Estado del equipo | Son equipos totalmente nuevos, los cuales están en perfectas condiciones y dentro de la garantía del fabricante | 1 |

Fuente: elaboración propia con base en CALVO, Santiago y BARRERA Juan; Evaluación técnica de la cadena de frío en la producción de carne bovina en Colombia, para ACAIRE; Trabajo de grado para optar al grado de Ingeniería Mecánica; Bogotá D.C.; Universidad de América, 2018.

Después de tener los parámetros sobre los cuales se va a evaluar cada equipo se procede a evaluarlos bajo las condiciones contempladas en la tabla ##. Parámetros de calificación de equipos.

Se obtiene que el porcentaje de cumplimiento de los equipos es de 83,333%, lo que significa que estos equipos están en condiciones óptimas para el trabajo que van a realizar.

6.4 VALORACION DE LA CADENA DE FRIO EN LA PLANTA DE SACRIFICIO

Con base en los porcentajes obtenidos en cada ítem evaluado, se realiza un promedio total para encontrar un porcentaje de cumplimiento de la cadena de frio en la planta de sacrificio

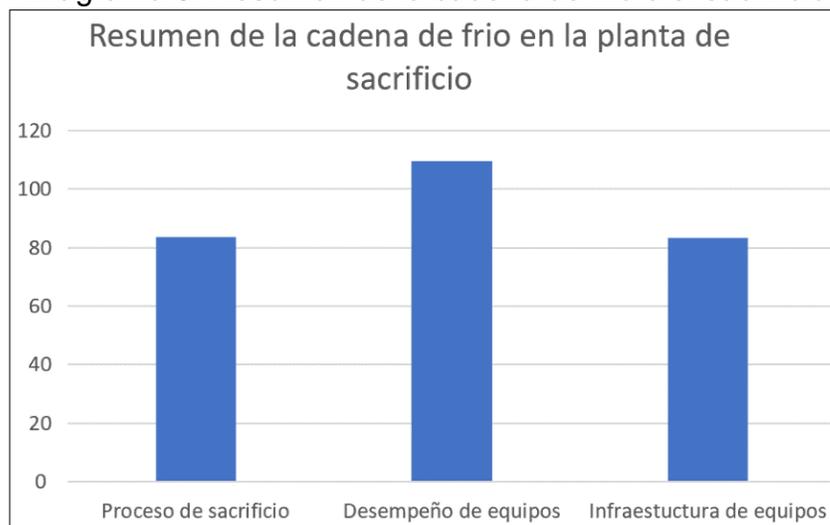
En la tabla 25, se muestra el porcentaje de cumplimiento y de calificación de los equipos, procesos y el desempeño.

Tabla 28. Resumen de la cadena de frio en el sacrificio

| Ítem | Porcentaje de cumplimiento [%] |
|----------------------------|--------------------------------|
| Proceso de sacrificio | 83,571 |
| Desempeño de equipos | 109,509 |
| Infraestructura de equipos | 83,333 |

Fuente: elaboración propia

Diagrama 9. Resumen de la cadena de frio e el sacrificio



Fuente: elaboración propia

El porcentaje de cumplimiento de la cadena de frio en la planta de sacrificio de ganado bovino es de 92,137%.

En la evaluación técnica de la cadena de frío se determinó que el porcentaje de cumplimiento de la cadena de frío en la planta de sacrificio era de 57,583%.¹³³ Esto quiere que el diseño de este sistema de refrigeración aumenta en 34,554% el cumplimiento de la cadena de frío, en la planta de sacrificio.

A continuación, se tomarán como base los porcentajes de los otros eslabones de la cadena de frío obtenidos de la “Evaluación técnica de la cadena de frío en Colombia, para ACAIRE”; con el fin de determinar el nuevo porcentaje total de cumplimiento de la cadena de frío en general.

Tabla 29. Porcentaje de cumplimiento, cadena de frío en producción de carne bovina

| PROCESO | % DE CUMPLIMIENTO |
|-----------------|-------------------|
| Sacrificio | 92,137 |
| Transporte | 67,859 |
| Almacenamiento | 60,665 |
| Sala de proceso | 77,497 |
| Exhibición | 66,475 |
| Total (%) | 72,926 |

Fuente: elaboración propia

Como conclusión, vemos en la tabla 29. Que el porcentaje de cumplimiento de la cadena de frío en la producción de carne bovina que el total aumenta de 66,475% a 72,926% y este sistema de refrigeración cumple con la normativa técnica nacional.

¹³³ CALVO, Santiago y BARRERA Juan; Op.cit., p. 165

7. EVALUACION AMBIENTAL

La evaluación ambiental busca medir el impacto sobre el cambio climático, que el sistema de refrigeración pueda generar en el lugar de instalación. Estos sistemas pueden generar alteraciones al ambiente exterior o interior.

Para realizar la evaluación ambiental se identifican los efectos significativos que se puedan presentar en la construcción y en el funcionamiento del sistema.

7.1 PARAMETROS DE EVALUACIÓN

La evaluación ambiental se efectuará con los siguientes parámetros;

7.1.1 Alcance (A). Se refiere al área de influencia del impacto en relación con el entorno donde se genera¹³⁴.

Tabla 30. Escala de valor

| Criterio | Valoración |
|--|------------|
| El impacto queda confinado dentro del área de generación | 1 |
| Trasciende los límites del área | 5 |
| Tiene consecuencias a nivel regional | 10 |

Fuente: elaboración propia

7.1.2 Probabilidad (P). Se refiere a la posibilidad de generación del impacto y está relacionado con la regulación o la normativa¹³⁵.

Tabla 31. Escala de valor

| Criterio | Valoración |
|---------------------------------|------------|
| Posibilidad baja de que suceda | 1 |
| Posibilidad media de que suceda | 5 |
| Posibilidad alta de que suceda | 10 |

Fuente: elaboración propia

7.1.3 Duración (D). Es la alteración de un recurso en un lapso de tiempo definido en la normativa¹³⁶.

¹³⁴ SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE. Diligenciamiento de la matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales. p. 10. En: SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE. [sitio web]. Bogotá: SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE. [consulta: 7 mayo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/2426046/INSTRUCTIVO_MATRIZ_EIA.pdf

¹³⁵ Ibid., p. 10.

¹³⁶ Ibid., p. 10.

Tabla 32. Escala de valor

| Criterio | Valoración |
|----------------------------|------------|
| Lapso de tiempo corto | 1 |
| Lapso de tiempo moderado | 5 |
| Lapso de tiempo permanente | 10 |

Fuente: elaboración propia

7.1.4 Recuperabilidad (R). Es la posibilidad de que después de generado el impacto, el ambiente tenga pueda reconstruirse de forma total o parcial. En algunos casos específicos se evalúa directamente con la normativa técnica vigente¹³⁷.

Tabla 33. Escala de valor

| Criterio | Valoración |
|---|------------|
| Efecto reversible por medio de actividades humanas | 1 |
| Disminución del efecto por medidas de control a un estándar determinado | 5 |
| Recursos afectados no retornan a las condiciones iniciales | 10 |

Fuente: elaboración propia

7.1.5 Cantidad (C). Es el número de unidades, o de porción que genera una alteración al impacto generado¹³⁸.

Tabla 34. Escala de valor

| Criterio | Valoración |
|--------------------------------------|------------|
| Alteración mínima del recurso | 1 |
| Alteración moderada del recurso | 5 |
| Alteración significativa del recurso | 10 |

Fuente: elaboración propia

7.1.6 Normatividad (N). Se refiere a las normativas técnicas que puedan existir para regular de una u otra forma el impacto que se pueda generar¹³⁹.

Tabla 35. Escala de valor

| Criterio | Valoración |
|--------------------------------|------------|
| No tiene normativa relacionada | 1 |
| Tiene normativa relacionada | 10 |

Fuente: elaboración propia

A continuación, se realiza una evaluación ambiental a los equipos del sistema.

¹³⁷ Ibid., p. 11.

¹³⁸ Ibid., p. 11.

¹³⁹ Ibid., p. 11.

7.2 EVALUACION DE EQUIPOS.

Se evalúan los equipos que conforman el sistema de refrigeración y se verifica la criticidad de los mismos con respecto al medio ambiente.

Se establecen los procesos que se realizan en el área de sacrificio del animal y los equipos que trabajan para suplir las necesidades térmicas del área. También se deben identificar los demás elementos que puedan afectar su operación;

Cuadro 7. Matriz de valoración de los equipos.

Ver matriz de evaluación en ANEXO.

Después de establecer los procesos que se realizan en el área y la identificación de los equipos que trabajan para suplir las necesidades térmicas del lugar; se evidencia que el impacto que genera el sistema es un impacto de nivel medio, con respecto a los valores evaluados.

En el medio ambiente ya que a largo tiempo puede tener consecuencias irreversibles.

Sin embargo, uno de los parámetros para la selección de equipos es medio ambiente y ahorro de energía, con esto se puede garantizar que los equipos seleccionados cumplen con los más altos parámetros y la normativa técnica.

8. ANALISIS FINANCIERO DEL SISTEMA

En este capítulo, se establecen los costos totales del proyecto, incluyendo mano de obra, fungibles, materiales, equipos e imprevistos. También se va a realizar una comparación entre algunos equipos que varían en su funcionamiento.

Se realiza un cálculo del tiempo invertido en la elaboración del documento. También se calculó el salario por hora de un ingeniero mecánico recién egresado, por medio de una plataforma digital que ofrece el servicio de búsqueda de empleo¹⁴⁰, el día 27 de marzo de 2.019 el promedio salarial para esta vacante es de \$2.128.162 al mes, incluyendo prestaciones sociales.

Realizando los cálculos pertinentes se estima que un ingeniero mecánico recién egresado, sin experiencia gana \$8.868 por hora.

El tiempo que el proyectista duro en el desarrollo del proyecto se estima en el siguiente cuadro.

Cuadro 8. Costo de los componentes

| Componente | Unidad | Cantidad | Valor Unitario | Valor Total |
|-----------------------|--------|----------|----------------|---------------|
| Compresor | | 1 | \$36.130.000 | \$36.130.000 |
| Condensador | | 1 | \$36.706.522 | \$36.706.522 |
| Evaporador | | 1 | \$50.212.856 | \$50.212.856 |
| Válvula | | 1 | \$2.038.000 | \$2.038.000 |
| Accesorios | | 8 | \$150.000 | \$1.200.000 |
| Herramientas | Kit | 2 | \$1.000.000 | \$2.000.000 |
| Presostatos | | 4 | \$1.000.000 | \$4.000.000 |
| Termostatos | | 5 | \$1.000.000 | \$5.000.000 |
| Sensor electroquímico | | 6 | \$750.000 | \$4.500.000 |
| Sensor catalítico | | 6 | \$750.000 | \$4.500.000 |
| Tubería ½" | Metros | 3 | \$29.750 | \$89.250 |
| Tubería 1 ½" | Metros | 3,25 | \$66.667 | \$216.678 |
| Tubería 2 ½" | Metros | 2 | \$100.000 | \$200.000 |
| Tubería 3" | Metros | 2 | \$123.300 | \$246.600 |
| Tubería 5 ½" | Metros | 1 | \$261.783 | \$261.780 |
| Tubería 6" | Metros | 2,5 | \$333.333 | \$833.325 |
| Válvula de seguridad | | 5 | \$1.784.884 | \$8.924.423 |
| | | Total, | componentes | \$157.059.434 |

Fuente: elaboración propia

Los precios del cuadro (costos de los componentes), se establecieron por medio de cotización es con proveedores nacionales, los precios incluyen IVA. ANEXO

¹⁴⁰ INDEED. Salarios de ingeniero mecánico en Colombia. [Citado marzo 27, 2019]. Disponible en: <https://co.indeed.com/salaries/Ingeniero-mec%C3%A1nico-Salaries>

Se adicionan el tiempo que duro la elaboración del documento y el tiempo de asesorías por parte de los orientadores, docentes y tutores de la universidad de América y de la empresa de soporte técnico ACAIRE.

Cuadro 9. Horas de trabajo de los proyectistas

| Ítems | Unidad | Cantidad | Valor Unitario | Valor Total |
|-----------------------|--------|----------|----------------|-------------|
| Proyectistas | H.H. | 960 | \$8.868 | \$8.515.200 |
| Total, talento humano | | | | \$8.515.200 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 36. Costo total del proyecto

| | |
|--|---------------|
| Talento humano (Elaboración del documento) | \$8.515.200 |
| Total, Componentes | \$157.059.434 |
| Total, costo del proyecto | \$165.574.634 |

Fuente: elaboración propia

La efectucción de este proyecto tiene un valor del cual contempla únicamente los componentes o equipos que componen el sistema de refrigeración y el tiempo invertido por el proyectista y los docentes.

El precio del dólar se estableció como \$ 3.270 COP¹⁴¹, para el mes de mayo 2019.

El precio del euro se estableció como \$3.655 COP¹⁴², ara el mes de mayo 2019.

El evaporador es el equipo que se encarga de eliminar el calor presente en el lugar a refrigerar. Por ello el papel del evaporador es bastante importante a la hora de seleccionar los equipos y ponerlos en marcha.

En Colombia la mayoría plantas de sacrificio operan con evaporadores simples o evaporadores cúbicos, lo cual genera una merma (disminución del producto) en la carne de ganado bovino del 6,67%¹⁴³. Sin embargo, usando evaporador de doble efecto, el porcentaje de merma se espera que sea de 1,2%¹⁴⁴.

¹⁴¹ BANCO DE LA REPUBLICA. [sitio web]. Bogotá: BNRP, Tasa de cambio del peso colombiano TRM. [Consulta: 10 mayo 2019]. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/es/tasa-cambio-del-peso-colombiano-trm>

¹⁴² Ibid., párr. 3

¹⁴³ GOMEZ, Jorge Armando. Análisis, evaluación y estandarización de merma de carne en los puntos de venta KIKE´S. Trabajo de grado ingeniero industrial. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-mecánicas. 2009. 88 p.

¹⁴⁴ THE INSTITUTE OF REFRIGERATION. Economies of meat chilling and freezing. [en línea]. (1997: Londres). The institute of marine engineers, 1997. Disponible en:<http://www.fjb.co.uk/wp-content/uploads/2018/02/Economies-of-Meat-Chilling-Freezing.pdf>

La res tiene un peso aproximado de 471,9 kg¹⁴⁵, extrayendo la piel, cabeza y demás extremidades queda un 54%¹⁴⁶ de carne en la canal. En todo el proceso que dentro de la planta de sacrificio la carne esta refrigerada y el producto esta propenso a tener una merma del 6,67% lo que representa 17 kg aproximadamente, lo que equivale a \$91.001 de pérdidas por canal, usando evaporadores simples o evaporadores cúbicos, mientras que cuando se usan evaporadores de doble flujo se tiene una merma de 1.2% o 3,06 kg por canal aproximadamente, lo que equivale a \$16.380. La diferencia en dinero usando evaporadores de doble flujo es de \$74.621, por canal de carne.

Bogotá cuenta con dos plantas de beneficio (Frigorífico Guadalupe y Frigorífico san Martín de Porres Ltda.). Juntos suplen el 30% de la necesidad cárnica de Bogotá.

“La planta sacrifica 60 cabezas de ganado al día”¹⁴⁷ o 15.300 kg de carne en canal al día, con una merma del 6,67%. Es decir que se están desaprovechando o perdiendo 1.020,51 kg de carne en canal al día, lo que significa \$5.462.790 de ingresos menos por venta de carne al día. Sin embargo, usando los evaporadores de doble flujo el porcentaje de merma es de 1.2%, es decir que se estarían desaprovechando 183,6 kg de carne en canal al día lo que representa \$982.810 de ingresos al día.

El kg de carne tiene un precio promedio de \$5.353¹⁴⁸.

Una canal de carne pesa 254,83 kg, con evaporadores simples o cúbicos tiene una merma 17 kg, lo que representa \$91.001; con evaporadores de doble efecto tiene una merma de 3,05 kg, lo que representa \$16.369. La ganancia es de \$74.632 por canal de carne.

Teniendo en cuenta que el costo total del sistema es de \$165.574.634. Es decir que la inversión se recuperaría con 2.219 canales de carne, para pagar el total del costo del sistema. Ya que el ahorro es de \$74.632 por canal.

¹⁴⁵ DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA. Boletín técnico encuesta de sacrificio de ganado. En: DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA. [sitio web]. Bogotá: DANE. [Consulta 13 mayo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/sacrificio/bol_sacrif_IVtrim17.pdf. p 6.

¹⁴⁶ Ibid., p. 10.

¹⁴⁷ CALVO, Santiago y BARRERA, Juan. Op. cit., p. 77.

¹⁴⁸ FEDERACION GANADERA COLOMBIANA. [sitio web]. Bogotá: FEDEGAN, Estadísticas de precios. [Consultado 13 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/precios>

9. CONCLUSIONES

- ✓ El objetivo principal de este proyecto consistía en diseñar un sistema de refrigeración para una planta de sacrificio de acuerdo a la normativa técnica, el cual se desarrolló dentro de todos los parámetros establecidos en las normas y decretos, se cumplió satisfactoriamente, además se comprobó por medio del software FluidSIM-P el correcto funcionamiento del sistema de control.
- ✓ Se establece que el sistema de refrigeración que mejor se adapta a las necesidades de la planta de sacrificio es el de compresión de vapor, además cuenta con más ventajas respecto a otros sistemas de refrigeración evaluados.
- ✓ Mientras se desarrollaba el proyecto se presentaron diferentes alternativas de fluidos refrigerantes, sabiendo que el R-717, tiene un riesgo bastante alto de trabajo, se evaluaron otros fluidos refrigerantes, sin embargo, se decidió trabajar con este fluido refrigerante ya que satisface las necesidades térmicas del lugar y tiene más ventajas respecto a los otros fluidos evaluados.
- ✓ El sistema de refrigeración diseñado en este trabajo de grado cumple estrictamente con la normativa técnica colombiana, desarrollada por el INVIMA para las plantas de sacrificio de productos cárnicos. También se diseñó con base en normas internacionales como el IIR y el Handbook ASHRAE, los cuales establecen pautas específicas para el sistema de refrigeración por circuito cerrado. Esta normativa garantiza que los sistemas de refrigeración inician la cadena de frío del producto cárnico, en el momento del sacrificio con la temperatura y humedad relativa definidas.
- ✓ El porcentaje de cumplimiento de la cadena de frío en la sala de sacrificio aumenta mínimo el 10% y un máximo del 30%. No se puede determinar con certeza el porcentaje exacto que aumenta el cumplimiento de la cadena de frío en el producto, ya que para ello se necesita realizar el montaje de los equipos. Sin embargo, se realizan algunos cálculos y simulaciones del espacio y de las condiciones ambientales del lugar, con el fin de determinar el aumento del cumplimiento de la cadena de frío en los productos cárnicos.
- ✓ Gracias a los conocimientos y herramientas adquiridos a lo largo de la carrera universitaria, fue posible comprender de manera óptima los requisitos de la normativa técnica, la cual es muy extensa y estricta con algunos procesos, equipos y materiales. También se diseñó un análisis de las principales fallas en los equipos de refrigeración, el cual se debe tener en cuenta en el momento de que algún equipo presente cuales quiera de las fallas descritas en el mismo.
- ✓ Se evaluó mediante la matriz de impacto ambiental de la secretaria distrital de ambiente, las actividades realizadas en la planta de sacrificio. Con el resultado de que los procesos son altamente riesgosos ya que se generan bastantes

residuos peligrosos y se consumen combustibles que generan gran impacto en el ambiente, tal como se explica en la matriz.

- ✓ Realizando el análisis financiero del sistema de refrigeración diseñado, se establece que el costo de fabricación, instalación y mantenimiento de los equipos que conforman el sistema es muy alto, comparado con sistemas de refrigeración de circuito cerrado que usan otro tipo de refrigerantes como R-22, R-404, R-134.

10. RECOMENDACIONES

- ✓ Desarrollar planes de mantenimiento predictivo para los equipos e instalaciones involucrados en el sistema de refrigeración, buscando aumentar la vida útil de los equipos y generando menores costos en los mantenimientos, lo que representa mayor rentabilidad.
- ✓ Se recomienda al gobierno hacer cumplir con mayor compromiso y legitimidad el decreto 1500 del 2.007 y eliminar las licencias provisionales, ya que muchas plantas de beneficio, situadas en ciudades importantes trabajan aun con licencias provisionales.
- ✓ El sistema de refrigeración necesita materiales y procesos específicos de construcción, los cuales garanticen que no existan filtraciones del exterior de la planta al interior de la misma. Esto garantiza que la carga térmica por filtración en la sala de sacrificio sea más baja, esto genera que los equipos trabajen a menor exigencia mecánica y por ende el consumo de energía eléctrica bajara.
- ✓ Se recomienda diseñar un sistema automatizado de apertura de puertas el cual esté conectado al sistema de refrigeración, permitiendo cerrar las puertas en el momento que las necesite, garantizando la temperatura y presión en el interior de la planta, y que el flujo bacteriano sea del interior de la planta al exterior de la misma. También se garantiza la higiene dentro de la planta de sacrificio, ya que el personal que trabaja dentro de la misma no tendrá contacto directo con la puerta u otros sistemas de apertura.

BIBLIOGRAFIA

AGRONEGOCIOS UNIANDES. “Cadena de frio: Calidad e inocuidad de la carne”
Internet: <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2015/11/03/cadena-de-frio-calidad-e-inocuidad-de-la-carne-parte-1/>

AGRONEGOCIOS UNIANDES. “Funcionamiento de las plantas de beneficio en Colombia”. Internet: <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2016/04/06/4144/>

BITZER. Reciprocating Compressors. En: BITZER. Alemania: BITZER. [sitio web]. [Consulta: 21 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/kp-520-3.pdf

CIFUENTES, Guillermo. MUÑOZ, David. (2008). Aspectos básicos de refrigeración para la agroindustria. p. 86-93.

CRAMER, John. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

EL ESPECTADOR. “Carne de calidad para los colombianos”. Internet: <https://www.elespectador.com/carne-de-calidad-para-los-colombianos-columna>

EL TIEMPO. “Cuartos fríos de los barcos cargueros que llegan a Barranquilla”. Internet: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-315326>

EOS REFRIGERATION. Condensador adiabático. Archivo pdf. Disponible en: http://www.eosrefrigeration.com/wp-content/upload/2015/11/EOS/catalogo_CAI.pdf

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA. Evaluación técnica de la cadena de frio en la producción de carne bovina en Colombia, para ACAIRE. FUA, 2018

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486 6166. Bogotá D.C.. El Instituto, 2018. ISBN 97895885855673. 153 p.

INTERSAM. [en línea]. Consultado en 25 febrero 2019. Disponible en: <https://www.intersam.es/Info/PDF/Evaporadores-Amoniaco-NH3-Plafon-Mural.pdf>

INVIMA. Plantas de beneficio animal. [Consultado feb 25, 2019]. Disponible en: <https://www.datos.gov.co/d/t5s4-7bmp/visualization>

KLAUS, Peter y HINOJOSA, Luis. Eficiencia energética en sistemas de refrigeración.

MOTT, Robert L. Diseño de elementos finitos. 4ta Edición. (En línea). Fecha (5 de marzo del 2016). Disponible en: http://www.susferrin.com.ar/_capacitacion/pdf/SUSFERRIN_Diseño_Elementos_Maquinas.pdf

PROCOLOMBIA. Carne bovina colombiana tiene acceso en 12 mercados. [Consulta: 2 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.procolombia.co/actualidadinternacional/agroindustria/carne-bovina-colombiana-tiene-acceso-en-12mercados>

QUIROGA, Guillermo y ROJAS CORREAL, Carlos. Transporte, sacrificio y faenado de ganado. Divulgación técnico pedagógica, SENA, 1989.

RIVERA, Sergio; FERNANDOY, Luis y MIÑO, Hugo. Diseño térmico (Cámara frigorífica para la conservación de carnes de cerdo y pollo). Universidad de Talca, 2013.

ROMERO, Marlyn y SÁNCHEZ, Jorge. Bienestar animal durante el transporte y su relación con la calidad de la carne bovina. En: REVISTA MVZ CORDOBA. Abril 1, vol. 17, no. 1.

THE INSTITUTE OF REFRIGERATION. Economics of meat chilling and freezing. (En línea). Fecha (1997). Disponible en <http://www.fjb.co.uk/wp-content/uploads/2018/02/Economies-of-Meat-Chilling-Freezing.pdf>

OLIVA CARMONA, José Fernando. Guía práctica de selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. 2009. p. 28. ISBN: 978-84-692-4518-7

UMAÑA CERROS, Eduardo. Conservación de los alimentos por el frío. FIAGRO Y FUSADES PROINNOVA.

VERA, Miguel. Tiempo de congelamiento. [Guía de refrigeración y congelado]. Universidad Nacional Mayor San Marcos. 2013.

YUNUS, Cengel. Termodinámica Traducido por Norma Moreno Chávez. 4 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2006. ISBN: 978-970-10-5611-0

ANEXOS

Anexo A. Matriz de impacto ambiental

| ACTIVIDAD | IDENTIFICACION | | | | EVALUACION | | | | | | | |
|--------------------|---|--|------------------|-------------------------|-------------------------|----|----|----|----|----|----------------------|---------------|
| | ASPECTO AMBIENTAL ASOCIADO | IMPACTO AMBIENTAL | RECURSO AFECTADO | TIPO DE IMPACTO (+ / -) | IMPORTANCIA DEL IMPACTO | | | | | | VALOR DE IMPORTANCIA | SIGNIFICANCIA |
| | | | | | A | P | D | R | C | N | | |
| Sacrificio | Generación de residuos aprovechables | Conservacion de fauna y flora | Fauna y flora | + | 1 | 10 | 5 | 5 | 10 | 10 | 25000 | Baja |
| Equipo | Generación de residuos no aprovechables | Sobre presion del relleno sanitario | Suelo | - | 10 | 10 | 5 | 5 | 5 | 10 | 125000 | Moderada |
| Proceso | Generación de residuos peligrosos | Afectacion a la salud humana | Todos | - | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | 250000 | Alta |
| | Generacion de residuos de manejo especial | Sobre presion del relleno sanitario | Suelo | - | 10 | 5 | 5 | 10 | 5 | 10 | 125000 | Moderada |
| Equipos | Consumo de combustibles | Contaminación del aire | Aire | - | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 1000000 | Alta |
| Equipos | Generación de ruido | | | - | 1 | 5 | 10 | 1 | 1 | 1 | 50 | Baja |
| Equipos y procesos | Consumo de agua | Contaminación del agua | Agua | - | 5 | 10 | 10 | 10 | 5 | 1 | 25000 | Baja |
| Equipos y procesos | Implementación de sistemas ahorradores de agua | Reduccion consumo de agua | Agua | + | 5 | 10 | 10 | 1 | 10 | 1 | 5000 | Baja |
| Equipos y procesos | Consumo de energía eléctrica | Contaminación del agua | Agua | - | 5 | 10 | 10 | 10 | 5 | 1 | 25000 | Baja |
| Equipos y procesos | Implementación de sistemas ahorradores de energía eléctrica | Reduccion consumo de energia electrica | Agua | + | 5 | 10 | 10 | 1 | 10 | 1 | 5000 | Baja |
| Proceso | Vertimientos domésticos | Sobre presion del relleno sanitario | Suelo | + | 5 | 10 | 5 | 5 | 10 | 10 | 125000 | Moderada |
| Proceso | Vertimientos no domésticos | Perdida de la biodiversidad | Todos | - | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 | 31250 | Moderada |
| Equipos y procesos | Generación de residuos peligrosos | Afectacion a la salud humana | Todos | - | 10 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | 500000 | Alta |

Rango de importancia: ALTA > 125.001 a 1.000.000
MODERADA >25.001 a 125.000
BAJA DE 1 a 25.000

Fuente: elaboración propia con base en: SECRETARIA DE AMBIENTE.

Anexo B. Cotización compresor



Search our catalog



Carrito (0)

COMPRESORES

INTERCAMBIADORES DE CALOR

COMPONENTES DE LINEA

AFICIONADOS

EQUIPO DE INSTALACIÓN

EQUIPOS DE CONTROL PARA LA REFRIGERACIÓN.

COMPRESOR ABIERTO W4GA BITZER R717 / NH³ PARA ENFRIAMIENTO

U\$S 9.886

Sin impuestos

Compresor abierto W4GA Bitzer R717 / NH³

para enfriar
con llenado de aceite, carga de gas de protección, culatas enfriadas por agua, 1
succión y 1 válvula de suministro



Tipo de gas

R717-NH3 ▾

Anexo C. Cotizacion condensador

Volver al listado | Herramientas y Construcción > Otros | Compartir | Vender uno igual



Nuevo

**Condesador Adiabatico
Para Amoniaco Cai-ad391
A1-ec** 

U\$S 11.470

 Pago a acordar con el vendedor

 Entrega a acordar con el vendedor
Huechuraba, RM (Metropolitana)
[Ver costos de envio](#)

Cantidad: 1 unidad  (2 disponibles)

[Comprar](#)

 Sumas 18.155 Mercado Puntos.

Anexo D. Cotizacion evaporador



C/ Cadmio, 12 28500 Arganda del Rey (MADRID)

Tif: (+34) 91 875 74 90

Fax: (+34) 91 875 74 94

Web: <http://www.intersam.es>

OFERTA

| CLIENTE | Bogotá COLOMBIA | | Tif: +55 2377500 | | |
|----------------|---------------------|---|---------------------------------------|-----------------|------------------|
| ATT | Alexander Rios Paez | | | | |
| DE | German Rojas . | | | | |
| OFERTA | 00597INP19 | Fecha de Creación: 06/05/2019 | Fecha de Impresión: 06/05/2019 | | |
| Ln. | Referencia | Descripción | Unidades | Precio/Und. (€) | Precio Total (€) |
| 1 | | EVAP.IPHT-1345 DE - Desc. ELECTRICO. - Vent. 460/3/60 | 1 | 13.737,36 | 13.737,36 |
| 2 | | EVAP.IPHT-1345 DG - Desc. GAS CALIENTE - Vent. 460/3/60 | 1 | 13.042,26 | 13.042,26 |
| 3 | | EVAP.IPHT-1345 Vent. 460/3/60 | 1 | 12.461,40 | 12.461,40 |
| TOTAL | | | | | 39.241,02 |

Total | 39.241,02 |

Anexo E. Valvula de expansión

ENGINEERING
TOMORROW🔍🌐👤🌙 1🛒 0



068G6135

[Contacto](#)

Detalles del producto | Documentos | Visuales

| | | | |
|--|------------------------|--|------------------------------------|
| Cuerpo material | Hierro fundido GGG40.3 | Ecuilización de presión | Ecuilizado externamente |
| Temperatura del bulbo máx. [°C] | 100 °C | Accesorios del producto | Bridas |
| Temperatura del bulbo máx. [°F] | 212 °F | Descripción del producto | Expansiones termostáticas. Válvula |
| Longitud del tubo capilar [en] | 192 en | Nombre de la familia del producto | TÉ |
| Longitud del tubo capilar [mm] | 5000 mm | Grupo de productos | Válvulas de expansión |
| Categoría | Art °. 3, par. 3 | Nombre del producto | Válvula termostática de expansión |
| Comentarios | LA JUNTA ES NO ASBESTO | Tipo de producto | TEA 20-20 |

Anexo F. Hojas de mantenimiento

| SISTEMA | COMPONENTE | INSPECCION | PERIODICIDAD | ANALISIS | FALLA |
|-----------|-------------------------------|------------------------------|---|--|--|
| Neumatico | Compresor | Sensorial y olfativo | Mensual | Sobrecalentamiento del gas | Retorno de liquido |
| Neumatico | Compresor | Visual y auditivo | Mensual | No se observa desgaste en los pistones | Bielas de los pistones rotas |
| Neumatico | Compresor | Visual y auditivo | Mensual | Liquido devuelto al compresor | Valvula de expansion sobredimensionada |
| Neumatico | Compresor | Visual | Cada vez que se realicen paradas largas | Dilucion de aceite | Fuera de servicio por periodos prolongados de tiempo |
| Neumatico | Compresor | Sensorial y visual | Diario | Perdida de aceite | Ciclaje corto o largos periodos de funcionamiento con carga minima |
| Neumatico | Compresor | Sensorial y visual | Semanal | Perdida de aceite | Cigüeñal sin lubricacion |
| Neumatico | Compresor | Sensorial | Mensual | Aceite pierde la viscosidad | Supercalentamiento del compresor |
| Neumatico | Compresor | Visual y olfativo | Semanal | Humedad en el sistema | Oxidacion |
| Neumatico | Compresor | Sensorial, visual y olfativo | Diario | Ambiente contaminado | Suciedad |
| Electrico | Motor electrico del compresor | Visual y olfativa | Diario | Motor electrico pierde fuerza, o deja de trabajar | Motor Electrico quemado |
| Electrico | Motor electrico del compresor | Visual | Trimestral | Desgaste de piezas mecanicas | Desgaste de las es cobillas o el colector |
| Electrico | Motor electrico del compresor | Visual | Mensual | El sistema no se activa o desactiva de la forma deseada por el operario | Contactores pegados o deteriorados |
| Neumatico | Condensador | Visual | Trimestral | El flujo de aire no es el correcto debido a la suciedad en el area superficial | Area superficial sucia |
| Neumatico | Evaporador | Visual | Trimestral | El flujo de aire no es el correcto debido a la suciedad en el area superficial | Area superficial sucia |

Fuente: elaboración propia

| SISTEMA | COMPONENTE | INSPECCION | PERIODEICIDAD | ANALISIS | FALLA |
|-----------|------------------------------------|---------------------|---------------|---|----------------------------------|
| Neumatico | Valvula de expansion termos tatica | Auditiva y olfativa | Mensual | Baja presion en la entrada del evaporador | Fugas en la valvula de expansion |
| Electrico | Condensador | Visual y auditivo | Mensual | Mala extraccion del refrigerante en el circuito cerrado | Los ventiladores no encienden |
| Electrico | Evaporador | Visual y auditivo | Mensual | Mala extraccion del refrigerante en el circuito cerrado | Los ventiladores no encienden |

Fuente: elaboración propia

Anexo G. Fallas en los equipos

| FALLA | PROCEDIMIENTO | RECURSO |
|--|--|---|
| Retorno de liquido | Lubricacion de los pistones | Reparar o cambiar piezas afectadas |
| Bielas de los piston rotas | Cambio de bielas | Reparar o cambiar las bielas rotas |
| Valvula de expansion sobredimensionada | Recalculat valvula de expansion | Cambiar valvula de expansion |
| Fuera de servicio por periodos prolongados de tiempo | Reemplazar aceite y refrigerante | Acite y refrigerante |
| Ciclaje corto o largos periodos de funcionamiento con carga minima | Poner a trabajar el compresor con la carga calculada | Catalogo del fabricante y equipo |
| Cigúeñal sin lubricacion | Ajustar los agujeros de las bielas | Lubricacion y ajuste de tolerancias de las bielas |
| Supercalentamiento del compresor | Lubricar partes moviles adecuadamente | Liquido lubricante o aceite |
| Oxidacion | Cambio de piezas oxidadas | Cambiar pizas con presencia de oxido |
| Suciedad | Limpiar piezas sucias | Trapos de microfibra |
| Motor Electrico quemado | Cambiar o reemplazar el motor quemado por un nuevo motor | Motor nuevo |
| Desgaste de las escobillas o el colector | Cambiar escobillas o colector | Escobillas o colector |
| Contactores pegados o deteriorados | Revisar y apretar los terminales y conexión | Destornilladores y alicates. |
| Area superficial sucia | Limpieza del area superficial | Agua y jabon a alta presion |
| Area superficial sucia | Limpieza del area superficial | Agua y jabon a alta presion |

Fuente: elaboración propia

| FALLA | PROCEDIMIENTO | RECURSO |
|----------------------------------|---|----------------------------|
| Fugas en la valvula de expansion | Limpiar internamente la valvula de expansion o reemplazar por una nueva | Valvula termoestatica |
| Los ventiladore no encienden | Reparar o cambiar los ventiladores o extractores | Ventiladores o extractores |
| Los ventiladore no encienden | Reparar o cambiar los ventiladores o extractores | Ventiladores o extractores |

Fuente: elaboración propia

Anexo H. Hoja de vida de los equipos

| HOJA DE VIDA DE EQUIPOS | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| FECHA: _____ | OBSERVACIONES |
| NOMBRE DEL OPERARIO: _____ | ESTADO: _____ |
| EQUIPO: _____ | POTENCIA : _____ |
| FABRICANTE DEL EQUIPO: _____ | MANUAL SI: _____ NO: _____ |
| REFERENCIA DEL EQUIPO: _____ | INDICACIONES: _____ |
| FECHA PRIMER USO: _____ | _____ |
| PROXIMO MANTENIMIENTO: _____ | _____ |
| OBSERVACIONES: _____ | |
| _____ | |
| _____ | |
| HISTORIAL DE MANTENIMIENTO | |

| PREVENTIVO | | | | |
|---------------------|-------|------------|----------------|---------------|
| ACTIVIDAD REALIZADA | FECHA | MATERIALES | PROXIMO CAMBIO | OBSERVACIONES |
| | | | | |

| CORRECTIVO | | | | |
|---------------------|-------|------------|----------------|---------------|
| ACTIVIDAD REALIZADA | FECHA | MATERIALES | PROXIMO CAMBIO | OBSERVACIONES |
| | | | | |

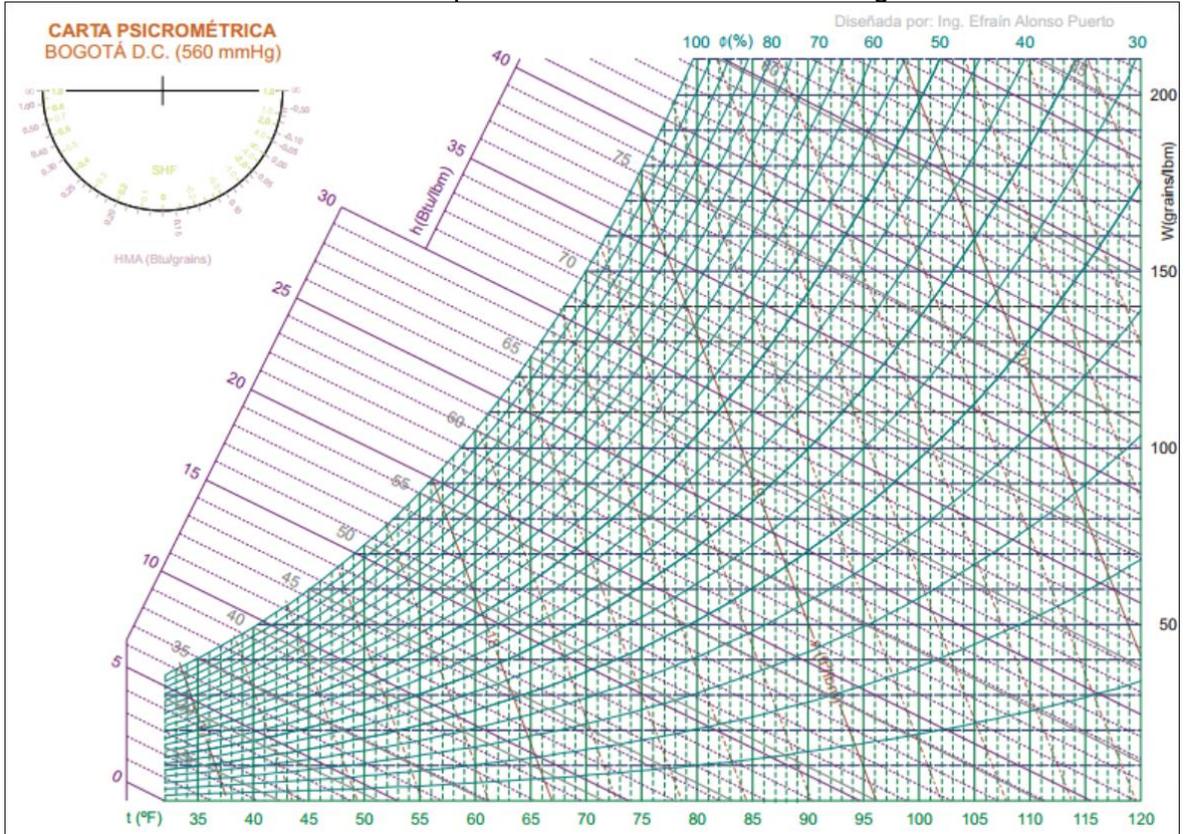
Autorización de mantenimientos

Operario No. 1

Operario No. 2 ó Auxiliar

Fuente: elaboración propia

Anexo I. Carta psicrométrica a la altura de Bogota



Anexo J. Ficha de seguridad R-717 (AMONIACO)

THE LINDE GROUP

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Amoniaco anhidro

Fecha de Emisión: 16.01.2013

Versión: 1.1

No. FDS: 000010021772

Fecha de revisión: 13.03.2018

2/18

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el reglamento (CE) No. 1272/2008 con sus modificaciones ulteriores.

Peligros Físicos

| | | |
|-----------------|-------------|--|
| Gas inflamable | Categoría 2 | H221: Gas inflamable. |
| Gases a presión | Gas líquido | H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento. |

Peligros para la Salud

| | | |
|------------------------------------|--------------|--|
| Toxicidad aguda (Inhalación - gas) | Categoría 3 | H331: Tóxico en caso de inhalación. |
| Corrosión cutáneas | Categoría 1B | H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves. |
| Lesiones oculares graves | Categoría 1 | H318: Provoca lesiones oculares graves. |

Peligros para el Medio Ambiente

| | | |
|---|-------------|--|
| Peligros agudos para el medio ambiente acuático | Categoría 1 | H400: Muy tóxico para los organismos acuáticos. |
| Peligros crónicos para el medio ambiente acuático | Categoría 2 | H411: Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos. |

2.2 Elementos de la Etiqueta

Contiene: amoniaco, anhidro



Palabras de Advertencia: Peligro

Indicación(es) de peligro: H221: Gas inflamable.
H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
H331: Tóxico en caso de inhalación.
H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H410: Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Consejos de Prudencia

Prevención: P210: Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P260: No respirar el gas/los vapores.
P273: Evitar su liberación al medio ambiente.
P280: Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.

Anexo K. Planos de ubicación e instalación