

EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA CADENA DE FRÍO EN LA PRODUCCIÓN DE
FRUTAS Y VERDURAS EN COLOMBIA, PARA ACAIRE

YEIMER FABIAN GIRALDO PERDOMO
JUAN ENRIQUE TORRES RUBIO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2018

EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA CADENA DE FRÍO EN LA PRODUCCIÓN DE
FRUTAS Y VERDURAS EN COLOMBIA, PARA ACAIRE

YEIMER FABIAN GIRALDO PERDOMO
JUAN ENRIQUE TORRES RUBIO

Proyecto integral de grado para optar título de:
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2018

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Carlos Urrego Rodríguez

Bolívar A. Monroy Matallana

Carlos A. Mendoza Neira

BOGOTÁ D.C, NOVIEMBRE DE 2018

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

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 Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

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

AGRADECIMIENTOS

Agradezco inmensamente a Dios por permitirme culminar esta gran etapa de mi vida, que fue posible con el apoyo incondicional de mis padres, familiares y amigos cercanos que siempre fueron una motivación para seguir adelante en este proyecto.

Agradezco también al profesor Carlos Urrego, por ser el guía del trabajo realizado, de igual manera a las instituciones colaboradoras, tales como ACAIRE, que nos brindó la oportunidad de realizar el proyecto con ellos, a otros entes, tanto de distribución como de comercialización de los productos en estudio y a las personas participes que aportaron a él, todos fueron de gran ayuda para la recopilación de datos, definición y desarrollo del mismo.

A mi compañero de trabajo Juan Torres, a quien conocí desde los inicios de este largo camino, se convirtió en un gran colaborador en todo este tiempo y ha sido un excelente compañero de trabajo durante la realización del proyecto.

Yeimer Fabián Giraldo Perdomo

Agradezco primordialmente a Dios por permitirme cumplir una meta más en mi vida, también a mis padres y a mi hermana por el apoyo incondicional que me han brindado durante el transcurso de la carrera, ya que ellos son la motivación que día a día me han llevado a cumplir esta meta.

A mi compañero Yeimer Giraldo, le doy las gracias por todos estos años de unidad, también por ser excelente compañero de estudio en todas las asignaturas que compartimos en estos años e igualmente en el desarrollo de este proyecto.

Agradezco al profesor Carlos Urrego, por ser el guía incondicional en el desarrollo del trabajo; sin su apoyo, hubiera sido difícil, llevarlo a feliz término. Asimismo, mi eterna gratitud a las distintas instituciones y personas que nos abrieron sus puertas para la recopilación teórica y aportes al Proyecto, como la Empresa ACAIRE, quien fue eje fundamental, al darnos la oportunidad de realizarlo con ellos.

Juan Enrique Torres Rubio

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. GENERALIDADES DE LA CADENA DE FRÍO	22
1.1 CADENA DE FRÍO	22
1.2 EQUIPOS Y MÉTODOS DE REFRIGERACIÓN	25
1.2.1 Componentes del sistema de refrigeración	25
1.2.2 Métodos y equipos	29
1.3 PRODUCTOS PERECEDEROS	30
1.3.1 Cárnicos y Lácteos	30
1.3.2 Medicamentos	31
1.3.3 Frutas y Verduras	32
2. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE FRÍO EN FRUTAS Y VERDURAS	35
2.1 CADENA DE FRÍO EN LECHUGA	35
2.1.1 Generalidades de la Lechuga	36
2.1.1.1 Definición	36
2.1.1.2 Variedades	37
2.1.2 Cultivo	41
2.1.2.1 Condiciones Agroclimatológicas	42
2.1.2.2 Producción	43
2.1.3 Recolección y clasificación	43
2.1.3.1 Recolección	44
2.1.3.2 Clasificación	44
2.1.4 Embalaje	45
2.1.4.1 Presentación	46
2.2 CADENA DE FRÍO EN PAPAYA	46
2.2.1 Generalidades de la papaya	46
2.2.1.1 Definición	46
2.2.1.2 Variedades	48
2.2.1.3 Propiedades	53
2.2.2 Cultivo	54
2.2.2.1 Condiciones Agroclimatológicas	54
2.2.3 Producción	55
2.2.4 Recolección y clasificación	57
2.2.4.1 Recolección	57
2.2.4.2 Clasificación	58
2.2.5 Embalaje	59
2.2.5.1 Presentación	60
2.3 TRANSPORTE	61

2.3.1 Transporte terrestre	62
2.3.1.1 Vehículos con cargas expuestas al ambiente	62
2.3.1.2 Vehículos con equipo de refrigeración	62
2.3.2 Transporte aéreo	64
2.4 COMERCIALIZACIÓN	64
3. DIAGNÓSTICO DE EQUIPOS Y AMBIENTES	66
3.1 EVALUACIÓN DE EQUIPOS Y AMBIENTES	66
3.2 PARÁMETROS Y CONDICIONES DE DISEÑO Y OPERACIONES DE EQUIPO	66
3.2.1 Parámetros de diseño	75
3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS Y CONDICIONES TEÓRICAS	76
3.4 METODOLOGÍA	76
3.5 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO	79
3.5.1 Post-cosecha	79
3.5.1.1 Evaluación en la recolección de la lechuga	79
3.5.2 Sistemas de refrigeración en vehículos de transporte terrestre	85
3.5.2.1 Transporte Ideal	94
3.5.2.2 Carga térmica por transmisión	95
3.5.2.3 Carga térmica por producto a refrigerar	95
3.5.2.4 Carga térmica por embalaje	96
3.5.2.5 Carga térmica por aire	97
3.5.2.6 Carga térmica por infiltración	98
3.5.2.7 Carga térmica por humidificación	99
3.5.2.8 Carga térmica total	100
3.5.2.9 Evaluación del equipo en el vehículo de transporte refrigerado	104
3.5.3 Procesos y empaquetado	112
3.5.4 Sistemas de refrigeración comercial	114
3.5.5 Almacenamiento en cámaras de refrigeración	114
3.5.5.1 Cálculo de cargas térmicas en el cuarto frío	116
3.5.5.2 Cargas térmicas de cuarto frío	125
3.5.5.3 Carga térmica por transmisión	125
3.5.5.4 Carga térmica por producto a refrigerar	126
3.5.5.5 Carga térmica por embalaje	127
3.5.5.6 Carga térmica por aire	128
3.5.5.7 Carga térmica por infiltración	128
3.5.5.8 Carga térmica total	130
3.5.5.9 Proceso de evaluación en el equipo del cuarto frío	133
3.5.6 Comercialización en refrigeradores tipo exhibidor	140
3.5.6.1 Calculo de cargas térmicas	143
3.5.6.2 Comercialización	150
3.5.6.3 Carga térmica por transmisión	150
3.5.6.4 Carga térmica por producto a refrigerar	151

3.5.6.5 Carga térmica por embalaje	152
3.5.6.6 Carga térmica por aire	152
3.5.6.7 Carga térmica total	153
3.5.6.8 Proceso de evaluación nevera autoservicio	156
4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	161
4.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	161
4.2 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PROCESOS	164
4.3 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS EQUIPOS	169
5. COSTOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO	175
6. CONCLUSIONES	178
7. RECOMENDACIONES	180
BIBLIOGRAFÍA	182
ANEXOS	189

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Condiciones de refrigeración baja	33
Cuadro 2. Condiciones de refrigeración media	34
Cuadro 3. Condiciones de refrigeración alta	34
Cuadro 4. Peso mínimo requerido de las lechugas	45
Cuadro 5. Propiedades que contiene una papaya en diferentes países de Latinoamérica	53
Cuadro 6. Rangos de cumplimiento según criterio de operación	78
Cuadro 7. Evaluación en el proceso de recolección de la lechuga	80
Cuadro 8. Evaluación en el proceso de recolección de papaya	83
Cuadro 9. Resultado carga térmica de embalaje	90
Cuadro 10. Valores para carga térmica por infiltración	90
Cuadro 11. Valores del factor tiempo	90
Cuadro 12. Resultado carga térmica de infiltración	91
Cuadro 13. Datos del sistema de refrigeración de transporte.	91
Cuadro 14. Datos del sistema de refrigeración de transporte ideal	92
Cuadro 15. Entalpías del sistema del vehículo refrigerado	93
Cuadro 16. Flujo másico real del sistema de transporte	93
Cuadro 17. Capacidades térmicas del vehículo refrigerado	93
Cuadro 18. Datos de eficiencia energética del sistema del transporte refrigerado	94
Cuadro 19. Condiciones ideales para el habitáculo del vehículo de transporte refrigerado	94
Cuadro 20. Carga térmica por transmisión en el habitáculo de lechuga y papaya	95
Cuadro 21. Parámetros para carga térmica de papaya	95
Cuadro 22. Parámetros para carga térmica de lechuga	96
Cuadro 23. Parámetros para carga térmica del embalaje	97
Cuadro 24. Parámetros de entrada para carga térmica de aire	97
Cuadro 25. Dimensiones de la puerta	98
Cuadro 26. Parámetros de entrada carga térmica de infiltración	98
Cuadro 27. Parámetros para carga térmica por humidificación en habitáculo de papaya	99
Cuadro 28. Parámetros para carga térmica por humidificaciones habitáculo de lechuga	100
Cuadro 29. Carga térmica total del vehículo refrigerado	100
Cuadro 30. Condiciones iniciales para cálculo de potencias térmicas en el equipo de transporte	101
Cuadro 31. Datos ideales del refrigerante R404A en el transporte	101
Cuadro 32. Flujo másico ideal equipo de transporte	102
Cuadro 33. Potencia térmica ideal de los elementos	102
Cuadro 34. Eficiencia energética ideal del sistema de transporte	103

Cuadro 35. Comparativo de capacidad evaporador en transporte	103
Cuadro 36. Comparativo eficiencia energética del refrigerante en transporte	103
Cuadro 37. Comparativo coeficiente de rendimiento en transporte	104
Cuadro 38. Evaluación de las características del equipo en el vehículo de transporte refrigerado	106
Cuadro 39. Evaluación del cuarto de procesos	113
Cuadro 40. Resultado carga térmica del suelo	119
Cuadro 41. Cargas térmicas internas	120
Cuadro 42. Resultado carga térmica por embalaje	120
Cuadro 43. Valores para carga térmica por infiltración	121
Cuadro 44. Valores del factor tiempo	121
Cuadro 45. Carga térmica de infiltración	121
Cuadro 46. Datos del sistema del cuarto frío	122
Cuadro 47. Datos reales del sistema del cuarto frío	123
Cuadro 48. Entalpías del sistema de la cámara de refrigeración	124
Cuadro 49. Flujo másico real del sistema de transporte	124
Cuadro 50. Capacidades térmicas del vehículo refrigerado	124
Cuadro 51. Datos de eficiencia energética del sistema de la cámara de refrigeración	125
Cuadro 52. Características y cargas térmicas cuarto de almacenamiento	125
Cuadro 53. Características paredes cuarto frío	126
Cuadro 54. Propiedades de la papaya	126
Cuadro 55. Propiedades de la lechuga	127
Cuadro 56. Parámetros para la lechuga y papaya.	127
Cuadro 57. Carga térmica por aire para la lechuga	128
Cuadro 58. Dimensiones puerta de servicio	129
Cuadro 59. Datos de entrada, carga térmica por infiltración	129
Cuadro 60. Carga térmica total del cuarto frío	130
Cuadro 61. Condiciones iniciales cálculo de potencias térmicas en el equipo de almacenamiento	131
Cuadro 62. Datos ideales del refrigerante R22 en el almacenamiento	131
Cuadro 63. Flujo másico ideal equipo de almacenamiento	132
Cuadro 64. Potencia térmica ideal de los elementos	132
Cuadro 65. Eficiencia energética ideal del sistema de almacenamiento	132
Cuadro 66. Comparativo capacidad del evaporador en el cuarto frío	133
Cuadro 67. Comparativo eficiencia energética del refrigerante en el cuarto frío	133
Cuadro 68. Comparativo de coeficiente de rendimiento en el cuarto frío	133
Cuadro 69. Evaluación de las características del equipo instalado en el cuarto frío	136
Cuadro 70. Valores para carga térmica interna	146
Cuadro 71. Valores para carga térmica por infiltración	146
Cuadro 72. Valores para factor densidad	146
Cuadro 73. Resultado carga térmica por infiltración	147
Cuadro 74. Datos del sistema de refrigeración autoservicio	147
Cuadro 75. Datos del sistema de refrigeración autoservicio real	148

Cuadro 76. Entalpías del sistema de autoservicio	149
Cuadro 77. Flujo másico real del sistema de autoservicio	149
Cuadro 78. Capacidades térmicas de autoservicio	149
Cuadro 79. Datos de eficiencia energética del sistema de autoservicio	150
Cuadro 80. Características y propiedades de la nevera de autoservicio	150
Cuadro 81. Carga térmica por transmisión, nevera de autoservicio	151
Cuadro 82. Carga térmica papaya	151
Cuadro 83. Carga térmica lechuga	152
Cuadro 84. Carga térmica por producto, nevera de autoservicio	152
Cuadro 85. Carga térmica total de la nevera autoservicio	153
Cuadro 86. Condiciones iniciales cálculo de potencias térmicas en el equipo de comercialización	154
Cuadro 87. Datos ideales del refrigerante R22 en la comercialización	154
Cuadro 88. Flujo másico ideal equipo de comercialización	155
Cuadro 89. Potencia térmica ideal de los elementos	155
Cuadro 90. Eficiencia energética ideal del sistema de transporte	155
Cuadro 91. Comparativo capacidad evaporador en nevera autoservicio	156
Cuadro 92. Comparativo eficiencia energética refrigerante en nevera autoservicio	156
Cuadro 93. Comparativo de coeficiente de rendimiento en nevera autoservicio	156
Cuadro 94. Evaluación de las características del equipo de comercialización nevera de autoservicio	158
Cuadro 95. Calificación en relación al análisis cuantitativo del impacto ambiental	164
Cuadro 96. Matriz de reconocimiento del impacto ambiental	166
Cuadro 97. Matriz de evaluación	167
Cuadro 98. Matriz de reconocimiento del impacto ambiental generado por los equipos	172
Cuadro 99. Matriz de evaluación de los equipos	173
Cuadro 100. Salario de un ingeniero recién egresado	175
Cuadro 101. Costo total de tiempo y desarrollo del proyecto	176
Cuadro 102. Horas desarrollo del documento	176
Cuadro 103. Costos fungibles	177
Cuadro 104. Costo del desarrollo del proyecto	177

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Flujo másico	67
Ecuación 2. Potencia térmica del compresor P_{comp}	67
Ecuación 3. Potencia térmica del condensador P_{cond}	67
Ecuación 4. Potencia térmica del mecanismo de expansión P_{exp}	67
Ecuación 5. Potencia térmica del evaporador. P_{evap}	67
Ecuación 6. Efecto refrigerante ER	68
Ecuación 7. Coeficiente de rendimiento COP	68
Ecuación 8. Factor de eficiencia energética EER	69
Ecuación 9. Coeficiente de rendimiento estacional SCOP	71
Ecuación 10. Factor de eficiencia energética estacional SEER	71
Ecuación 11. Carga térmica de transmisión	71
Ecuación 12. Coeficiente global de transferencia de calor	72
Ecuación 13. Carga térmica del producto	72
Ecuación 14. Carga térmica del embalaje	73
Ecuación 15. Carga térmica del aire	73
Ecuación 16. Masa del aire	73
Ecuación 17. Carga térmica de infiltración	74
Ecuación 18. Ganancia de calor promedio en un periodo	74
Ecuación 19. Carga térmica de infiltración a través de puertas	74
Ecuación 20. Factor del tiempo de apertura	75
Ecuación 21. Factor de densidad	75
Ecuación 22. Carga térmica por humidificación	75
Ecuación 23. Porcentaje de cumplimiento	78

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ciclo de Carnot punto 1 a 2	26
Figura 2. Ciclo de Carnot punto 2 a 3	27
Figura 3. Ciclo de Carnot punto 3 a 4	28
Figura 4. Ciclo de Carnot punto 4 a 1	28
Figura 5. Diagrama real del vehículo refrigerado	92
Figura 6. Diagrama ideal del vehículo refrigerado	102
Figura 7. Diagrama real de la Cámara de refrigeración	123
Figura 8. Diagrama ideal del almacenamiento	131
Figura 9. Diagrama real del refrigerador exhibidor	148
Figura 10. Diagrama ideal de la comercialización	154
Figura 11. Diagrama de bloques del proceso cadena de frío en la producción de frutas y verduras	165

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Variación del calor en relación a la superficie	118
Gráfica 2. Resultados matriz de evaluación	168
Gráfica 3. Análisis total de la matriz de evaluación	169
Gráfica 4. Resultados matrices de evaluación de los equipos	173

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Esquema de procesos de la cadena de frío	22
Imagen 2. Esquema de los componentes de un ciclo de refrigeración y comportamiento ideal en diagrama de Mollier	26
Imagen 3. Cárnicos y lácteos	31
Imagen 4. Medicamentos	32
Imagen 5. Frutas y verduras	33
Imagen 6. Taxonomía lechuga	37
Imagen 7. Lechuga romana	38
Imagen 8. Lechuga escarola	38
Imagen 9. Lechuga francesa	39
Imagen 10. Lechuga iceberg	39
Imagen 11. Lechuga Batavia	40
Imagen 12. Siembra inicial de lechuga	41
Imagen 13. Siembra en tierra de lechuga	42
Imagen 14. Cultivo de lechuga	42
Imagen 15. Papaya	47
Imagen 16. Taxonomía papaya	48
Imagen 17. Papaya Solo o Hawaiana	49
Imagen 18. Papaya Cariflora	49
Imagen 19. Papaya Catira	50
Imagen 20. Papaya Zapote	51
Imagen 21. Papaya Maradol	52
Imagen 22. Papaya Melona	52
Imagen 23. Plantación de papaya	55
Imagen 24. Ejemplos papaya en mal estado	57
Imagen 25. Cosecha de la papaya	58
Imagen 26. Lavado de la papaya	58
Imagen 27. Embalaje de la papaya con papel periódico	60
Imagen 28. Embalaje de la papaya con espuma de polietileno	61
Imagen 29. Vehículo con carga expuesta al medio ambiente	62
Imagen 30. Vehículo con sistema de refrigeración	63
Imagen 31. Flujo del aire dentro del camión	64
Imagen 32. Comercialización	65
Imagen 33. Etiqueta energética	70
Imagen 34. Sistema de refrigeración para vehículos de transporte terrestre	85
Imagen 35. Camión de transporte refrigerado	86
Imagen 36. Compresor Thermo King	86
Imagen 37. Refrigeración adecuada sobre la superficie de carga	87
Imagen 38. Dimensiones vehículo refrigerado	87
Imagen 39. Cámara de refrigeración o cuarto frío	114

Imagen 40. Espacio interno de un cuarto frío	115
Imagen 41. Flujo de aire cámara de frío	115
Imagen 42. Dimensiones de la cámara de refrigeración	116
Imagen 43. Iluminación frutas y verduras	140
Imagen 44. Variación de temperatura entre anaqueles	141
Imagen 45. Equipo exhibidor autoservicio	142
Imagen 46. Lechuga exhibida en el equipo de autoservicio	142
Imagen 47. Dimensiones del exhibidor o mueble autoservicio	143

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades de la lechuga	40
Tabla 2 Datos de la producción de lechuga en Colombia	43
Tabla 3. Porcentaje producción de papaya	56
Tabla 4. Dimensiones y área del vehículo refrigerado	88
Tabla 5. Calor de transmisión vehículo de refrigeración	88
Tabla 6. Calor retirado de los productos del vehículo refrigerado	89
Tabla 7. Carga total, vehículo de refrigeración	91
Tabla 8. Dimensiones y superficie cámara de frío	117
Tabla 9. Calor de transmisión de la cámara de frío	117
Tabla 10. Calor retirado de los productos por la cámara de frío	119
Tabla 11. Carga térmica total, Cámara de frío	122
Tabla 12. Dimensiones y áreas del exhibidor de autoservicio	144
Tabla 13. Calor de transmisión exhibidor de autoservicio	144
Tabla 14. Calor retirado por el exhibidor de autoservicio	145
Tabla 15. Carga térmica total, exhibidor de autoservicio	147

RESUMEN

La evaluación de la cadena del frío, tanto en frutas como en verduras, juega un papel preponderante en la ingesta de alimentos y en consecuencia en los procesos digestivos generadores de salud o malestar en los seres humanos. Los especialistas en alimentación, refieren ampliamente el pensamiento: “Se es lo que se come”. De allí, que el cuidado, prevención, aplicación de recomendaciones y normativas en el tránsito de los alimentos, desde su cosecha hasta su consumo: revisten especial importancia en la calidad de vida de las personas en general.

La Asociación Colombiana de Acondicionamiento del Aire y la Refrigeración, conocida por sus siglas (ACAIRE), es una organización ampliamente consciente del impacto ambiental positivo, producto de las adecuadas prácticas en refrigeración de alimentos, es por esto que se ha convertido en un ente referente en el tema, contribuyendo con el avance tecnológico, la investigación y normalización de los procesos, coadyuvando a su vez, con el desarrollo idóneo de la cadena de frío para productos alimenticios en general.

La evaluación técnica para la cadena de frío en frutas y verduras en Colombia tiene como objetivo determinar rangos y variables como la temperatura, presión y otros factores que determinan la calidad e inocuidad. Para ello es fundamental, evaluar las generalidades de dicho proceso, con el fin de percibir e identificar los métodos involucrados en su funcionamiento y las variaciones para el cumplimiento del propósito de preservación de los alimentos. En este sentido, el presente proyecto, se enfoca hacia el estudio específico de la lechuga y la papaya, siendo la primera, representante de las verduras y la última de las frutas.

Para este proyecto, se enfocaron aspectos como: el diagnóstico y evaluación los procesos y equipos, la determinación de las cargas térmicas existentes en cada eslabón, la eficiencia energética de la cadena de refrigeración, en los productos en estudio. Asimismo, la identificación de las condiciones de operación de los equipos, mediante la evaluación y posterior comparación de los cálculos, observando los porcentajes de cumplimiento según los parámetros de diseño. De igual manera, se evaluó el impacto ambiental, tanto del proceso como de los equipos involucrados, obteniendo información sobre el entorno afectado por cada aspecto del proceso de refrigeración.

De este modo, se concluyó que existen importantes falencias, en diversas etapas del proceso de la cadena de frío, generando afectaciones de forma directa e indirecta sobre los productos en estudio, disminuyendo su calidad y aumentando el riesgo de proliferación de bacterias, altamente perjudiciales para el ser humano. Dichos hallazgos, permitirán brindar a los pequeños sectores económicos de la industria colombiana, información oportuna, a fin de ofrecer mayores estándares de calidad e inocuidad en estos productos.

Palabras Clave: Cadena de frío, impacto ambiental, presión y temperatura.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Colombia se desechan a diario gran cantidad de frutas y verduras, que pudieron ser parte de la dieta de los habitantes de esta nación, pero que debido al desconocimiento, tanto de productores como de distribuidores, del manejo de prácticas adecuadas, en relación al cuidado e inocuidad de los productos, se vuelven desperdicio.

Estos desperdicios, a su vez, generan un problema social que aumenta la contaminación ambiental, de residuos y desechos, emitidos principalmente por centrales de abastos y supermercados, elevando también la proliferación de insectos y roedores en las periferias de estos sectores.

En este sentido, es fundamental evaluar las necesidades de refrigeración que posee cada producto, logrando conocer el estado actual de la cadena de frío para frutas y verduras, velando por proveer las condiciones adecuadas de conservación, desde su recolección hasta su destino final, la ingesta de personas que inocentemente adquieren productos, bajo la premisa de estar en óptimas condiciones, cuando su vida útil está muy disminuida, a causa de los cuidados inadecuados.

De allí, la suprema *importancia* de “Evaluar técnicamente la cadena de frío en la producción de frutas y verduras en Colombia, para ACAIRE.”, como *objetivo* general de esta investigación, generando a su vez, los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar los procesos en la producción de una fruta y una verdura desde la recolección hasta el consumo final.
- Identificar las normas reguladoras de los procesos de producción de la fruta y verdura correspondiente.
- Evaluar los equipos y los ambientes utilizados en los procesos aplicados actualmente en la cadena de frío.
- Determinar parámetros y condiciones de diseño y operación de equipos y ambientes, de acuerdo con normativas y especificaciones técnicas.
- Analizar comparativamente los parámetros y condiciones teóricas, contra el diagnóstico realizado.
- Evaluar el impacto ambiental del proyecto.
- Determinar los costos del desarrollo del proyecto.

En términos de definir el *alcance* de este proyecto, se circunscribió su acción, eligiendo un producto representante de las hortalizas, en este caso, la lechuga y por el gremio de las frutas, la papaya. Asimismo, se evaluó un prestador de servicio, por cada proceso inherente en la cadena de frío, tanto en verduras como en frutas; Asimismo, se evitó la intervención de equipos en el proceso de evaluación.

La *metodología* empleada para el desarrollo del proyecto, se encuentra implícita en cada uno de los objetivos específicos, los cuales están descritos de forma consecutiva, lo cual proveyó al proyecto de una estructura sólida durante cada etapa de su desarrollo.

Del mismo modo, es importante resaltar, que el presente proyecto, es adaptable a nivel Colombia, debido a que permite dar a conocer cada uno de los procesos intermedios que se relacionan con la cadena de frío, para identificar las características idóneas de manipulación y conservación de los dos productos antes referidos, en cada uno de los componentes de refrigeración, permitiendo asegurar, su calidad e inocuidad.

1. GENERALIDADES DE LA CADENA DE FRÍO

1.1 CADENA DE FRÍO

Es el proceso con el cual se garantiza la temperatura y ambiente controlado en los productos perecederos a lo largo de una serie de eslabones que vienen desde la materia prima hasta el consumidor final ¹. Estos eslabones, se muestran en la siguiente imagen:

Imagen 1. Esquema de procesos de la cadena de frío



Fuente: PROCOLOMBIA. Disponible en: http://www.procolombia.co/sites/all/modules/custom/mccann/mccann_ruta_exportadora/files/06-cartilla-cadena-frio.pdf [revisado 20-2-2018]

La finalidad que tiene la cadena de frío, es restringir la velocidad de deterioro en el producto, sin acarrear una maduración anómala u otros cambios perjudiciales, de tal manera que el producto se conserve durante períodos tan largos como sea posible, en condiciones aceptables para el consumidor².

¹ Navarro López, Hector. Logística De La Cadena De Frío. 2013.

² REYES MÉNDEZ, Laura María y GUTIÉRRES ORTIZ, Andrés Mauricio. Importancia de la cadena de frío en frutas y hortalizas [En línea]. Colombia, Tolima: Scrib.com [Citado: 2018-02-28].

Procolombia³, entidad encargada de promover el turismo, la inversión extranjera, las exportaciones no minero - energéticas y la imagen del país, afirma respecto al proceso de conservación de alimentos, para lograr el éxito, que se deben mantener eslabones fijos, continuamente vigilados y controlados, para la verificación de su buena aplicación; dichos eslabones son:

- Post-cosecha
- Empaque y embalaje
- Almacenamiento
- Manipulación de carga refrigerada
- Transporte
- Comercialización

La temperatura en cada fase, debe ser la más baja posible, a la vez que siempre superior a aquel ambiente climático, en el que comienza la aparición de daños, por exceso de frío. Por lo tanto, la fijación de este indicador, depende en primer lugar de la naturaleza y la fisiología de los productos que deban almacenarse⁴.

La temperatura de almacenamiento, debe mantenerse lo más constante posible, así se cumple a cabalidad, el método más eficiente para que la proliferación de microorganismos patógenos, y el proceso de maduración se postergue, prolongando así, la vida útil de los productos.

Para que un producto refrigerado sea saludable, debe mantener temperaturas oscilantes entre -1°C hasta 8°C, a fin de evitar daños en el valor nutricional o en las características organolépticas inherentes al mismo,⁵en este rango la proliferación de las bacterias se interrumpe. Esto no quiere decir que todos los productos tengan este mismo rango para su refrigeración, en algunos casos puede ser inferior a -1°C, tratándose de los productos que requieren congelación para conservarse adecuadamente. Cada rango de congelación, es definido por la naturaleza inherente a cada producto.

Con el avance de la tecnología, los métodos de conservación de alimentos también han ido evolucionando, si bien en la antigüedad, los alimentos se conservaban realizando un secado al sol, con ayuda de sal como conservante natural,

Disponible: <https://es.scribd.com/doc/3503058/IMPORTANCIA-DE-LA-CADENA-DE-FRIO-EN-FRUTAS-Y-HORTALIZAS>.

³ PROCOLOMBIA. Logística De Perecederos Y Cadena De Frío En Colombia. 2014.

⁴ REYES MÉNDEZ, Laura María y GUTIÉRRES ORTIZ, Andrés Mauricio. Importancia de la cadena de frío en frutas y hortalizas [En línea]. Colombia, Tolima: Scrib.com [Citado: 2018-03-01]. Disponible: <https://es.scribd.com/doc/3503058/IMPORTANCIA-DE-LA-CADENA-DE-FRIO-EN-FRUTAS-Y-HORTALIZAS>. p.6.

⁵ UMAÑA CERROS, Eduardo. Terminología, Definiciones y Explicaciones. En: Conservación de alimentos por frío. El Salvador: Fiagro y Fusades Proinnova, s.f. p.20.

actualmente, existen diversidad de métodos, entre los que destacan: la liofilización, la deshidratación osmótica o el uso de muy bajas temperaturas de refrigeración o congelamiento en atmósferas modificadas o controladas⁶.

Los métodos de conservación de productos, que se pueden encontrar en la actualidad, se dividen en tres grupos⁷:

- Los métodos de conservación químicos:
 - Aplicación de azúcares
 - Aplicación de ácidos
 - Aplicación de sal.

- Los métodos de conservación biológicos:
 - Fermentación alcohólica
 - Fermentación láctica
 - Fermentación acética

- Los métodos de conservación físicos:
 - Aumento de energía del producto; se usan procesos de tratamientos térmicos o radiación.
 - Reducción de temperatura usando refrigeración o congelamiento.
 - Reducción del contenido de agua; los procesos básicamente son tres, liofilización, concentración, deshidratación.
 - Aplicación de barreras; diversos tipos de envasado que aumentan significativamente el tiempo de conservación de los alimentos.

En general, todos los procesos de conservación son utilizados, cada uno en menor o mayor grado de eficiencia, con relación a las propiedades específicas del producto. Los más utilizados, son los encaminados a tecnologías limpias, como la refrigeración y congelación, que permiten mantener la calidad y frescura del producto. Sin embargo, ninguno de ellos, es capaz de acabar con las bacterias de raíz, y aumentar la calidad del producto, los procesos más eficientes logran aumentar la vida útil, ya que intervienen con la propagación de los microorganismos y a su vez hacen que el proceso degenerativo del producto sea más lento.

⁶ UMAÑA CERROS, Eduardo. Introducción a la refrigeración y congelamiento como medio de conservación de alimentos. En: Conservación de alimentos por frío. El Salvador: Fiagro y Fusades Proinnova, s.f. p.16.

⁷ UMAÑA CERROS, Eduardo. Introducción a la refrigeración y congelamiento como medio de conservación de alimentos. En: Conservación de alimentos por frío. El Salvador: Fiagro y Fusades Proinnova, s.f. p.17.

1.2 EQUIPOS Y MÉTODOS DE REFRIGERACIÓN

La refrigeración consiste en un método destinado a proveer control de la temperatura; para realizar este proceso, es necesario utilizar equipos que ayuden a suplir las necesidades de los productos. Así como la tecnología avanza, los equipos y técnicas de conservación, también lo hacen, a través de un proceso constante de reingeniería, basado en el aprendizaje generado por los problemas de implantación acaecidos, los diseñadores determinan, las mejoras y avances pertinentes a cada situación. A continuación, se describe como la composición, de un sistema de refrigeración y su principio de funcionamiento.

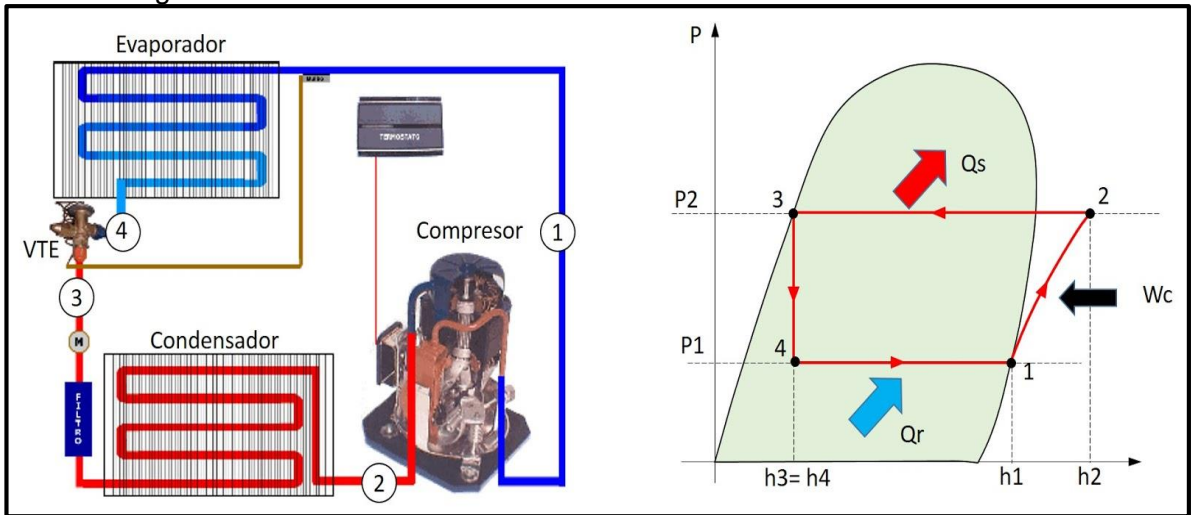
1.2.1 Componentes del sistema de refrigeración. La refrigeración, es una operación en la cual se quiere retirar el calor existente en un lugar y expulsarlo a donde no afecte, para así bajar la temperatura de la zona de trabajo y tener un control en el ambiente, a fin de mantener la calidad de los productos.

Un sistema de refrigeración está fundamentado bajo las leyes de la termodinámica y cumple con un proceso llamado ciclo de Carnot, el cual es un proceso reversible, basado en la máquina térmica de trabajo ideal, como lo indica CLAUS BORGNAKKE; se compone de dos procesos isobáricos e isotérmicos reversibles, un proceso isoentrópico y uno isoentálpico, para la compresión y expansión del refrigerante, el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor⁸, es la técnica más empleada en los equipos de mayor comercialización.

Los sistemas de refrigeración, están compuestos por cinco elementos principales que realizan todo el trabajo que cumple el ciclo termodinámico, el compresor, el condensador, el mecanismo de expansión, el evaporador y el refrigerante, producto de las propiedades termodinámicas de este último componente, se realiza el ciclo de refrigeración sin alteraciones respecto a cambios de fase. En la siguiente imagen se puede observar de manera esquemática dichos componentes.

⁸ SONNTAG E., Richard y BORGNAKKE Claus. Fundamentals of Thermodynamics. 7 ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons Inc, 2012.

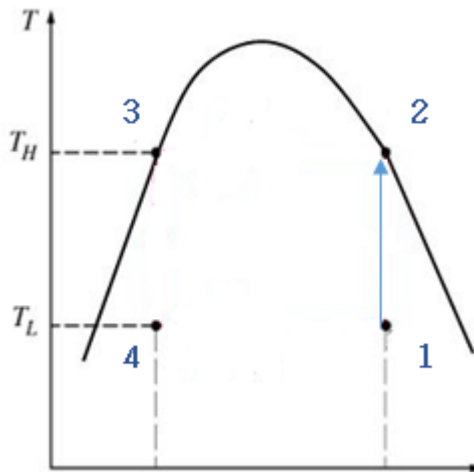
Imagen 2. Esquema de los componentes de un ciclo de refrigeración y comportamiento ideal en diagrama de Mollier



Fuente: Pinterest. "Ciclo de refrigeración" [Figura]. Disponible: <https://co.pinterest.com/pin/309692911868129575/>

Dentro del esquema anterior hay un diagrama de Mollier, en el cual se realizan los estudios del comportamiento del refrigerante y los cambios de temperatura y presión en el ciclo. Su funcionamiento, se realiza a través de etapas, éstas se describen de la siguiente manera:

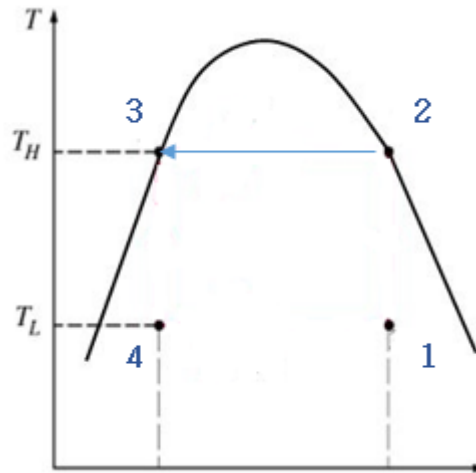
Figura 1. Ciclo de Carnot punto 1 a 2



Fuente: Mechanical Engineering. "P-V & T-S Diagram of Carnot Cycle" [Figura]. Disponible: <http://mech-engineeringbd.blogspot.com/2016/07/carnot-cycle.html>.

- La unión entre los puntos 1 y 2, descrita en la figura 1.
 - Proceso isoentrópico, donde ocurre la compresión del refrigerante a entropía constante, es adiabático y no hay transferencia de calor al sistema.
 - Se genera un aumento de presión y de temperatura.
 - Este proceso debe ejecutarse únicamente en fase de vapor.
 - La actividad es llevada a cabo por el compresor.

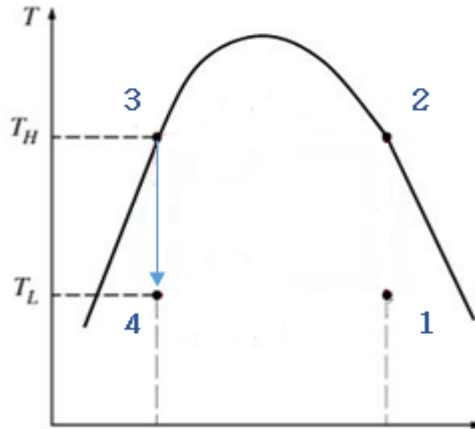
Figura 2. Ciclo de Carnot punto 2 a 3



Fuente: Mechanical Engineering. "P-V & T-S Diagram of Carnot Cycle" [Figura].
 Disponible:
<http://mechengineeringbd.blogspot.com/2016/07/carnot-cycle.html>.

- El proceso que se lleva a cabo entre la sección 2 y 3, tal como se muestra en la figura 2
 - Ocurre un cambio de fase del refrigerante, pasando de vapor a líquido, esto debido a una pérdida de energía transferida al entorno exterior donde opera el equipo.
 - Es un proceso isobárico e isotérmico, a presión y temperatura constante, que es realizado por el condensador.

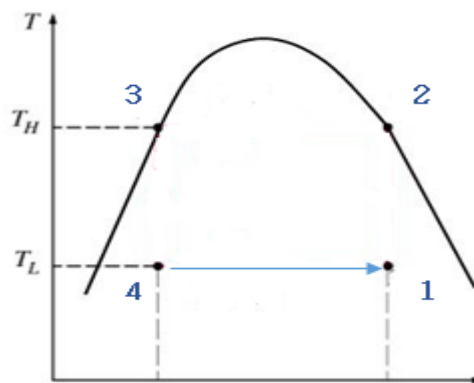
Figura 3. Ciclo de Carnot punto 3 a 4



Fuente: Mechanical Engineering. "P-V & T-S Diagram of Carnot Cycle" [Figura]. Disponible: <http://mech-engineeringbd.blogspot.com/2016/07/carnot-cycle.html>.

- El proceso que se lleva a cabo entre la sección 3 y 4, tal como se muestra en la figura 3
 - Se da lugar a la expansión del refrigerante, que fue comprimido y cambiado de fase en los puntos anteriores.
 - Genera una disminución de la temperatura, hasta que sea mínima en relación a la cual trabaja el sistema.
 - Este proceso es isoentálpico, a entalpia constante que es llevado a cabo por el mecanismo de expansión.

Figura 4. Ciclo de Carnot punto 4 a 1



Fuente: Mechanical Engineering. "P-V & T-S Diagram of Carnot Cycle" [Figura]. Disponible: <http://mech-engineeringbd.blogspot.com/2016/07/carnot-cycle.html>.

- Línea de unión puntos 4 y 1 de la figura. Describe un proceso de:
 - Absorción de calor de forma isobárica e isotérmica, donde por medio del refrigerante y del evaporador se realiza el cambio de fase de líquido a vapor realizando la transferencia de calor en el ambiente a refrigerar.
 - El proceso de evaporación, es el encargado de asegurar el cambio de fase del refrigerante en vapor, para llegar hasta el compresor únicamente en fase de vapor.

1.2.2 Métodos y equipos. En el campo de la refrigeración, existen diferentes maneras de aplicar el proceso de controlar o disminuir las temperaturas; se puede hablar de sistemas de congelación y sistemas de conservación, entre los cuales, existen diferencias en los diseños de los sistemas y los materiales empleados, pero su principio de funcionamiento es igual para los dos.

Existen diferentes maneras de trabajar el principio de funcionamiento, según la temperatura a utilizar, encontrando rangos altos, medios y bajos, según sea el caso. La temperatura alta será aquella que está comprendida entre los 8°C y los 15°C, la cual es idónea para controlar algunas frutas, verduras y flores, entre otros; la temperatura media se encuentra entre los 0°C y los 8°C, que es la ideal para conservar las frutas y verduras más comunes y la temperatura baja que comprende toda aquella temperatura por debajo de los 0°C, aplicada especialmente a productos cárnicos, lácteos, helados y algunas verduras⁹.

Para su funcionamiento, es importante saber cómo funciona la configuración de la instalación de sus componentes, es decir, si se trata de un sistema con una sola etapa, un sistema multietapa, un sistema compuesto o un sistema en cascada. Cada uno de estos sistemas, se caracteriza por su distribución y funcionamiento en operación; un sistema de una sola etapa es simplemente un equipo de refrigeración convencional; un sistema multietapa, funciona con dos compresores y un dispositivo de refrigeración entre cada compresor, este sistema es aplicado para tener compresiones y temperaturas más elevadas; un sistema compuesto es aplicado a instalaciones de media y gran escala, en donde es necesario manejar una compresión múltiple y conectar los compresores en serie, manejando varios equipos al tiempo y un sistema en cascada, aplicado en casos especiales, donde sea necesario tener un rango de -80°C a -100°C para congelación, cuya configuración consta de varias etapas y cada una cuenta con un refrigerante distinto.

De este modo, cada etapa posee un sistema independiente de compresor, mecanismo de expansión y evaporador, sin embargo, todo el sistema completo se controla con un paquete de condensado capaz de suplir al proceso¹⁰. Los equipos empleados para realizar estos procesos tienen similitudes en sus diseños, es decir

⁹ UMAÑA CERROS, Eduardo. Terminología, Definiciones y Explicaciones. En: Conservación de alimentos por frío. El Salvador: Fiagro y Fusades Proinnova, s.f.

¹⁰ RALPIN J., Pierre, et al. Instalaciones Frigoríficas. 2 ed. París: Marcombo, Boixaeru editores, 1993.

sus componentes son los mismos, pero su funcionamiento por diseño hace la diferencia, debido a que la refrigeración, es aplicada para diversas actividades y procesos, de este modo, se encuentran diseñadas para trabajar a condiciones, cantidad de calor, materiales para el aislamiento, por los requisitos indicados por el cliente o usuario, que necesite la instalación del sistema refrigerado. Estos equipos tienen la función de conservar un rango de temperaturas dado como en congelación que deben trabajar a temperaturas muy bajas con el fin de cumplir los requerimientos deseados.

Los componentes de un sistema de refrigeración, siempre serán los mismos y cumplirán propósitos de diseño, contando con el compresor, condensador, válvula de expansión, evaporador y el refrigerante. En el mercado, es posible encontrar diferentes fabricantes de equipos diseñados especialmente para los procesos en los cuales se desean aplicar. En refrigeración se encuentran refrigeradores de nivel doméstico, comercial e industrial, equipos para aplicación de acondicionamiento y control de ambientes y cámaras de refrigeración de formato industrial.

En la congelación, se encuentran congeladores domésticos, las cámaras de refrigeración, se diferencian en su aplicación ya que existen diseños según sus usos. Se pueden ubicar equipos que solo almacenan y las instalaciones se encuentran en bodegas o almacenes, en túneles de refrigeración, los cuales funcionan cuando existe un proceso en movimientos de productos dentro del lugar de instalación y es necesario el manejo de temperaturas de congelación.

1.3 PRODUCTOS PERECEDEROS

La Universidad Industrial de Santander, conceptualiza a los productos y alimentos perecederos, como aquellos que su composición de características físico-químicas y biológicas, puedan experimentar variaciones naturales a cambios de temperatura, presión y humedad durante un tiempo determinado. En este sentido, los productos perecederos exigen condiciones especiales en sus procesos de conservación, almacenamiento, embalaje, transporte y comercialización¹¹.

Existe una variedad de productos perecederos como los alimentos cárnicos, lácteos y helados, los medicamentos farmacéuticos, los órganos humanos, las flores, las frutas y las verduras. Asimismo, existe una clasificación acerca de los productos perecederos, clasificándolos en altamente perecederos y semi-perecederos. A continuación, se menciona cada clasificación.

1.3.1 Cárnicos y Lácteos. Como primera clasificación, se encuentra la gama de productos de carnes, ya sean provenientes de bovinos, aves, pescados y mariscos y de igual manera todos los lácteos y sus derivados que hacen parte de este grupo de productos altamente perecederos, los cuales tienen la característica de realizar

¹¹ MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto 3075. Colombia: Invima, 1997.

una rápida descomposición por el contacto con el ambiente; como son productos que contienen un alto nivel de agua, proteínas y nutrientes, se catalogan como productos de principal cuidado¹².

Las consideraciones que se deben realizar, en los procesos de conservación para los productos altamente perecederos, requieren muy bajas temperaturas, ya que se encuentran expuestos a cantidades alarmantes de bacterias dentro de sus microorganismos, a causa de la degradación. Es por esto, que su procesamiento a bajas temperaturas, detiene el crecimiento de las bacterias brindando la seguridad y sanidad necesaria para la comercialización, cumpliendo los estándares de calidad y la cadena de frío. Las temperaturas a las cuales se trabajan están en un rango que va desde los 0°C hasta -30°C¹³.

Imagen 3. Cárnicos y lácteos



Fuente: 123 RF. "Natural de supermercados los sistemas del alimento: Los productos lácteos, pollo salchichas de carne, frutas y hortalizas comestibles, panadería. Ilustración vectorial de dibujos animados". [Figura]. Disponible: https://es.123rf.com/photo_68842150_natural-de-supermercados-los-sistemas-del-alimento-los-productosl%C3%A1cteos-pollo-salchichas-de-carne-fru.html

1.3.2 Medicamentos. Este rubro, pertenecen al grupo de los semi - perecederos, dado que no contienen aguas ni nutrientes entre sus componentes. Los medicamentos, deben tener bastante seguridad en sus procesos ya que los empaques que contengan los fármacos han de preservar las características físicas, químicas, microbiológicas y toxicológicas, dado que del resguardo de su calidad, depende la acción para la cual fue diseñado. Otro factor de gran importancia dentro de la conservación y procesamiento de los medicamentos, es un buen control en la temperatura y ambiente de almacenamiento, ya que si surgen variaciones en este

¹² NAVARRO LÓPEZ, Héctor. Logística de la cadena de frío [En línea]. Colombia, Bogotá D.C.: Proexport Colombia [Citado: 2018-03-06]. Disponible: http://www.colombiatriade.com.co/sites/default/files/conferencia_logistica_en_la_cadena_de_frio_pr_oexport_2013.pdf.

¹³ LEÓN CRESPO, Francisco. Conservación de alimentos en frío. 1990

sentido, dichos productos pueden ser alterados químicamente o sufrir reacciones por sus componentes volviendo tóxicos todos los medicamentos. El rango de temperaturas necesario para almacenar o transportar los fármacos se encuentra desde los 2°C hasta los 8°C¹⁴.

Imagen 4. Medicamentos



Fuente: Hablando de homeopatía. "Medicamento" [Figura]. Disponible: <https://www.hablandodehomeopatia.com/uso-racional-del-medicamento/>

1.3.3 Frutas y Verduras. Estas hacen parte del grupo de alimentos perecederos, este grupo posee gran variación, ya que existen alimentos más delicados que otros, es decir, se encuentran frutas y verduras que son altamente perecederas y otras poco perecederas. Debido a esto, no hay una temperatura ideal para poder controlar las frutas y verduras, ya que por este variado rango de temperaturas pueden sufrir del ataque de hongos o lesiones por bajas temperaturas en algunos casos.

Según estudios realizados a esta variedad de alimentos cabe mencionar que aquellos que tengan una vida útil corta, son los que presentan mayor actividad de respiración, de igual manera las frutas y verduras que se cosechen ya en estado maduro y los alimentos que presentan una alta sensibilidad a temperaturas bajas presentan una vida útil muy corta. También hay que mencionar algunos factores importantes los cuales hay que tener en cuenta al momento de conservar, así como, la maduración o pérdida natural de calidad, alteraciones causadas por el crecimiento de hongos o bacterias.

¹⁴ BOVAIRA GARCÍA, María José, et.al. Conservación de medicamentos termolábiles. Ctra. Madrid-Cartagena: Hospital universitario "Virgen de la Arrixaca", 2004.

Imagen 5. Frutas y verduras



Fuente: Freepik."Frutas y verduras"
[Figura]. Disponible: https://www.freepik.es/vector-premium/ilustracion-de-dibujos-animados-de-grupo-de-frutas-y-verduras_1984291.htm

La comisión del Consejo Técnico del Instituto Internacional del Frio ha recopilado una serie de datos, generando recomendaciones específicas para la conservación de frutas y verduras clasificadas en diferentes rangos de temperatura:

Cuadro 1. Condiciones de refrigeración baja

Refrigeración de 0 a 4°C							
Frutas	T (°C)	H.R (%)	T.C	Hortalizas	T (°C)	H.R (%)	T.C
Albaricoque	0	90	2-4s	Espárragos	0-2	95	2-3s
Cereza	0	90 - 95	1-2s	Espinaca	0	95	1-2s
Ciruela	0	90 - 95	2-4s	Guisante	0	95	1-2s
Coco	0	80 - 90	1-2m	Lechuga	0	95	1s
Dátil fresco	0	85	1-2m	Maíz dulce	0	95	4-5m
Kiwi	-0.5	90 - 95	8 - 14s	Nabo	0	95	5-8m
Frambuesa	0	90 - 95	1-4d	Patata	2-3	90 - 95	1-3m
Fresa	0	90 - 95	1-5d	Puerro	0	>95	1-2s
Limón coloreado	0-4.5	90-95	2-6m	Rábano	0	90-95	5-6m
Manzana (s.o.v.)	0-4	90-95	2-6m	Zanahoria	0	>95	
Melocotón	0	90	2-4s				
Naranja (s.o.v.)	0-4	85 - 90	2-4s				
Pera	0	90 - 95	2-5m				
Uva (s.o.v.)	1 -0	90 - 95	1-4m				

Fuente: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). "Recomendaciones de temperatura y humedad relativa" [Cuadro]. Disponible: <http://www.fao.org/Wairdocs/X5403S/x5403s0a.htm>

Cuadro 2. Condiciones de refrigeración media

Refrigeración de 4 a 8°C							
Frutas	T (°C)	H.R. (%)	T.C.	Hortalizas	T (°C)	H.R.(%)	T.C.
Mandarina	4-6	85 – 90	4–6s	Judía verde	7–8	92 - 95	1–2s
Mangostan	4–5.5	85 – 90	6–7s	Patata consumo	4–6	90 - 95	4–8m
Sandía	5 – 10	90 – 95	2–3s	Patata industria	7 – 10	90 – 95	2–5m

Fuente: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO).
 “Recomendaciones de temperatura y humedad relativa” [Cuadro]. Disponible:
<http://www.fao.org/Wairdocs/X5403S/x5403s0a.htm>

Cuadro 3. Condiciones de refrigeración alta

Refrigeración a más de 8°C							
Frutas	T (°C)	H.R. (%)	T.C.	Hortalizas	T (°C)	H.R.(%)	T.C.
Aguacate	7 – 12	85 – 90	1–2s	Batata	13 – 16	85 – 90	4–7m
Guayaba	8 – 10	90	2–3s	Berenjena	7 – 10	90 – 95	10d
Lima	8.5 – 10	85 – 90	3–6s	Calabaza	10 – 13	50 – 75	2- 5 m
Limón (s.o.v)	10 – 14	85 – 90	1–4m	Jengibre	13	65	6m
Mango(s.o.v)	7 – 12	90	3–7s	Ñame	16	85 – 90	3 -5s
Melón (s.o.v)	7 – 10	85 – 90	1 – 12s	Okra	7.5 - 10	90 – 95	1– 2s
Papaya	7 – 10	-	1–3s	Pepinillo	13	90 – 95	5– 8d
Piña (verde)	10 –13	85 – 90	2–4s	Pimiento	7 - 10	90 – 95	1– 3s
Piña (madura)	7- 8	90	2–4s	Tomate (verde)	12 -13	-	1– 2s
Plátano (verde)	dic-13	85 - 90	10-20d	Tomate (maduro)	8 - 10	85 – 90	1s
Plátano (coloreado)	13-16	85-90	5-10d				
Pomelo	10	85-90	2-3m				

H.R : Humedad Relativa
 T.C: Temperatura de conservación (d:días, s:semanas, m: meses)
 s.o.v: Según origen y variedad

Fuente: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO).
 “Recomendaciones de temperatura y humedad relativa” [Cuadro]. Disponible:
<http://www.fao.org/Wairdocs/X5403S/x5403s0a.htm>

2. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE FRÍO EN FRUTAS Y VERDURAS

Para el desarrollo del proyecto, fue necesario hacer una investigación detallada, acerca de los procesos inherentes a la cadena de frío, aplicables tanto a la lechuga, como a la papaya, para esto también se brinda una descripción de cada producto, posteriormente indicando las actividades que se realizaron, a fin de que los productos alcancen su destino final.

Una de las características por las cuales, el estudio se realiza sobre la lechuga y la papaya, es que cada producto necesita un proceso de frío riguroso, para que su tiempo de conservación sea más prolongado y se mantenga en óptima calidad para ser comercializado. Además los productos escogidos para el estudio son producidos en Colombia, y están siendo exportados a diferentes países de América del norte y Europa¹⁵. Por otra parte, la característica principal, por la cual se determina la selección, de únicamente, estos dos productos, se debe a que son los de mayor susceptibilidad a un rápido deterioro. También son productos que tienen un alto atractivo a nivel mundial dado su consumo, por lo cual se hizo este análisis con el fin de mejorar su calidad mediante el retardo en el proceso de maduración y de esta manera prevenir la excesiva deshidratación, lo cual influiría en la calidad, como producto terminado.

Existen diferentes estudios, en los que se ha demostrado que alrededor del 50% de los alimentos que no tienen una buena ejecución en todos los eslabones de la cadena de refrigeración, son desechados debido a proliferación de bacterias o microorganismos¹⁶, también pueden presentar oxidación enzimática en la que el alimento pierde estructura, presenta variación de color y empieza a eliminar lixiviados de descomposición.

2.1 CADENA DE FRÍO EN LECHUGA

La lechuga por pertenecer al grupo de alimentos perecederos, necesita tener un procedimiento de cadena de frío cumpliendo con los estándares y normas, debido a que posee características de maduración fisiológicas y una leve alteración microbiológica, lo cual genera alteraciones bioquímicas que dan lugar a¹⁷:

¹⁵ ICA Comunica. Colombia exporta con éxito papayas a Canadá [En línea]. Colombia: ica.gov.co. [Citado: 2018-10-28]. Disponible:<https://www.ica.gov.co/Periodico-Virtual/Prensa/2013/Colombia-exporta-con-exito-papayas-a-Canada.aspx>

¹⁶ REYES MÉNDEZ, Laura María y GUTIÉRRES ORTIZ, Andrés Mauricio. Importancia de la cadena de frío en frutas y hortalizas [En línea]. Colombia, Tolima: Scrib.com. Disponible: <https://es.scribd.com/doc/3503058/IMPORTANCIA-DE-LA-CADENA-DE-FRÍO-EN-FRUTAS-Y-HORTALIZAS>

SEAM. Relatorio de impacto ambiental preliminar. Paraguay: Imaq S.A., s.f.

¹⁷ ANTONIO GALVIS, Jesús Antonio, et.al. Manual de procesamiento y conservación de Lechugas (*Lactuca Sativa L.*) variedades verde y morada crespa mínimamente procesadas. Trabajo de grado. Colombia: Fundación Universitaria Agraria de Colombia-UNIAGRARIA. s.f. pág. 34-36.

- Pardeamiento: Se da por la oxidación de compuestos de ciertos sustratos y enzimas que componen químicamente a la lechuga. Esta característica denota pérdidas nutricionales, funcionales y organolépticas sobre el producto.
- Olores desagradables: Se da debido a la oxidación y degradación de sustratos y enzimas que componen la lechuga.
- Pérdida de textura: Se presenta un ablandamiento debido a que se liberan sustancias que se difunden en el interior de ésta, generando mayor humedad y por consiguiente una pérdida de estructura.

Esta verdura exige unas condiciones específicas para su conservación como se observa en el Cuadro 1 de la sección anterior, con el principal fin de evitar las características anteriormente mencionadas, siendo este un motivo importante para los productores y comercializadores, los cuales deben cerciorarse de la calidad de productos que ofrecen.

2.1.1 Generalidades de la Lechuga. Dentro de las generalidades se mencionan los conceptos de definición, las variedades existentes y las propiedades que la lechuga puede proporcionar.

2.1.1.1 Definición. *Lactuca sativa* o comúnmente llamada lechuga, es originaria del Mediterráneo oriental y del occidente de Asia¹⁸; hace parte del grupo de hortalizas de hoja y es una de las más importantes por su alto consumo a nivel mundial. Las partes que componen la estructura de la lechuga son las siguientes¹⁹:

- Raíz: La raíz por lo general no supera un largo entre los 25 y 30 cm, ésta se hunde de forma vertical sobre la tierra, como una prolongación del tronco.
- Hojas: Su estructura es similar a la de una rosa, posee hojas envolventes sobre el tallo; el borde de las hojas puede ser liso, ondulado o crespo según el tipo de lechuga.
- Tallo: Posee una forma cilíndrica y ramificada.

¹⁸ ASOHOFrucOL. Lechuga: Morfología [En línea]. Bogotá D.C.: Asohofrucol. [Citado: 2018-04-04]. Disponible: http://www.asohofrucol.com.co/hortaliza_detalle.php?id=128

¹⁹ ANTONIO GALVIS, Jesús Antonio, et.al. Manual de procesamiento y conservación de Lechugas (*Lactuca Sativa* L.) variedades verde y morada crespa mínimamente procesadas. Trabajo de grado. Colombia: Fundación Universitaria Agraria de Colombia-UNIAGRARIA. s.f. pág. 12.

Imagen 6. Taxonomía lechuga



Fuente: Slideshare. "Lettuce"
[Figura]. Disponible: <https://es.Slideshare.net/etnografiaverde>

2.1.1.2 Variedades. La lechuga es una hortaliza que hace parte de una familia de plantas llamadas Astereaceae²⁰, en donde existe una variedad de plantas, y por este motivo, diferentes tipos de lechuga; su diferencia se puede apreciar en la textura física, es decir, tamaño, forma y algunas propiedades. Dentro de esta variedad se hallan las siguientes:

- Lechuga romana: Esta posee hojas de forma alargada con su parte más cerca a la raíz mucho más angosta que la parte superior, una de sus características diferenciadoras es que tiene un nervio central muy pronunciado. En cuanto a su sabor, ésta es amarga²¹.(Imagen 7)

²⁰ ÁVILA CUBILLOS, Eliana Patricia. Manual: Lechuga [En línea]. Colombia, Bogotá D.C.: Cámara de Comercio de Bogotá. [Citado: 2018-04-04]. Disponible: <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/14316>

²¹ BURRUEZO. Tipos de lechuga, características y variedades (1ra Parte) [En línea]. España: Burruezocongelados. [Citado: 2018-07-04]. Disponible: <http://burruezocongelados.es/blog/tipos-de-lechugas-caracteristicas-variedades/>

Imagen 7. Lechuga romana



Fuente: INSTACART. “Romaine Lettuce” [Figura]. Disponible: <https://www.instacart.com/pick-n-save/products/3259108-romaine-lettuce-per-lb>

- Lechuga escarola: Existen dos tipos de esta lechuga, lisa o rizada; la característica relevante sobre esta es que sus hojas son angostas y no superan los 5cm de ancho. Su sabor denota particularidades picantes y amargas²².(Imagen 8)

Imagen 8. Lechuga escarola



Fuente: HAY COSAS MUY NUESTRAS. “Escarola” [Figura]. Disponible: <https://haycosasmuynuestras.com/wp-content/uploads/2016/11/escarola-l.jpg>

- Lechuga francesa: Las hojas de este tipo de lechuga son lisas y delgadas, su tamaño es grande dado que supera los 15 cm. Posee un sabor intenso pero con rasgos suaves. (Imagen 9)

²² BURRUEZO. Tipos de lechuga, características y variedades (1ra Parte) [En línea]. España: Burruezocongelados. [Citado: 2018-07-04]. Disponible: <http://burruezocongelados.es/blog/tipos-de-lechugas-caracteristicas-variedades/>

Imagen 9. Lechuga francesa



Fuente: BURRUEZO CONGELADOS.
"Lechuga francesa" [Figura]. Disponible:
<http://burruezocongelados.es/blog/tipos-de-lechugas-caracteristicas-variedades/>

- Lechuga Iceberg: Posee hojas ovaladas y alargadas, este tipo de lechuga, se caracteriza por poseer un mayor contenido de agua, brindando un sabor más suave con toques dulces. Se denomina Iceberg, puesto que soporta bajas temperaturas²³. (Imagen 10)

Imagen 10. Lechuga iceberg



Fuente: BURRUEZO CONGELADOS.
"Lechuga Iceberg" [Figura].
Disponible:
<http://burruezocongelados.es/blog/tipos-de-lechugas-caracteristicas-variedades/>

²³ BURRUEZO. Tipos de lechuga, características y variedades (1ra Parte) [En línea]. España: Burruezocongelados. [Citado: 2018-07-04]. Disponible: <http://burruezocongelados.es/blog/tipos-de-lechugas-caracteristicas-variedades/>

- Lechuga Batavia: La apariencia de sus hojas es completamente rizada, sus hojas son grandes, ovaladas y alargadas. Al igual que la lechuga iceberg posee un alto contenido en agua²⁴.(Imagen 11)

Imagen 11. Lechuga Batavia.



Fuente: BURRUEZO CONGELADOS. "Lechugabatavia" [Figura]. Disponible: <http://burruezocongelados.es/blog/tipos-de-lechugas-caracteristicas-variedades/>

2.1.1.3 Propiedades. En la siguiente tabla, las cantidades entregadas de los componentes, sobre 100 g de lechuga evaluada.

Tabla 1. Propiedades de la lechuga

COMPONENTE	CANTIDAD (g)
Agua	88.9
Proteína	8.4
Calcio	0.4
Fósforo	0.14
Hierro	0.0075
Niacina	0.0013
Riboflavina	0.0006
Carbohidratos	20.1
Tiamina	0.0003
Grasa	1.3
Vitamina A	1.155

Fuente: ÁVILA CUBILLOS, Eliana Patricia. "Contenido nutricional de la lechuga", p. 13.Tabla 2.

Como se muestra en la Tabla 1, los componentes más relevantes que integran la lechuga son agua, proteínas y carbohidratos, esto dado a su estructura enzimática;

²⁴ LA LECHUGA. La lechuga Batavia [En línea]. s.l.: Lechuga.info. [Citado: 2018-07-05]. Disponible: <http://lechuga.info/la-lechuga-batavia/>

cabe recalcar que, posee vitaminas y minerales que son necesarios dentro de la dieta alimentaria. Además, la lechuga es una hortaliza tropical cultivada en climas templados que cuenta con una alta demanda y es apetecida a nivel mundial gracias a su sabor y propiedades aportadas al consumidor, dado que es rica en vitaminas. Esta es consumida en gran variedad de platos como ensaladas, donde su presentación es como alimento fresco.

2.1.2 Cultivo. Según el tipo de fruta o verdura, el proceso de cultivo, posee determinadas especificaciones. En el caso particular de la lechuga, su siembra inicia con la colocación de su semilla en bandejas plásticas o cualquier otro tipo de estructura, que permita el crecimiento de ésta hasta unos 8 centímetros de alto, para lo cual presentaría no más de 8-10 hojas iniciales como se muestra en la Imagen 12.

Imagen 12. Siembra inicial de lechuga



Fuente: Hydroenv. "Guía para la el cultivo de lechuga"
[Figura]. Disponible:
https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=292

Una vez se obtiene la altura de 8 cm, se procede a sembrar en tierra, en donde su raíz debe estar entre 0,5-1 cm de profundidad. El tiempo en el cual se pueden recolectar las lechugas es aproximadamente de 7 semanas, durante este período, se realiza riego, que puede ser por goteo o por aspersión, en lapsos de tiempo entre 8 a 10 días²⁵. La siguiente imagen muestra un cultivo de lechuga:

²⁵ ANTONIO GALVIS, Jesús Antonio, et.al. Manual de procesamiento y conservación de Lechugas (*Lactuca Sativa L.*) variedades verde y morada crespa mínimamente procesadas. Trabajo de grado. Colombia: Fundación Universitaria Agraria de Colombia-UNIAGRARIA. s.f. pág. 15-16.

Imagen 13. Siembra en tierra de lechuga



Fuente: El huerto urbano. "Cómo plantar lechuga"

[Figura]. Disponible: <http://elhuertourbano.org/como-plantar/lechuga>

Imagen 14. Cultivo de lechuga



Fuente: FUNDESYRAM. "Lactuca Sativa" [Figura].
Disponible: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=1352>

2.1.2.1 Condiciones Agroclimatológicas. Las condiciones para que el cultivo sea óptimo son, una temperatura entre 15°C y 18°C, presencia de lluvias distribuidas las cuales deben entregar un requerimiento hídrico de 300 mm a 600mm al año. Para esta temperatura los cultivos deben estar ubicados en alturas sobre el nivel del mar de 1800 a 2800 m.s.n.m.

La humedad relativa del ambiente, es un factor importante porque de esta depende la buena salud de la planta, ya que si la humedad relativa es baja, puede perder la humedad necesaria para estar en buenas condiciones y si la humedad relativa es alta, se vuelve propensa a tener enfermedades que son causadas por hongos. Las condiciones de humedad relativa ideales para los cultivos están entre un 68% y un 70%.

El cultivo de lechuga se debe realizar en suelos de tipo franco arcilloso o franco arenoso, los cuales entregan un mejor drenaje, además de esto debe poseer un pH que esté entre el 5,7 y el 6,5 nivel de acidez²⁶.

La planeación de los cultivos tiene un orden, en donde la plantación se realiza a 25 cm de distancia, entre plantas y a 30 cm entre líneas o surcos. Esto es para agilizar y facilitar a los agricultores la recogida de las hortalizas y hacer control a la siembra²⁷.

2.1.2.2 Producción. Para el año 2013 en Colombia se produjeron 79.701 toneladas de lechuga; los departamentos con mayor producción son.

Tabla 2 Datos de la producción de lechuga en Colombia

Departamentos	Cantidad
Cundinamarca:	44.671 ton
Nariño:	19.845 ton
Antioquia:	11.937 ton
Norte de Santander:	577 ton
Valle del Cauca:	566 ton

Fuente: ÁVILA CUBILLOS, Eliana Patricia. "Principales departamentos productores de Lechuga en 2013", p.36. Figura 37.

La información brindada por la Tabla 2, indica que en el territorio Colombiano, la producción de lechuga, se desarrolla, principalmente en Cundinamarca, con un porcentaje de 57.57%, le sigue el Departamento de Nariño con un 25.57% y posteriormente Antioquia con un 15.38%. A pesar de que el país, no está entre los grandes productores mundiales, en los últimos años su producción anual, se ha mantenido en 60 mil toneladas anuales.

2.1.3 Recolección y clasificación. Esta sección, hace parte del inicio de la cadena de frío; es aquí donde inicia el manejo del producto después de los cultivos y es cuando los productores, brindan un cuidado especial a la cosecha, a fin de no dañar las cualidades del producto. También clasifican según las normas para la calidad de los productos y exigencias de los consumidores.

²⁶ ÁVILA CUBILLOS, Eliana Patricia. Manual: Lechuga [En línea]. Colombia, Bogotá D.C.: Cámara de Comercio de Bogotá. [Citado: 2018-04-10]. Disponible: <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/14316>

²⁷ LARRAIN, María. ¿Cómo cultivar lechuga? [En línea]. Colombia, Bogotá D.C.: El huerto urbano. [Citado: 2018-04-10]. Disponible: <http://www.huertodeurbano.com/como-cultivar/lechuga/>

2.1.3.1 Recolección. Después de ser plantada la lechuga y esperando el tiempo de cosecha, ésta se encuentra lista para su recolección, cuando presenta el punto de madurez, es decir, unas características ideales para recogerla del cultivo, es cuando observa la compactación de la cabeza, es decir, cuando se requiere una fuerza manual moderada para ser comprimida, dado que una cabeza muy suelta, está inmadura y una muy firme o demasiado dura, es considerada una lechuga sobre madurada²⁸.

Cuando la lechuga se encuentra en el punto de madurez es cortada, este corte según la norma técnica colombiana NTC1064 debe ser cercano a la base de las hojas externas y debe ser un corte recto para no afectar ninguna hoja de la planta²⁹. Luego de que es cortada la lechuga, es transportada en gavetas hasta un centro de selección y control de producto.

2.1.3.2 Clasificación. Según la norma técnica NTC 1064³⁰, la clasificación de la lechuga está dividida en dos categorías.

- Categoría I:

Los productos pertenecientes a esta categoría, deben ser de buena calidad, presentando todas las características de la variedad o del tipo, especialmente el color. También deben estar:

- Bien formados
- Firmes [con excepción de las lechugas cultivadas bajo protección]
- Libres de daño o deterioro que los haga impropios para su consumo
- Libres de daño por congelamiento

Las lechugas deben tener una sola cabeza bien formada. Sin embargo, para el caso de lechuga repollo cultivado bajo protección y lechuga romana, este requisito no se exige.

- Categoría II:

En esta categoría, se incluyen productos que no son aptos para su inclusión en la Categoría I, pero que satisfacen los requisitos mínimos establecidos.

Los productos de esta categoría deben:

²⁸ SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN. Cultivo de lechuga [En línea]. Ciudad de México: SAGARPA. [Citado: 2018-04-12]. Disponible:

<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/Documents/AgriculturaF/LECHUGA.pdf>

²⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Frutas y hortalizas frescas. Lechuga. NTC 1064. Bogotá D.C.: El instituto, 1994.

³⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Frutas y hortalizas frescas. Lechuga. NTC 1064. Bogotá D.C.: El Instituto, 1994.

- Estar razonablemente bien formados
- Estar libres de daño o deterioro que pueda afectar seriamente su consumo.

Los productos pueden presentar:

- Una ligera decoloración
- Daño leve causado por insectos

Las lechugas pueden tener una cabeza pequeña; sin embargo, en el caso de lechugas repollo cultivadas bajo protección y las lechugas romanas, se considera permisible la ausencia de cabeza.

Además de estos requisitos, la lechuga debe tener un peso mínimo para que pueda clasificar en las categorías, el cual es especificado a continuación:

Cuadro 4. Peso mínimo requerido de las lechugas

Tipos de lechuga	Peso mínimo requerido	
	Cultivo abierto	Cultivo bajo protección
Lechugas (se excluye el tipo "iceberg")	150 g	100 g
Lechugas Crespas (iceberg)	300 g	200 g

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. "Peso mínimo" [Cuadro]. Disponible: Frutas y hortalizas frescas. Lechuga. NTC 1064. p. 3.

Si alguna lechuga, no cumple con los requerimientos mínimos para entrar en las categorías anteriores, no es apta para la venta al público, ya que no está cumpliendo con los estándares de calidad.

2.1.4 Embalaje³¹. También conocido como empaquetado, es la operación de colocar el producto dentro de un envase, en conjunto con algunos materiales que sirven para la inmovilización del mismo, gracias a esto se puede proteger de daños mecánicos (impacto, compresión, heridas) y condiciones ambientales adversas (temperatura, humedad relativa); por otro lado, el empaque debe proveer información al comprador, tal como especie, variedad, peso, número de unidades, grado de selección o calidad, nombre del productor o empacador, país o zona de origen. Es frecuente también, incluir recetas, valor nutritivo, código de barras o algún otro tipo de información que permita la rastreabilidad³².

Para la lechuga, según la norma NTC 1064, los productos deben estar empacados de manera que se protejan adecuadamente, sin espacios ni aplastamientos.

³¹ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Preparación para el mercado [En línea]. s.l.:Fao.org. [Citado: 2018-04-12]. Disponible:<http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/y4893s05.htm#TopOfPage>INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Frutas y hortalizas frescas. Lechuga. NTC 1064. Bogotá D.C.: El instituto, 1994.

³² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Frutas y hortalizas frescas. Lechuga. NTC 1064. Bogotá D.C.: El instituto, 1994.

Los materiales usados en el empaque deben ser nuevos, limpios, ecológicamente aceptados y con una calidad que no cause daño interno o externo al producto. Se permite el uso de materiales, principalmente papel o sellos, que contengan las especificaciones comerciales, siempre y cuando la impresión o sello hayan sido elaborados con una tinta o pegante no tóxicos.

Los empaques deben estar libres de cualquier material extraño, como hojas sueltas y partes del tallo del mismo producto, esto prevalece con la higiene y calidad del producto durante el tiempo que dure empacado.

2.1.4.1 Presentación. Los productos se deben empacar en cajas plásticas o de cartón corrugado, según sea la naturaleza de la lechuga; esto lo estipula la guía técnica Colombia GTC 61³³, la presentación debe ser en hileras de máximo 3 capas. Cuando se empacan en dos capas, las lechugas se deben colocar cabeza contra cabeza, a menos que se separen o se protejan adecuadamente. Si están dispuestos en tres capas, se deben colocar dos de ellos cabeza contra cabeza.

La lechuga romana se puede empacar horizontalmente³⁴.

2.2 CADENA DE FRÍO EN PAPAYA

La papaya es una fruta tropical bastante delicada, ya que los golpes, rasguños u otra alteración que pueda sufrir, se hace notoria y altera las características de este producto. Aunque el control de su temperatura, no es tan drástico como otros productos perecederos, la papaya necesita una temperatura en su ambiente alrededor de 7 a 10°C. Por estos motivos es necesario realizar una correcta ejecución en la cadena de frío.

2.2.1 Generalidades de la papaya. Del mismo modo, ya fue mencionado en la sección de la lechuga, se presentan los conceptos de definición, las variedades existentes y las propiedades que la papaya puede proporcionar.

2.2.1.1 Definición. La papaya es una representante del grupo de las caricáceas, grupo de plantas con variedad de 4 géneros y más de 30 especies diferentes.

Esta fruta se caracteriza por su peculiar forma ovalada y posee unas dimensiones de tamaño variable, entre 10 cm hasta 25 cm de largo y entre 7cm hasta 15 cm de diámetro. La contextura de la fruta, es de pulpa carnosa y jugosa de color naranja y también amarillento en algunos frutos en su interior. Asimismo, se hallan en su interior semillas de forma esféricas de color negro; por el exterior la cáscara tiene

³³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Frutas y hortalizas frescas. Guía de empaque para el empaque de frutas y verduras. GTC 61. Bogotá D.C.: El instituto, 1998.

³⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Frutas y hortalizas frescas. Lechuga. NTC 1064. Bogotá D.C.: El instituto, 1994.

ranuras y tiene un color verde pálido y a veces anaranjado como se muestra en la siguiente imagen:

Imagen 15. Papaya



Fuente: Exotic Fruit Box. "Papaya"

[Figura]

Disponible:

<https://exoticfruitbox.com/es/frutas-exoticas/papaya/>

La taxonomía de la papaya se observa en la imagen 16³⁵:

- Raíz: De característica pivotante, la cual puede alcanzar 1m de profundidad.
- Tallo: Presenta un diámetro de 10 a 30 centímetros, con una altura entre 8 y 10 metros.
- Flor: La papaya presenta 3 tipos de flor:
 - Flor femenina: Sus frutos poseen una forma ovalada o redonda, con una cicatriz pentagonal en la parte superior.
 - Flor masculina: Por lo general no producen frutos, pero si lo hacen su forma es ovalada, con una pulpa de poca calidad.
 - Flor hermafrodita: Puede ser de 3 tipos: Hermafrodita Pentándrica, Hermafrodita Intermedia estas 2 clases presentan frutos de formas diversas, no uniformes con bajo costos comerciales, mientras que el tipo Hermafrodita Perfecta, presenta frutos de buena calidad.

³⁵ GARCÍA, Mario Alfonso. Guía técnica del cultivo de la papaya. El salvador: CENTA, Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal. 2010.

Imagen 16. Taxonomía papaya



Fuente: Plantimages."Carica papaya"
[Figura]. Disponible:
<http://papayacarica.blogspot.com/p/informacion-taxonomica.html>

2.2.1.2 Variedades. Existe una gran variedad de plantas de papaya, la diferencia se puede apreciar en los frutos, ya que estos presentan diferentes características en su fisionomía, es decir tamaño, forma y en algunos casos hasta sus propiedades. Dentro de esta variedad se encuentran las siguientes:

- Sunrise SOLO o Hawaiana: Este es el tipo de papaya más cultivado en el mundo, debido a que es uno de los tipos más sencillos de cultivar. Posee forma ovalada y su pulpa es de color naranja, con ciertos tonos amarillos, además su característica más relevante es que su cultivo es capaz de adaptarse a diferentes condiciones climáticas. (Imagen 17)

Imagen 17. Papaya Solo o Hawaiiana



Fuente: United States, Hawaii, Big island, papaya (*Carica papaya*) [Figura]. Disponible: www.alamy.com/stock-photo-united-states-hawaii-big-island-papaya-carica-papaya-47565626.html

- Cariflora: Esta es una clase de papaya, que posee cierta resistencia a afecciones por microorganismos e insectos que generan manchas sobre gran parte de la superficie que compone al fruto³⁶ sobre todo en regiones del Caribe. (Imagen 18)

Imagen 18. Papaya Cariflora



Fuente: Semillas del caribe papaya mulata (Papaya Cariflora) [Figura]. Disponible: <http://www.semillasdelcaribe.com.mx/producto/mulata/>

³⁶ ECHO Community. Papaya [En línea]. s.l: echocommunity.org. [Citado: 2018-07-07]. Disponible: <https://www.echocommunity.org/es/resources/1260d329-2779-4e01-a6f8-9fa9342d089e>

- Catira 1: Se trata del primer tipo de papaya modificado en Colombia, en Piedemonte Llanero, la cual posee grandes características de resistencia a virus mancha anular. En relación a sus propiedades organolépticas, posee un sabor muy dulce, su peso no excede un kilogramo y su forma es alargada³⁷. (Imagen 19)

Imagen 19. Papaya Catira



Fuente: Semillas de árbol de papaya (papaya Catira) [Figura].
 Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/mini-fruit-potted-bonsai-20-Papaya-Tree-Seeds-perfect-fruit-for-your-family-DIY-home-garden/32263300477.html>

- Zapote: Su cultivo y siembra se lleva a cabo en menores proporciones que otros tipos de papaya en Colombia; este tipo de papaya recibe este nombre dado a su color rosado intenso³⁸. (Imagen 20)

³⁷ EL TIEMPO. La papaya que los colombianos quieren [En línea]. Colombia, Bogotá: eltiempo.com. [Citado: 2018-07-07]. Disponible: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-704586>

³⁸ UNIVERSIDAD NACIONAL. Mejoramiento genético de la papaya [En línea]. Colombia: unal.edu.co. [Citado: 2018-07-07]. Disponible: http://bdigital.unal.edu.co/55/4/28_-_3_Capi_3.pdf

Imagen 20. Papaya Zapote



Fuente: Semillas del caribe papaya passion red (Papaya Zapote) [Figura]. Disponible: <http://www.semillasdelcaribe.com.mx/producto/papaya-passion-red/>

- Maradol: Papaya modificada en Cuba, se trata de una papaya que posee una mayor larga vida útil en relación a las mencionadas anteriormente, dado a que su piel es lisa pero muy gruesa haciéndola altamente resistente³⁹. (Imagen 21)

³⁹ SCRIB. Papaya Maradol [En línea]. s.l.: scrib.com. [Citado:2018-07-07]. Disponible: <https://es.scribd.com/doc/2952453/PAPAYA-MARADOL>.

Imagen 21. Papaya Maradol



Fuente: Semillas del caribe papaya maradol roja (Papaya Maradol) [Figura]. Disponible: <http://www.semillasdelcaribe.com.mx/producto/maradol-roja-2/>

- Melona: Es uno de los tipos de papaya, más sembrados y cultivados en Colombia, posee difícil manipulación y transporte, debido a que su tamaño es excesivo y su forma es poco uniforme⁴⁰. (Imagen 22)

Imagen 22. Papaya Melona



Fuente: Semillas del caribe papaya intenza (Papaya Melona) [Figura]. Disponible: <http://www.semillasdelcaribe.com.mx/producto/intenza/>

⁴⁰ EL TIEMPO. La papaya que los colombianos quieren [En línea]. Colombia, Bogotá: eltiempo.com. [Citado: 2018-07-07]. Disponible: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-704586>

2.2.1.3 Propiedades. A continuación, se observa el cuadro donde se relacionan las propiedades de la papaya.

Cuadro 5. Propiedades que contiene una papaya en diferentes países de Latinoamérica

	Papaya en Colombia	Papaya en Bolivia	Papaya en Ecuador	Papaya en México
Humedad %	90.00	85.86	87.93	88.80
Proteínas %	0.50	0.48	0.46	0.60
Grasa%	0.10	0.10	0.10	0.10
Cenizas %	0.50	0.74	0.52	0.60
Fibra Diet. %				
Carbohidratos %	8.90	12.82	10.99	9.90
Potasio (K) mg				257.00
Calcio (Ca) mg	25.00	24.00	22.00	24.00
Fósforo (P)mg	12.00	25.00	15.00	5.00
Hierro (Fe) mg	0.40	0.60	0.40	0.10
Vitamina A mg	700.0	86.00	95.00	21.00
B caroteno mg	595.0			
Tiamina mg	0.03	0.03	0.03	0.03
Riboflavina mg	0.02	0.04	0.04	0.03
Niacina mg	0.30	0.30	0.34	0.30
Vitamina C mg	75.00	56.00	44.00	62.00

Fuente: VELÁZQUES ARIAS, Ciro J y TOLEDO HEVIA, Julio. "Composición de la fruta de papaya (Contenido en 100 gramos de porción comestible)", p.45, Cuadro 1.

Como se observa en el cuadro anterior (Cuadro 5) se indica la composición de la papaya a partir de datos numéricos, es notable que la papaya colombiana en aspectos como la Vitamina A y Beta-Caroteno, es superior a la de otros países de Latinoamérica evaluados; además, en una mínima proporción es superior a las demás en el factor de vitamina C. La vitamina A, es indispensable para aspectos de formación de tejidos blandos y óseos⁴¹, la Vitamina C, es un agente antioxidante

⁴¹ MEDLINE PLUS. Vitamina A [En línea]. Estados Unidos: medlineplus.gov. [Citado: 2018-07-07]. Disponible: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002400.htm>

importante para aspectos de la piel, huesos y tejido conectivo⁴². Estas características, son las más idóneas para la dieta alimentaria de una persona.

La papaya, es una fruta tropical que cuenta con una demanda alta, apetecida a nivel mundial gracias a todas las propiedades que brinda para la buena salud, entre las que destacan, ser antioxidante y buena fuente de vitaminas, también contiene minerales, fibra además de contribuir con la formación de colágeno y la absorción de proteínas.

2.2.2 Cultivo. Todos los cultivos de papaya, sin importar de que tipo sean, necesitan características especiales en el suelo, para que puedan llegar a dar fruto y por este motivo se tienen en cuenta las condiciones agroclimatológicas para los cultivos en la papaya.

2.2.2.1 Condiciones Agroclimatológicas. Por tratarse de una fruta tropical, se requieren determinadas condiciones para que su proceso de cultivo sea óptimo. Las condiciones climáticas más favorables para los cultivos, deben ser una temperatura superior a los 20°C, con presencia de lluvias distribuidas durante el período anual y vientos suaves. Para esta temperatura, los cultivos pueden estar entre los 0 y 1600 metros sobre el nivel del mar. La humedad relativa del ambiente, es un factor muy importante, de ello depende, la buena salud de la planta para la producción de buenos frutos, ya que si la humedad relativa es baja, la papaya puede perder las condiciones apropiadas. Del mismo modo, si la humedad relativa es alta, se hace propensa tanto a la planta, como a los frutos, adquirir enfermedades que son causados por hongos. Las condiciones de humedad relativa ideales para los cultivos se presentan en un valor de 60% y 85%.

Los cultivos de papaya, deben tener ciertas características con respecto a los suelos de plantación para una cosecha productiva. El suelo debe ser permeable y poseer buen drenaje, pues en caso de retener la humedad, se genera aumento de la misma, volviendo los frutos propensos a enfermedades. Es necesario que el suelo, sea contenedor de buen humus en un 4% y 5% y de igual manera un pH de 6 a 7.

La planeación de los cultivos, tiene un orden en donde la plantación se realiza a 2.5m de distancia entre surcos y a 3m entre las plantas. Esto es para agilizar y facilitar a los agricultores la recogida de los frutos y hacer control a las plantas⁴³, como se observa en la siguiente imagen:

⁴² MEDLINE PLUS. Vitamina C [En línea]. Estados Unidos: medlineplus.gov. [Citado: 2018-07-07]. Disponible: <https://medlineplus.gov/spanish/vitaminc.html>

⁴³ PAÉZ REDONDO, Alberto Rafael. Seminarios participativos “Agronomía y manejo sanitario de la producción y poscosecha en papaya”. Colombia: Valledupar: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Pronatta.2013.

Imagen 23. Plantación de papaya



Fuente: Cultivo de Papaya [Figura]. Disponible: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/164264-Tecnova-trabaja-en-un-proyecto-de-cultivo-de-papaya-bajo-invernadero.html>

2.2.3 Producción. Los cultivos de esta fruta son originarios de América del centro, específicamente de México y del noroccidente de América del sur, es decir, que son de climas tropicales de los valles húmedos de los Andes⁴⁴. Como la papaya ha tenido una gran acogida y una alta demanda a nivel mundial, ya no solo es una fruta cultivada y procesada en centro América, sino también en varias partes del mundo, según la FAO para el año 2017⁴⁵. Entre los países con mayor producción de la papaya sobre el resto del mundo son: India, Brasil, Indonesia, Nigeria, México, Etiopía, Colombia, Tailandia y Guatemala, los cuales representaron su productividad de papaya con el 15% de 92.2 millones de toneladas de producción total de frutas tropicales, siendo entonces 13.83 millones de toneladas de producción de la fruta a nivel mundial. En Colombia los departamentos que presentan mayor resultado, en cuanto a su productividad son Córdoba, Valle del Cauca, Meta, Nariño, Cundinamarca, Quindío, Atlántico y Cesar, como se puede observar en la siguiente tabla, en la cual se muestran los porcentajes en relación a las toneladas por departamento en el 2014, tomando como base que en el 2014, la producción de papaya se vio reflejada por 514,935 toneladas⁴⁶:

⁴⁴ ARANGO WIESNER, Laura Victoria, et al. El cultivo de la papaya en los llanos orientales de Colombia. Colombia: Corpoica. Corporación colombiana de investigación agropecuaria regional 8, s.f.

⁴⁵ ALTENDORF, Sabine. Perspectivas mundiales de las principales frutas tropicales. [En línea].s.l.: fao.org. [Citado:2018-08-08]. Disponible: http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Tropical_Fruits_Spanish2017.pdf

⁴⁶ DANE. Censo nacional agropecuario decima entrega de resultados-2014 [En línea]. Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística. [Citado: 2018-07-05]. Disponible:

Tabla 3. Porcentaje producción de papaya.

Departamento	% de Producción
Valle del Cauca	28.20
Meta	7.50
Tolima	6.70
Cundinamarca	5.50
Nariño	5.30
Vichada	4.90
Cauca	4.80
Santander	4.50
Córdoba	4.40
Magdalena	3.20
Cesar	2.80
Quindío	2.50
Bolívar	2.40
Risaralda	2.10
Norte de Santander	1.80
Casanare	1.70
Antioquia	1.70
Sucre	1.60
Atlántico	1.60
Guajira	1.40
Choco	1.10
Guainía	1.10
Caldas	0.90
Huila	0.80
Amazonas	0.50
Arauca	0.50
Putumayo	0.30
Caquetá	0.20
Boyacá	0.20

Fuente: Participación (%) de producción (Ton.) De papaya (Fruta fresca), área cosechada (ha.) de papaya según departamento y total rendimiento nacional. [Tabla].

Disponible:

<https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/entrega-definitiva/Boletin-10-produccion/10-Boletin.pdf>

2.2.4 Recolección y clasificación. En esta etapa, inicia la importancia de la pos-cosecha de los productos, ya que es vital el manejo dado a éstos durante el tiempo de recolección para su almacenamiento y posteriormente, la clasificación del producto, dependiendo los estándares de calidad y exigencias para comercializarlos.

2.2.4.1 Recolección. El proceso se efectúa, cuando un operario o trabajador, con la ayuda de una cuchilla curva, se acerca hasta los árboles y va cortando el péndulo de la fruta para luego acomodarla en un recipiente acolchonado y posteriormente trasladarla hasta el punto de selección y empaque. Este proceso, es de gran cuidado ya que cualquier golpe, corte o magulladura es crucial por la débil cascara de la papaya, hecho que puede causar, una pérdida visible de la calidad, acelerando la maduración en la fruta. Lo ideal para realizar este proceso, es que se haga entre dos grupos de personas o en su defecto dos personas, siendo un grupo o persona, los encargados de retirar la fruta del árbol y el otro grupo o persona, quien se percate de cuales estén sanas o con alguna enfermedad y siendo el caso de hallar algún fruto que presenta hongos y picaduras aislarlo inmediatamente, para evitar la propagación del virus. Algunos de estos casos en los cuales se presenta una papaya no sana se puede evidenciar en la Imagen 24. Los encargados de retirar los frutos del árbol en buen estado serán los encargados de llevar toda la papaya recogida hasta el punto de selección o empaque, para no postergar tiempo en el proceso, así mismo es una manera para evitar pérdida de la fruta y que no sea incidente de los rayos solares.

Imagen 24. Ejemplos papaya en mal estado



Fuente: DANE. "El cultivo de la papaya y sus principales enfermedades en época de lluvias" [Figura]. Disponible: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_may_2016.pdf

2.2.4.2 Clasificación. En la selección o clasificación, cuando se tiene toda la papaya del cultivo ya almacenada en un punto, se protege de las altas temperaturas y del ambiente perjudicial, dejando que pierda el calor del cultivo, tal como se observa en la Imagen 25. En este punto, otros operarios se preparan para realizar una clasificación, iniciando primero con un riguroso lavado, eliminando así todos los residuos de los insumos e insecticidas aplicados durante la cosecha para evitar las enfermedades o ataques de insectos durante el cultivo. Ver Imagen 26.

Imagen 25. Cosecha de la papaya



Fuente: Imagen capturada en una instalación donde producen papaya en Granada Meta. Imagen tomada por los autores.

Imagen 26. Lavado de la papaya



Fuente: Imagen capturada en una instalación donde producen papaya en Granada Meta. Imagen tomada por los autores.

Según la norma CODEX STAN 183-1993, después de haber realizado el lavado de la fruta, se procede a clasificar por tamaño y peso. CODEX ALIMENTARIUS (Normas Internacionales de los Alimentos), menciona que existen tres categorías de calidad las cuales son:⁴⁷

- Calidad extra, basándose específicamente en los productos que presentan mejor calidad en tamaño, peso y color. Esta categoría es especialmente para la exportación.
- Categoría I, en este apartado de calidad, la papaya se observa buena presencia, aunque dentro de la categoría, entra con defectos mínimos en su contextura física, esta categoría, va dirigida a todo el comercio con exigencias altas, debido también a su buen tamaño, peso y color.
- Categoría II, es la categoría más baja de calidad ya que se encuentran las papayas que aun en su estado pueden ser consumidas y comercializadas, ya que presentan defectos de forma, tamaño, peso, color, daños en su contextura física ocasionada durante el cultivo o después de él.

Culminando esta etapa se hace la aplicación del madurante Ethrel 48 SL⁴⁸ de Bayer, producto cuya acción es acelerar la pérdida de etileno en la fruta, ejerciendo la pronta madurez del producto, asegurando así, que durante el transporte desde los lugares de cultivo hasta la central de abastos, la fruta llegue en una maduración lista para ser comercializada o consumida. Este paso, es desarrollado por la mayoría de los productores y cosechadores de la papaya.

2.2.5 Embalaje. El empaque, es el sistema para asegurar un estado de calidad en su transporte y comercialización. Según el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, entidad reguladora de normas para el país, los alimentos pueden ser transportados en diferentes elementos tales que sean rígidos, como cajas de cartón, guacales de madera o canastas plásticas que tengan una capacidad máxima de 20kg.

La norma NTC-1270 indica que el empaque debe cumplir con⁴⁹:

- Materiales de superficies pulidas y deben permitir que el producto pueda recibir aire, sin ocasionar daño al producto.
- Las dimensiones deben ser tales que faciliten el manejo y el transporte.

⁴⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Industria alimentaria. Papaya. NTC 1270. Bogotá D.C.: El instituto, 1979.

⁴⁸ BAYER. Ethrel 48 SL [En línea]. Chile: cropscience.bayer.cl. [Citado:2018-02-05]. Disponible: <https://www.cropscience.bayer.cl/soluciones/fichaproducto.asp?id=129>

⁴⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Industria alimentaria. Papaya. NTC 1270. Bogotá D.C.: El instituto, 1979.

- No se permiten empaques flexibles, que hayan sido utilizados para productos de alimentos de animales, cemento, fertilizantes, insumos u productos similares que puedan alterar la higiene o al producto.

Los empaques empleados para transportar la papaya usualmente son canastillas plásticas, las cuales son de material rígido con superficies pulidas y permiten la aireación del producto.

2.2.5.1 Presentación. El embalaje se realiza con un material de amortiguación en el piso de la canastilla para proteger y después cubrir las frutas con papel periódico o cubrirlas con mallas de espuma de polietileno unitariamente por fruto, después acomodar la papaya con el empaque dentro de una canastilla, canasta o guaca, hasta tener alrededor de 5 a 8 frutos por canasta.

Imagen 27. Embalaje de la papaya con papel periódico



Fuente: Imagen capturada en un local comercial de abastos Bogotá D.C. Imagen tomada por los autores.

Imagen 28. Embalaje de la papaya con espuma de polietileno



Fuente: Imagen capturada en un supermercado de gran superficie en Bogotá D.C. Imagen tomada por los autores.

2.3 TRANSPORTE

Las frutas y verduras, en este caso papaya y lechuga, al hacer parte de los productos perecederos, necesitan un control crítico de la temperatura durante su traslado, al ser cultivados en el campo, el tiempo de movilización se hace más largo y por ello es necesario transportarlos en vehículos con sistemas de refrigeración.

La carga se debe acomodar, de manera que permita la circulación de aire entre las canastas apiladas en columnas o en forma de bloque, siempre encima de estibas plásticas, las cuales deben tener una altura que permita el flujo constante del aire extrayendo así, todo el calor procedente de los productos y pueda ser expulsado al ambiente exterior mediante el sistema, asegurando así la buena conservación de los productos. Toda la carga debe ser asegurada, para minimizar los daños por lesiones durante el transporte.

Los vehículos de transporte deben estar bien aislados, asegurando que el material del habitáculo sea capaz de aislar la transferencia de calor del exterior y mantener un ambiente refrigerado para los productos, debe controlar las fugas y tener puertas herméticas⁵⁰.

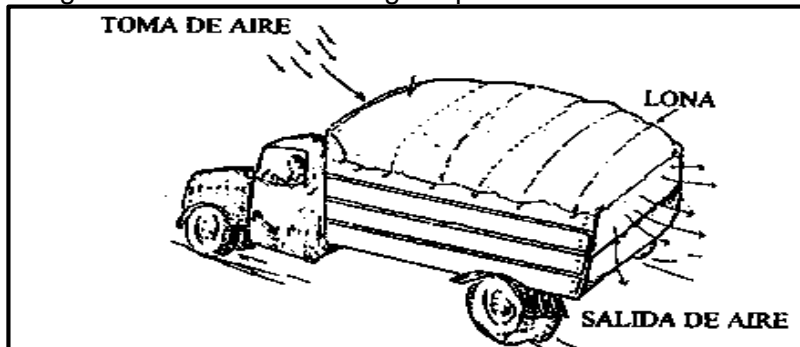
Para la movilización de estos productos se encuentran distintos medios de transporte:

⁵⁰ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Transportación de las cosechas [En línea]. s.l.:Fao.org. [Citado: 2018-09-08]. Disponible: [http://www.fao.org/Wairdocs/X5403S/x5403s0b.htm#cap%C3%ADtulo 8: transportaci%C3%B3n de las cosechas](http://www.fao.org/Wairdocs/X5403S/x5403s0b.htm#cap%C3%ADtulo%208:transportaci%C3%B3nde%20las%20cosechas)

2.3.1 Transporte terrestre. En la actualidad existen dos formas de transportar las frutas y las verduras, la primera es con vehículos con carga expuesta al ambiente, la segunda se realiza con vehículos refrigerados, la diferencia entre ellos es que en los vehículos refrigerados, se pueden mantener las condiciones óptimas del ambiente para el producto que se desee transportar.

2.3.1.1 Vehículos con cargas expuestas al ambiente. Estos vehículos, son los que permiten mantener fresco el habitáculo donde se almacenan los productos, mediante el paso de aire del ambiente por la carga. El método solo ayuda a que el producto se mantenga fresco, cuando el vehículo se encuentra en movimiento, siendo ésta la única manera, que el aire fluya entre los producto; si en algún momento el vehículo llega a tener una avería o deja de estar en movimiento la temperatura del habitáculo va a comenzar a crecer y este incremento calórico, puede ser causante de un daño en los productos que se movilizan.

Imagen 29. Vehículo con carga expuesta al medio ambiente



Fuente: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). "Vehículos abiertos" [Figura]. Disponible: [http://www.fao.org/Wairdocs/X5403S/x5403s0b.htm#cap%C3%ADtulo 8: transportaci%C3%B3n de las cosechas](http://www.fao.org/Wairdocs/X5403S/x5403s0b.htm#cap%C3%ADtulo%208%3Atransportaci%C3%B3n%20de%20las%20cosechas)

2.3.1.2 Vehículos con equipo de refrigeración. El método de movilización de productos con vehículos refrigerados, es el aplicado en el proceso de cadena de frío, debido a que puede controlar la temperatura del producto, mientras se traslada de un lugar a otro.

Los contenedores refrigerados para productos perecederos, tienen un equipo unitario e independiente del vehículo, que se encuentra situado en el frente del contenedor, en algunos casos lo ocupa por completo. Este equipo tiene un sistema de refrigeración por compresión de vapor y utiliza una fuente externa de electricidad para los motores del compresor y del ventilador (evaporador)⁵¹.

⁵¹ UMAÑA CERROS, Eduardo. Terminología, Definiciones y Explicaciones. En: Conservación de alimentos por frío. El Salvador: Fiagro y Fusades Proinnova, s.f. p.127.

Imagen 30. Vehículo con sistema de refrigeración.



Fuente: TAURO. "Etapas de cadena de frío" [Figura]. Disponible en: <https://www.tauro.mx/equipos-control-temperatura-transporte-carga/>

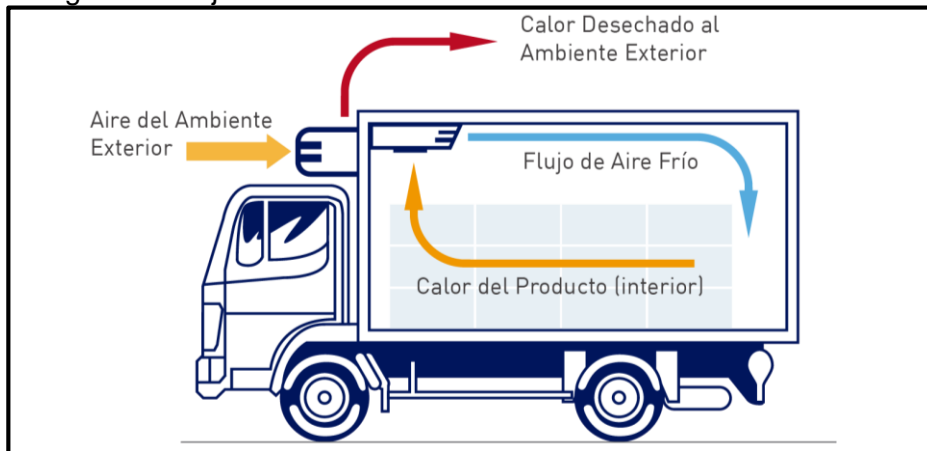
Los equipos de refrigeración para la movilización de papaya y lechuga deben manejar un rango variado de temperaturas, que pueden ir desde los 0°C hasta una temperatura aproximada de 15°C.

La resolución No. 002505 ⁵²del 6 de septiembre de 2004 del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos INVIMA en Colombia y la norma técnica colombiana NTC 3542 ⁵³,son las encargadas de regir los requisitos de los vehículos para el transporte de perecederos y dar los parámetros para el transporte de frutas y verduras. La norma técnica describe la disposición adecuada de las canastillas que llevan el producto, a fin de que haya un buen flujo de aire dentro del contenedor extrayendo de forma correcta el calor acumulado. Así mismo, la resolución brinda los requisitos que deben cumplir todos los vehículos que transportan productos que necesiten de refrigeración.

⁵² MINISTERIO DE TRANSPORTE. Resolución No. 002505 de 2004 [En línea]. Colombia: invima.gov.co. [Citado: 2018-09-10]. Disponible: <https://www.invima.gov.co/resoluciones-en-alimentos/resolucion-no-002505-de-2004-pdf/detail.html>

⁵³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Transporte. Frutas Y Verduras Frescas. Ordenamiento De Embalajes Paralelepípedos En Vehículos De Transporte Terrestre. NTC 3542. Bogotá D.C.: El instituto, 1993.

Imagen 31. Flujo del aire dentro del camión.



Fuente: Z1. "Flujos de aire" [Figura]. Disponible en: <http://www.z1.com.pe/refrigeracion-para-camiones-peru/recomendaciones-para-camiones-refrigerados/>

2.3.2 Transporte aéreo. Es utilizado para la movilización de productos a larga distancia, que por transporte terrestre podría tomar días o meses. También se emplea esta modalidad de movilización, cuando se exportan o importan frutas y verduras, ya que el tiempo que toma llevar un producto, de un país a otro se reduce a horas, disminuyendo así, las pérdidas de producto.

Los aviones manejan un sistema de control de temperatura, ubicado en los compartimientos de carga, el cual inicia en los 0°C y va hasta la temperatura ambiente; cuando se cargan productos perecederos como la papaya o la lechuga, estas deben ir con un envase debidamente pre-enfriado o contenedores de hielo seco, a fin de que su temperatura sea estable durante el viaje, este método es muy deficiente, ya que al presentarse una contingencia, bien sea mecánica o de tiempo, los productos pueden llegar a sufrir variantes en su calidad⁵⁴.

2.4 COMERCIALIZACIÓN

La comercialización es uno de los pasos finales de la cadena de frío, además es de preponderante importancia, debido a que en este eslabón, las frutas y verduras permanecen la mayor parte de su tiempo en conserva esperando al consumidor final.

Gran cantidad de consumidores, compran los productos en las plazas de mercado, tiendas de barrio y supermercados, sin embargo, es de acotar, que los referidos establecimientos comerciales, no cumplen con las reglas sanitarias para mantener el producto en buenas condiciones.

⁵⁴ UMAÑA CERROS, Eduardo. Terminología, Definiciones y Explicaciones. En: Conservación de alimentos por frío. El Salvador: Fiagro y Fusades Proinnova, s.f.

Para que los productos objeto de este proyecto, sean comercializados y cumplan con las normas, se debe tener una cadena de frío constante y aplicada con buenas prácticas, esto requiere, contar con equipos que mantengan las temperaturas requeridas por las frutas y verduras.

Imagen 32. Comercialización



Fuente: Vitrina refrigerada. “Comercialización”
[Figura]. Disponible en:
http://img.archiexpo.es/images_ae/photo-g/10358-1525459.jpg

La resolución 2155 de 2012⁵⁵, establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las hortalizas que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en Colombia. Del mismo modo, para las frutas y sus derivados, la resolución 2939 de 2013⁵⁶ establece el reglamento sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir estos productos en todo su proceso de producción y comercialización en el territorio nacional. A su vez, la guía técnica colombiana GTC 253⁵⁷, fija las pautas para la adecuación y comercialización de frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas, brindando las directrices sobre qué características deben ostentar, los establecimientos, materiales para empaquetado, el transporte y la conserva, que permitan mantener la calidad de los productos, durante el tiempo que permanezcan a la venta.

⁵⁵COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 2155 (2, agosto 2012) Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las hortalizas que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional. Colombia, Bogotá D.C. p. 3

⁵⁶COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 3929 (2, octubre 2013) Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas y bebidas con adición de jugo o pulpa de fruta o concentrados de fruta, clarificados o no, o la mezcla de estos que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional. Colombia, Bogotá D.C. p. 2

⁵⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Guía para la adecuación y comercialización de frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas, dando las pautas de cómo deben ser los establecimientos, los materiales para empaquetado necesarios para el transporte y la conserva. GTC 253. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 36p. 2015.

3. DIAGNÓSTICO DE EQUIPOS Y AMBIENTES

Este capítulo está compuesto por tres temas que dan cumplimiento a los objetivos, siendo la parte de más interés del proyecto ya que se muestran los datos obtenidos durante las mediciones realizadas en la evaluación de los equipos, los cálculos realizados para verificar las condiciones de operación y culminando con una comparación analítica sobre lo observado durante el desarrollo de la investigación de la cadena de frío en frutas y verduras.

3.1 EVALUACIÓN DE EQUIPOS Y AMBIENTES

En la actualidad se utilizan gran variedad de equipos y procesos que se involucran en la cadena de frío de frutas y verduras; para realizar una evaluación es necesario hacer un análisis de cada sistema y equipo que se emplea en la cadena de frío.

Cada equipo tiene una función y características peculiares, las cuales se mencionan en las siguientes secciones, acompañadas de los datos recopilados en las mediciones de la evaluación. Los primeros equipos que se pueden observar son los sistemas de refrigeración en vehículos de transporte terrestre, éstos son utilizados para la movilización de los productos desde las grandes plazas de mercado del país hacia tiendas de barrio, supermercados o almacenes de cadena de grandes superficies. Posteriormente, en los lugares de comercialización los productos son almacenados y exhibidos para la venta; cuando son almacenados se usan las cámaras de refrigeración y cuando se exhiben para la venta se utilizan equipos como refrigeradores de autoservicio o refrigeradores verticales con puertas.

3.2 PARÁMETROS Y CONDICIONES DE DISEÑO Y OPERACIONES DE EQUIPO

En relación con el diagnóstico realizado, se procede con los cálculos de acuerdo con la información y datos medidos para cada proceso y su equipo correspondiente, los cuales son partícipes de la cadena de frío en los productos investigados.

Los cálculos están enfocados a la carga térmica total que el equipo o sistema de refrigeración deba contrarrestar y así poder cumplir con su propósito de un control de la temperatura. También se añade la demostración gráfica del comportamiento del refrigerante cuando el sistema está operando, observando así la eficiencia energética que posee cada equipo. De esta manera se identifica en qué condiciones está operando el equipo.

Las condiciones a las que trabaja el sistema están indicadas por las capacidades térmicas o potencias térmicas de los diferentes componentes que integran al sistema de refrigeración. Estas condiciones se calcularon mediante las siguientes ecuaciones.

Las entalpías que se relacionan en las siguientes ecuaciones, están inmersas en los gráficos de mollier realizados en la sección de desarrollo del diagnóstico.

Ecuación 1. Flujo másico⁵⁸.

$$\dot{m} = \frac{Q_T}{(h_8 - h_7)} \quad [\text{kg/s}]$$

Donde

Q_T = Ganancia de calor promedio en un periodo [Kw]

h_8 = Entalpia de salida del evaporador [kJ/kg]

h_7 = Entalpia de entrada del evaporador [kJ/kg]

Ecuación 2. Potencia térmica del compresor⁵⁹ (P_{comp})

$$P_{\text{comp}} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad [\text{kW}]$$

Donde:

\dot{m} = Flujo másico [kg/s]

h_1 = Entalpia de entrada al sistema [kJ/kg]

h_2 = Entalpia de salida al sistema [kJ/kg]

Ecuación 3. Potencia térmica del condensador⁶⁰ (P_{cond})

$$P_{\text{cond}} = \dot{m}(h_3 - h_4) \quad [\text{kW}]$$

Donde:

\dot{m} = Flujo másico [kg/s]

h_3 = Entalpia de entrada al sistema [kJ/kg]

h_4 = Entalpia de salida al sistema [kJ/kg]

Ecuación 4. Potencia térmica del mecanismo de expansión⁶¹ (P_{exp})

$$P_{\text{exp}} = \dot{m}(h_6 - h_5) \approx 0 \quad [\text{kW}]$$

Donde:

\dot{m} = Flujo másico [kg/s]

h_5 = Entalpia de entrada al sistema [kJ/kg]

h_6 = Entalpia de salida al sistema [kJ/kg]

Ecuación 5. Potencia térmica del evaporador⁶². (P_{evap})

$$P_{\text{evap}} = \dot{m}(h_8 - h_7) \quad [\text{kW}]$$

⁵⁸ MORAN, Michael y SHAPIRO, Howard. Chapter 10, Refrigeration and Heat Pump Systems, En: Fundamentals of engineering thermodynamics. England: John Wiley & Sons, Inc. p.458

⁵⁹ GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. Refrigeración Industrial: Montaje Y Mantenimiento De Instalaciones Frigoríficas. Barcelona: Cano Pina, 2012. 9788415884088. p. 52.

⁶⁰ Ibid., p. 53.

⁶¹ Ibid., p. 50.

⁶² Ibid., p. 51.

Donde:

\dot{m} = Flujo másico	[kg/s]
h_7 = Entalpia de entrada al sistema	[kJ/kg]
h_8 = Entalpia de salida al sistema	[kJ/kg]

También es necesario saber el comportamiento y eficiencia energética del refrigerante que se calcula con las siguientes ecuaciones.

- Eficiencia energética. Corresponde a los parámetros específicos de COP y EER que se relacionan con el rendimiento certificados por los fabricantes a carga máxima, el rendimiento es instantáneo entonces la medición se realiza al 100% para efectos de los cálculos. 100%⁶³
- El efecto refrigerante (E.R). Se define como la cantidad de calor que el refrigerante es capaz de absorber durante la evaporación, para retirar y transportar esa energía hacia la entrada del compresor continuando el ciclo de refrigeración⁶⁴.

Ecuación 6. Efecto refrigerante⁶⁵ (ER)

$$ER = h_8 - h_7 \quad [kJ/kg]$$

- Coeficiente de rendimiento (COP). Por su significado en inglés (Coefficient of Performance), el coeficiente de energía en modo de calefacción, es la relación que existe entre el cociente del calor emitido por el condensador y la potencia eléctrica del compresor⁶⁶.

Ecuación 7. Coeficiente de rendimiento⁶⁷ (COP)

$$COP = \frac{P_{cond}}{P_{comp}} = \frac{h_3 - h_4}{h_2 - h_1} \quad -$$

- Factor de eficiencia energética (EER). El modo de refrigeración que por las siglas en inglés (Energy efficient ratio), es la relación entre el cociente del calor

⁶³ BAO RIOS, Carmela. Desarrollo De Una Herramienta De Cálculo Del Rendimiento Estacional De Bombas De Calor Según La Norma UNE-EN 14825. Trabajo En Fin De Master Universitario En Ingeniería Industrial. Barcelona, España: 2017. p. 26.

⁶⁴ GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. Refrigeración Industrial. Montaje y Mantenimiento de instalaciones frigoríficas. España: Cano Pina. Op. Cit. p. 52.

⁶⁵ Ibid., p. 52.

⁶⁶ BAO RIOS, Carmela. Desarrollo de una herramienta de cálculo del rendimiento estacional de bombas de calor según la norma UNE-EN 14825. Trabajo de Grado. Magíster en ingeniería industrial. Barcelona: Escuela técnica superior de ingeniería industrial. Facultad de ingenierías, 2017. Op. Cit. p. 23.

⁶⁷ Ibid., p. 23.

absorbido por el evaporador y la energía que le imprime el compresor al refrigerante⁶⁸.

Ecuación 8. Factor de eficiencia energética⁶⁹ (EER)

$$EER = \frac{E.R}{P_{\text{comp}}} = \frac{h_8 - h_7}{h_2 - h_1} \quad -$$

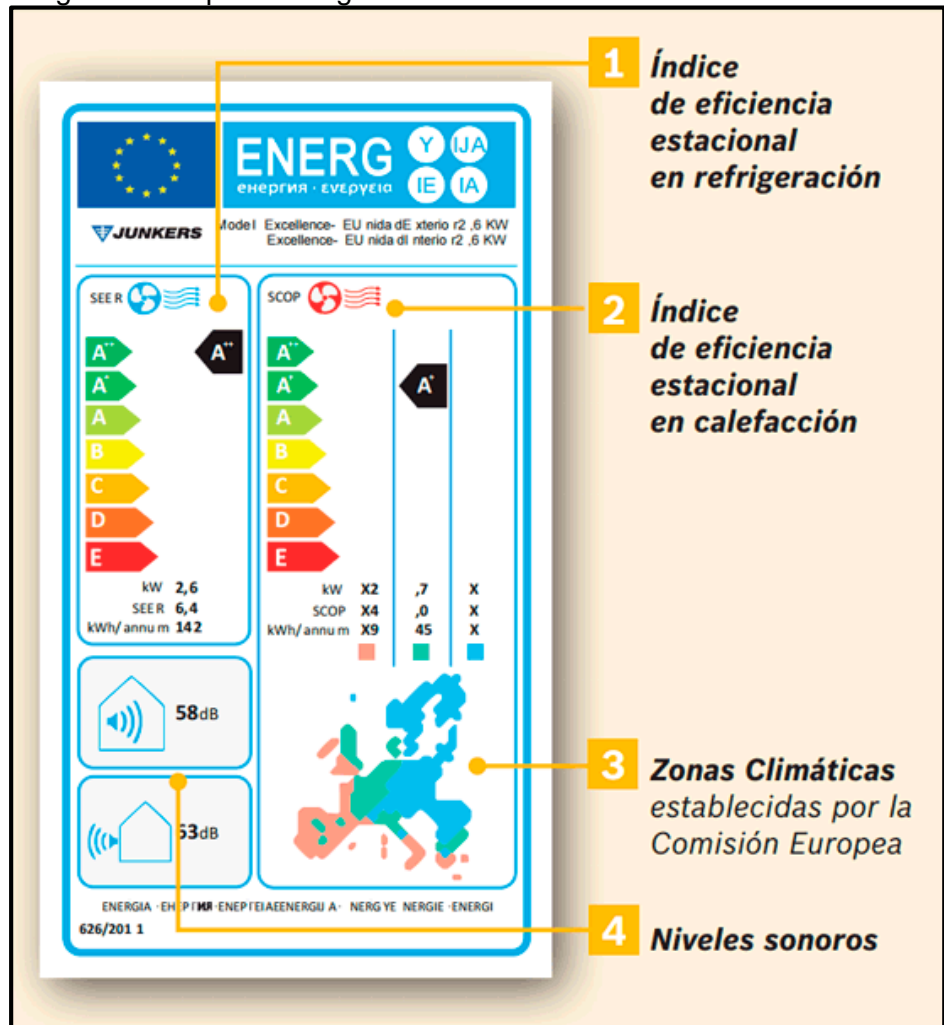
- Eficiencia energética estacional. En la actualidad, la industria de refrigeración ha cambiado el modo de medir la eficiencia energética de los sistemas de refrigeración. En Europa el etiquetado energético ha incorporado los nuevos parámetros para comparar el rendimiento de los equipos, en la imagen 33 representa. El sistema inverter permite tener variaciones que el equipo funcione a diferentes condiciones de carga a los requerimientos del ambiente que se quiera climatizar. De esta manera existe mayor exactitud en la medición de la eficiencia energética estacionaria SCOP y SEER⁷⁰.

⁶⁸ GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. Refrigeración Industrial. Montaje y Mantenimiento de instalaciones frigoríficas. España: Cano Pina. Op. Cit. p. 53.

⁶⁹ Ibid., p. 53.

⁷⁰ BAO RIOS, Carmela. Op. Cit. p. 26.

Imagen 33. Etiqueta energética



Fuente: SEER Y SCOP: ¿QUÉ MIDEN LOS NUEVOS ESTÁNDARES? (Etiqueta energética). [Imagen]. Disponible en: <http://blog.junkers.es/seer-y-scop-que-miden-los-nuevos-estandares/>

- Coeficiente de rendimiento estacional (SCOP). Se define como el rendimiento estacional que se presenta como la relación del consumo de la demanda de calefacción y consumo eléctrico anual, en modo calefacción. Cuenta con consumos adicionales de manera anual⁷¹.

⁷¹ BAO RIOS, Carmela, Op. Cit. p. 25.

Ecuación 9. Coeficiente de rendimiento estacional⁷² (SCOP)

$$SCOP = \frac{P_{cond}}{P_{comp} + P'} \quad -$$

Donde:

P' = Energías consumidas adicionales anuales [kW]

- Factor de eficiencia energética estacional (SEER). Al igual que SCOP, este factor representa la energía consumida anualmente, pero en modo de refrigeración. Corresponde al cociente entre, relación ente “la energía calorífica retirada del refrigerante y la energía emitida por el compresor añadiendo consumos energéticos en un periodo de tiempo⁷³.

Ecuación 10. Factor de eficiencia energética estacional⁷⁴ (SEER)

$$SEER = \frac{ER}{P_{comp} + P'} \quad -$$

Las cargas térmicas estarán divididas en la cantidad de calor generada por⁷⁵:

- Carga de transmisión: Que se define como la cantidad de calor sensible transferido entre las superficies que componen el espacio, equipo o elemento de refrigeración.

Ecuación 11. Carga térmica de transmisión⁷⁶.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad [kW]$$

Donde

U = Coeficiente universal de transferencia de calor [W/m²°C]

A = Superficie de la sección en contacto con el ambiente [m²]

ΔT = Diferencia entre la temperatura exterior y la temperatura del cuarto refrigerado [°C]

⁷² GONZÁLEZ, Carlos. Diseño Y Cálculo De Instalaciones De Climatización. España: Cano Pina S.L. 1ra Edición. Op. cit. 362.

⁷³ Ibid., p. 363.

⁷⁴ Ibid., p. 363.

⁷⁵ American Society of Heating, Refrigerating and A-C Engineers FND. Chapter 24: Refrigerated-Facility Loads. En: Handbook-Refrigeration. S.I.: ASHREA, 2014. p.24.

⁷⁶ Ibid., p. 1.

Ecuación 12. Coeficiente global de transferencia de calor⁷⁷

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}} \quad [W/m^2 K]$$

Donde

hi= Coeficiente de convección interna	[W/ m2 K]
x= Espesor del material aislante	[m]
k= Coeficiente de conductividad térmica	[W/m K]
ho= Coeficiente de convección exterior	[W/ m2 K]

Como los aislantes cuentan con paredes de gran espesor y existe muy poca conductividad térmica y el coeficiente de resistencia térmica x/k genera un Coeficiente global de transferencia de calor (U) pequeño y por ende $1/h_i$ y $1/h_o$ tienen poco valor y se hacen despreciables en los cálculos⁷⁸.

- Carga de Producto: Representa la cantidad de calor proporcionado y absorbido por cada uno de los productos introducidos y almacenados en el espacio de refrigeración.

Ecuación 13. Carga térmica del producto⁷⁹

$$Q_{\text{Prod}} = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{n} \quad [kW]$$

Donde

m= Masa del producto	[kg]
C _p = Calor específico del producto	[kJ/kg °C]
ΔT = Delta de temperaturas del producto y de conservación del mismo	[°C]
n = Tiempo de ciclado en el sistema	[S]

- Carga Interna: Este comprende cada uno de los elementos eléctricos y mecánicos involucrados en el proceso de refrigeración, también incluye las personas que tiene algún contacto con el elemento de refrigeración ya sea de forma parcial o completa.

El manual de refrigeración indica que los equipos o elementos auxiliares que estén incluidos dentro de la superficie a refrigerar representan una carga térmica extra de valores mínimos que a temperaturas mayores a -1°C se puede tomar como un 5% a 10% de la carga térmica total calculada, cuando existan motores de capacidad mayor a 1 Hp usar tablas para valores de cargas térmicas en el manual de ASHRAE⁸⁰.

⁷⁷ Ibid., p. 1.

⁷⁸ Ibid., p. 1.

⁷⁹ Ibid., p. 3.

⁸⁰ Ibid., p. 4.

- Carga relacionada al embalaje: Se tienen en cuenta, dado que el material en el cual se almacena el producto adsorbe o emite humedad al medio.

Ecuación 14. Carga térmica del embalaje⁸¹

$$Q_{emb} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * C_{pi} * \Delta T}{n} \quad [kW]$$

Donde

m= Masa del producto [kg]

C_p= Calor específico del producto [kJ/kg °C]

ΔT= Delta de temperaturas inicial del producto y conservación del mismo [°C]

n= Tiempo de ciclado en el sistema [S]

- Carga del Aire de Infiltración: Corresponde al aire que entra en contacto con el espacio, equipo o elemento de refrigeración cuando las puertas de estos son abiertas por personas o el diseño y composición de estas poseen partes expuestas o abiertas al medio.

Ecuación 15. Carga térmica del aire⁸².

$$Q_{Aire} = m_{aire} * \Delta h \quad [kJ]$$

Donde

m_{aire} = Masa del aire en el lugar [kg]

Δh= Diferencia de entalpías entre el aire interior y exterior del recinto [kJ/kg]

Ecuación 16. Masa del aire⁸³

$$m_{aire} = \rho_{aire} * V_{aire} \quad [kg]$$

Donde

ρ_{aire} = Densidad del aire del lugar [kg/m³]

V_{aire} = Volumen del aire en el lugar [m³]

⁸¹ Ibid., p. 4.

⁸² MIRANDA, Ángel. Entalpía del aire húmedo. En: Técnicas de climatización. México: Marcombo. 2da Edición. p. 16

⁸³ Técnicas de climatización p. 16

Ecuación 17. Carga térmica de infiltración⁸⁴.

$$Q_{\text{infiltración}} = q * D_t * D_f * (1 - E) \quad [\text{kW}]$$

Donde

q= Ganancia de calor promedio en un periodo	[kW]
D _t = Factor de tiempo de apertura	~
D _f = Factor de flujo de entrada	~
E= Eficiencia del dispositivo en la entrada	~

Ecuación 18. Ganancia de calor promedio en un periodo⁸⁵

$$q = 0,221 * A * (h_{\text{aire}} - h_{\text{cuarto}}) * \rho_{\text{aire}} * \left(1 - \frac{\rho_{\text{aire}}}{\rho_{\text{cuarto}}}\right)^{0,5} * (g * H)^{0,5} * F_m \quad [\text{kW}]$$

Donde

A= Superficie de la entrada	[m ²]
h _{aire} = Entalpia del aire exterior	[kJ/kg]
h _{cuarto} = Entalpia del aire del lugar	[kJ/kg]
ρ _{aire} = Densidad del aire exterior	[kg/m ³]
ρ _{cuarto} = Densidad del aire en el lugar	[kg/m ³]
g= Gravedad	[m/s ²]
H= Altura de la entrada	[m]
F _m = Factor densidad	~

Ecuación 19. Carga térmica de infiltración a través de puertas⁸⁶.

$$q_t = VA(h_i - h_r) \rho_r D_t \quad [\text{kW}]$$

Donde

V= Velocidad del aire	[m/s]
A= Superficie que cubre la puerta	[m ²]
h _i = Entalpia del aire de la infiltración	[kJ/kg]
h _r = Entalpia del aire refrigerado	[°C]
ρ _r = Densidad del aire a refrigerar	[kg/m ³]
D _t = Factor tiempo apertura puertas	~

⁸⁴ Ibid., p. 5.

⁸⁵ American Society of Heating, Refrigerating and A-C Engineers FND. Chaper 24: Refrigerated-Facility Loads Ecuación 15. Heat Gain from Typical Electric Motors. En: Handbook-Refrigeration. S.I.: ASHREA, 2014. p.24,5.

⁸⁶ American Society of Heating, Refrigerating and A-C Engineers FND. Chaper 24: Refrigerated-Facility Loads Tabla 6. Heat Gain from Typical Electric Motors. En: Handbook-Refrigeration. S.I.: ASHREA, 2014. p.24,7.

Ecuación 20. Factor del tiempo de apertura⁸⁷.

$$D_t = \frac{p \cdot \theta_p \cdot \theta_o}{n}$$

Donde

p= Número de entradas	~
θ_p = Tiempo de abrir y cerrar cada entrada	[s]
θ_o = Tiempo de permanencia de la puerta abierta	[s]
n= Tiempo de ciclado del equipo	[s]

Ecuación 21. Factor de densidad⁸⁸

$$F_m = \left[\frac{2}{1 + \left(\frac{\rho_{\text{cuarto}}}{\rho_{\text{aire}}} \right)} \right]^{1,5}$$

Donde

ρ_{cuarto} = Densidad dentro del cuarto	[kg/m ³]
ρ_{aire} = Densidad del aire afuera del cuarto	[kg/m ³]

- Carga térmica por humidificación. Es la carga representativa sobre el aumento de la humedad en un ambiente específico.

Ecuación 22. Carga térmica por humidificación⁸⁹.

$$Q_{\text{humidificación}} = m_a (h_2 - h_1) - m_a (W_2 - W_1) h_{wl} \quad [\text{kW}]$$

Donde

m_a = Masa del aire	[kW]
h_2 = Entalpia del ambiente refrigerado	kJ/kg
h_1 = Entalpia del ambiente	kJ/kg
W_2 = Masa del aire húmedo refrigerado	kg _w /kg _a
W_1 = Masa del aire húmedo del ambiente	kg _w /kg _a
$h_{wl} = 4.187 \cdot T_{\text{amb}}$ Entalpia del agua estancada	kJ/kg

3.2.1 Parámetros de diseño. Fue complicado conseguir los valores ideales de los equipos que se investigaron en el proyecto y debido a este obstáculo se decidió realizar cálculos para hallar las cargas térmicas de cada equipo a carga máxima y

⁸⁷ American Society of Heating, Refrigerating and A-C Engineers FND. Chaper 24: Refrigerated-Facility Loads Tabla 6. Heat Gain from Typical Electric Motors. En: Handbook-Refrigeration. S.I.: ASHREA, 2014. p.24,6.

⁸⁸ American Society of Heating, Refrigerating and A-C Engineers FND. Chaper 24: Refrigerated-Facility Loads Ecuación 15. Heat Gain from Typical Electric Motors. En: Handbook-Refrigeration. S.I.: ASHREA, 2014. p.24,6.

⁸⁹ Técnicas de climatización p. 30

de esta manera analizar la información obtenida y poder comparar los datos investigados en el proyecto.

Para realizar el cálculo de las cargas térmicas ideales del proceso de cadena de frío, en papaya y lechuga, se toma una temperatura promedio del producto según recomendaciones del AHSRAE. El tiempo de ciclado que se utilizó es dado por las aplicaciones actuales de los equipos evaluados; además de esto las condiciones del aire como densidad y entalpía fueron determinadas bajo condiciones atmosféricas de Bogotá.

Culminando con los cálculos se comparan con los datos obtenidos durante el cálculo del diseño de los equipos a funcionamiento ideal.

3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS Y CONDICIONES TEÓRICAS

El protocolo de Calificación es un sistema que ayuda a verificar si un equipo está operando según lo estipulado en su diseño y también si el equipo es adecuado para la operación que desempeña.

Los equipos y procesos evaluados son los involucrados en todo el proceso de cadena de frío; esta evaluación es de datos recolectados de la industria y comparados con los datos técnicos de cada equipo y proceso.

El protocolo se realizó con el fin de dar una visión más acertada de cómo está siendo aplicada la cadena de frío en las frutas y verdura en la industria y con esto poder verificar en que partes está fallando y poder mejorar todo el proceso.

Los datos técnicos expuestos en los siguientes cuadros son tomados de manuales, normativas, páginas web, revistas y estudios realizados por organizaciones.

3.4 METODOLOGÍA

El procedimiento usado para la realización de la evaluación de los equipos de ambientes se denota en el siguiente paso a paso:

I. Listar prestadores de servicio posibles a visitar para cada eslabón inmerso en la cadena de frío.

II. Realizar las respectivas visitas desde el productor hasta la comercialización de los productos seleccionados. En este paso se tomaron datos de los equipos como las temperaturas del sistema de refrigeración, presión de succión, descarga y las referencias de cada equipo, factores que permiten visualizar aspectos de forma indirecta como son los ambientes e instalaciones de cada eslabón.

III. Con las observaciones de los ambientes e instalaciones, se realizan tablas comparativas de los procesos y equipos inmersos en ellos.

Para los procesos inmersos en la cadena de frío como lo son recolección de productos y salas de procesos, las tablas comparativas evalúan lo que tiene que realizarse idealmente para el buen proceso de la fruta y la verdura con base a normativas y manuales del buen manejo del producto y esto lo contrarresta contra lo que se observó realmente en cada visita.

En las tablas de los equipos encontrados en los otros procesos, (transporte, almacenamiento y comercialización), se realizan por medio del protocolo de evaluación de equipos propuesto por Ema⁹⁰; el cual habla de se deben evaluar cuatro etapas.

- Calificación de diseño: En esta etapa se evalúa el diseño propuesto por el fabricante.
- Calificación de instalación: En la calificación de instalación se verifica los requerimientos que debe tener el equipo, como puede ser la infraestructura, requisitos ambientales y eléctricos e instrumentos de apoyo que puedan ser de utilidad para el manejo del sistema.
- Calificación de operación: En la operación se evalúa si el equipo funciona como lo designa los fabricantes.
- Calificación de desempeño: en esta etapa se verifica el desempeño del equipo puesto en marcha con los productos evaluados.

Como este proyecto es una evaluación técnica se omite la calificación de diseño ya que en el proceso no se intervienen equipos y solo se estudia el comportamiento de equipos en función de cumplimiento.

IV. Luego con los datos recolectados (temperaturas, presión y referencias), se realizan los cálculos necesarios para saber el estado del equipo; como son cargas térmicas reales del evaporador, flujo másico extraído por el equipo, potencias térmicas de cada parte del sistema de refrigeración (compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador), efecto refrigerante, eficiencia energética del refrigerante y el coeficiente de operación.

V. En el siguiente paso se realizan los cálculos ideales para cada equipo encontrado. Para los cálculos se tiene en cuenta las presiones reales de la entrada

⁹⁰http://www.ema.org.mx/descargas_congresoInteramericano/13Agosto/CalificaciondeEquipos_Analucia.pdf

y salida de cada componente del sistema de refrigeración, también las normativas de cada proceso y las recomendaciones del manejo de los productos.

- Los cálculos ideales son los mismos reales pero realizados con las especificaciones mencionadas anteriormente que son la parte ideal de cada equipo evaluado.

VI. Por último, se hace la comparación entre el valor real e ideal de tres variables los cuales son el ER (efecto refrigerante), EER (eficiencia energética del refrigerante) y el COP (coeficiente de operación). Esta comparación se hace teniendo en cuenta el porcentaje de cumplimiento el cual es hallado con la siguiente ecuación.

Ecuación 23. Porcentaje de cumplimiento

$$\% \text{ Cumplimiento} = \frac{\text{Valor real}}{\text{Valor ideal}} * 100\%$$

- Para saber si el equipo evaluado está cumpliendo con lo que debería ser, se determinan los siguientes porcentajes.

Cuadro 6. Rangos de cumplimiento según criterio de operación.

Rango de cumplimiento	Criterio de operación
95% -100%	Óptimo
75% - <95%	Restringido
50% - <75%	Deficiente
<50%	No cumple

Fuente: elaboración propia

Con estos rangos se aprecia el criterio en el cual está operando el equipo de refrigeración, para un proceso de cadena de frío debería de ser siempre el óptimo.

Esta metodología aplica para cada uno de los eslabones de la cadena de frío en algunos de ellos como no se encuentra equipo en la parte real solo se observa las tablas comparativas de infraestructura y ambientes. Para los procesos con sistema de refrigeración los valores numéricos de los cálculos están separados con punto para los decimales para mayor comprensión de ellos.

3.5 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO

Después de relacionar toda la información propuesta para cumplir con los objetivos del proyecto, se da inicio al diagnóstico de los procesos.

3.5.1 Post-cosecha. En la recolección de la lechuga y la papaya se evaluaron los procedimientos que se practican para cada uno de los productos mencionados. En este procedimiento no se halló ningún tipo de cadena de frío, por esta razón no hay evaluación de equipos ni cálculos, solamente la evaluación de las características empleadas durante el proceso de recolección para cada producto.

3.5.1.1 Evaluación en la recolección de la lechuga. A continuación se relacionan los aspectos que se tuvieron en cuenta para realizar dicha evaluación

Se realizó el diagnóstico correspondiente para la lechuga, con el fin de evaluar los diferentes aspectos durante la recolección de esta hortaliza, para así conocer las condiciones bajo las cuales se ejecutan diferentes partes de este proceso considerado uno de los más importantes, debido a que determina la calidad del producto desde primera instancia. Para el desarrollo, fue necesario considerar las siguientes condiciones:

- Se recoge el producto en el tiempo adecuado.
- El producto recolectado está en óptimas condiciones.
- Se hizo control de plagas antes de recolectar la lechuga.
- El cuarto donde se verifican las condiciones del producto, está con la temperatura y humedad adecuadas.
- Se almacena en cuarto frío después del proceso de verificación del producto.
- ¿Qué pasa con la lechuga no apta para el consumo?
- ¿Cómo se empaca el producto para ser transportado a las grandes plazas de mercado?

Cada una de estas condiciones fue evaluada, bajo normativas y recomendaciones de los manuales para manejos de productos agrícolas, que dan a conocer la idealidad de la lechuga en estos parámetros.

Cuadro 7. Evaluación en el proceso de recolección de la lechuga

Recolección de la lechuga					
Condiciones	Datos técnicos	Datos del proceso evaluado	Diagnostico		Observación
			Cumple	No cumple	
Tiempo de recolección	De 45 a 65 días	En ese tiempo de 45 a 65 días se hace inspección visual y se recolecta el producto	X		-
El producto recolectado está en óptimas condiciones	Si	No		X	Por la forma de clasificación de la lechuga es aceptable algunos productos que no están en el 100% de su calidad
Control de plagas antes de hacer la recolección	Si	Si		X	Alta perdida de lechuga en el cultivo por mal aplicación de los productos de control de plagas
El cuarto donde se verifican las condiciones del producto está con la temperatura y humedad adecuada	Debe tener las variables de temperatura y humedad controlas	No consta con el control de esas variables		X	Baja participación de las autoridades competentes hace que los agricultores no apliquen las normativas

Cuadro 7 (Continuación)

Se almacena en cuarto frío después del proceso verificación	Para que el producto se conserve y no pierda su calidad debe ser refrigerado lo más rápido posibles después de la recolección	No		X	Baja participación de las autoridades competentes hace que los agricultores no apliquen las normativas
¿Qué pasa con la lechuga no apta para la comercialización?	Debe ser desechada	Una parte es desechada y otra es aprovechada para el consumo animal	X		-
Empaquetado	Debe ser empacado en canastillas plásticas	El producto se empaca en canastillas plásticas	X		-

Fuente: elaboración propia.

3.5.1.2 Evaluación en la recolección de la papaya. De igual manera se relacionan los datos de la evaluación y los aspectos que se tuvieron en cuenta para su desarrollo.

Se evalúan diferentes aspectos durante la recolección de la fruta, para conocer las condiciones bajo las cuales se ejecutan diferentes partes de este proceso, considerado importante, debido a que determina la calidad del producto desde la primera instancia. Es necesario considerar las siguientes condiciones:

- Se recoge el producto en el tiempo adecuado.
- El producto recolectado está en óptimas condiciones.
- Se hizo control de plagas antes de recolectar la papaya.
- El cuarto donde se verifican las condiciones del producto, está con la temperatura y humedad adecuada.
- Se almacena en cuarto frío después del proceso de verificación del producto.
- ¿Qué pasa con la papaya no apta para el consumo?
- ¿Cómo se empaca el producto para ser transportado a las grandes plazas de mercado?

Cada una de estas condiciones se evaluó, bajo normas y recomendaciones de manuales sobre el manejo de productos agrícolas que dan a conocer la idealidad de la papaya en estos parámetros.

Cuadro 8. Evaluación en el proceso de recolección de papaya

Recolección de la papaya					
Condiciones	Datos técnicos	Datos del proceso evaluado	Diagnóstico		Observación
			Cumple	No cumple	
Tiempo de recolección	Cuando se encuentra en 3/4 de madurez	Cuando se encuentra en 3/4 de madurez	X		-
El producto recolectado está en óptimas condiciones	Si	No		X	En algunos casos los agricultores por tener mayor ganancia venden productos de baja calidad.
Se realiza control de plagas	Si	Si		X	Al aplicar los productos para el control de plagas en algunos casos se aplica de forma incorrecta lo cual hace que pueda entrar la plaga y dañe la calidad del producto
El cuarto donde se verifica las condiciones del producto si esta con la temperatura y humedad adecuada	El cuarto debe tener una temperatura y humedad controladas	Este proceso no cuenta con las variables de humedad y temperatura controladas		X	Al no haber un control sobre los agricultores este paso no es aplicado ya que para ellos generaría un costo
Se almaceno en cuarto frio después del proceso verificación del producto	Si	No		X	Al no haber un control sobre los agricultores este paso no es aplicado ya que para ellos generaría un costo

Cuadro 8 (Continuación)

¿Qué pasa con la papaya no apta para el consumo?	Debe ser desechada	Una parte es desechada y otra aprovechada		X	En muchos casos los agricultores venden productos de baja calidad que pueden estar con hongos y algunas enfermedades
Proceso de empaquetado	En canastillas plásticas y el producto envuelto en papel periódico o en mallas	En canastillas plásticas y el producto envuelto en papel periódico	X		-

Fuente: elaboración propia

3.5.2 Sistemas de refrigeración en vehículos de transporte terrestre. La cadena de frío que se está aplicando a las frutas y verduras, específicamente papaya y lechuga, no se ejecuta de buena manera ya que no se hace desde la cosecha, sino que comienza desde el transporte que va dirigido a las áreas comerciales.

Estos equipos de refrigeración son los encargados de la correcta conservación de los productos en el habitáculo, al momento de la movilización del producto a las distintas partes de comercialización; pueden ser de tres tipos, mono - temperatura, multi - temperatura y direct - drive. Los equipos que funcionan a mono - temperatura, simplemente operan a una temperatura que se controla en el ambiente del habitáculo; multi - temperatura funciona cuando el espacio de refrigeración tiene compartimientos y el equipo debe controlar dos o más ambientes dentro del área a refrigerar; direct - drive son aquellos que se usan en vehículos pequeños, con un espacio reducido para cargas pequeñas, ya que serán transportados en trayectos cortos⁹¹.

Imagen 34. Sistema de refrigeración para vehículos de transporte terrestre.



Fuente: W-ANUNCIOS."Max thermo sales" [Figura]. Disponible en: <https://los-santos.wanuncios.com/refrigeracion-thermo-king-y-carrier-a-la-venta-185-135857.html>

⁹¹ TAURO. Equipos de control de temperatura para transporte de carga [En línea]. México, Nuevo León: tauro.mx. [Citado: 2018-04-17]. Disponible: <https://www.tauro.mx/equipos-control-temperatura-transporte-carga/>

Imagen 35. Camión de transporte refrigerado.



Fuente: FRÍO NORTE S.A. "Thermal 3600" [Figura]. Disponible en: <http://frionortesa.com/equipo-thermal-3600.html>

El equipo usado para evidenciar los parámetros de funcionamiento es un vehículo de transporte con un equipo de refrigeración de la marca THERMO KING, de la serie MD y modelo MD-300, el cual utiliza un refrigerante R404-A. Este equipo se selecciona al azar, permitiendo observar que se usa para el transporte de alimentos con necesidad de refrigeración y puesto que posee características relevantes, las cuales son:

- Es uno de los compresores más eficientes, debido que su sistema puede brindar una capacidad de bombeo y enfriamiento idóneo para la refrigeración del equipo mencionado. El compresor empleado es de dos cilindros modelo TK X214 Deep Sump⁹², como se ve en la siguiente imagen:

Imagen 36. Compresor Thermo King

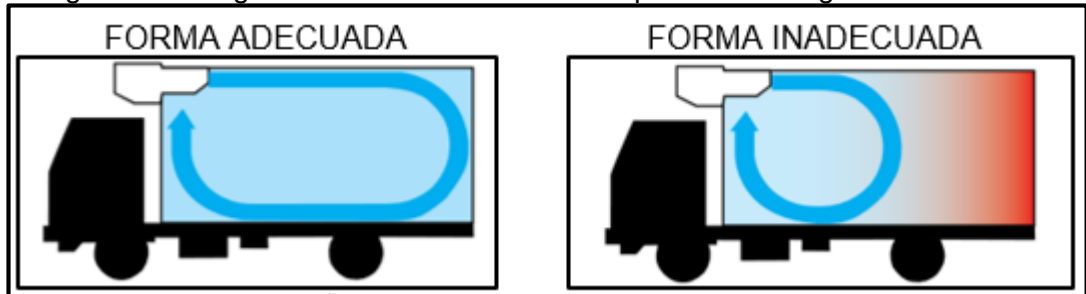


Fuente: EBAY. "Thermo King X214 DeepSump Compressor" [Figura]. Disponible: <https://www.ebay.com/itm/Thermo-King-X214-Deep-Sump-Compressor-ervice-Exchange-/220880725739>

⁹² THERMOKING. MD-200/MD-300/MD-200 MT. Proven reliability, unbeatable quality and multi-temperature flexibility [En línea]. s.l.:Thermoking.se. [Citado: 2018-07-13]. Disponible: http://thermoking.se/images/stories/doc/broschyner/MD-200-300_MD-200MT.pdf. p.2.

- El evaporador cuenta con un sistema de doble ventilación, que es accionado por un sistema de correa, permitiendo el aumento de la velocidad del aire sobre toda la superficie de carga⁹³, de esta manera genera uniformidad de la temperatura sobre todo el espacio refrigerado, como se muestra en la siguiente imagen:

Imagen 37. Refrigeración adecuada sobre la superficie de carga

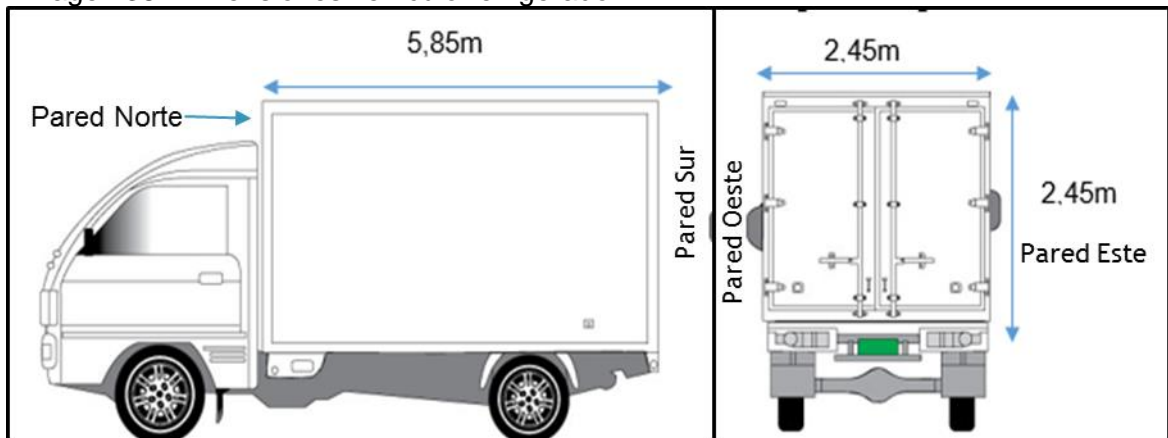


Fuente: THERMOKING. "Belt-Driven dual evaporator fans" [Figura]. Disponible: http://thermoking.se/images/stories/doc/broschyer/MD-200-300_MD-200MT.pdf

A continuación se relacionan los datos de entrada para iniciar con la demostración de los cálculos de la carga térmica real:

- Carga de Transmisión: Para este cálculo es necesario establecer las dimensiones del vehículo como se muestra en la siguiente imagen:

Imagen 38. Dimensiones vehículo refrigerado.



Fuente: CARSING. Sala de referencia de dibujo de automóvil Ai [Figura]. Disponible: http://carsign.co.kr/xe/?mid=sub_05_4&sort_index=readed_count&order_type=asc&document_srl=2896

Teniendo en cuenta las dimensiones, se halló el área que comprende cada pared de la superficie total del vehículo, las cuales son:

⁹³ Ibid., p.3

Tabla 4. Dimensiones y área del vehículo refrigerado.

Dimensiones	Alto [m]	Largo [m]	Superficie [m²]
Pared Norte	2.45	2.45	6.0025
Pared Este	2.45	5.85	14.3325
Pared Sur	2.45	2.45	6.0025
Pared Oeste	2.45	5.85	14.3325
Techo	2.45	5.85	14.3325
Suelo	2.45	5.85	14.3325

Fuente: elaboración propia

Teniendo la superficie, es necesario utilizar el valor de R, el cual es el calor conductivo del material teniendo en cuenta el tipo de aislamiento y espesor. En este caso el vehículo refrigerado está compuesto en sus paredes internas de poliuretano con un espesor de 88.9mm, al cual le corresponde un valor de R igual a 0.023 W/m°C. Conociendo este valor se obtienen los siguientes calores de transmisión generado por cada superficie mediante la ecuación (11):

Tabla 5. Calor de transmisión vehículo de refrigeración.

Pared	Carga [W]
Pared Norte	32.612
Pared Este	77.869
Pared Sur	32.612
Pared Oeste	77.869
Techo	77.869
Suelo	77.869
Total	376.702 W
Total	1285.360 Btu/h

Fuentes: elaboración propia.

El calor total de transmisión entre las paredes, techo y suelo es de 376.702 kW.

- Carga de Producto: Para este cálculo se registraron los pesos de los productos encontrados. Este calor se divide en:
 - Calor que debe retirarse de los productos que se van a refrigerar.
 - Calor entregado al medio por parte de los productos.

La cantidad de calor que debe retirarse para que este llegue a la temperatura del vehículo (4°C) se relaciona en la tabla 6, estos datos fueron hallados mediante la ecuación (13):

Tabla 6. Calor retirado de los productos del vehículo refrigerado.

Producto	Masa[Kg]	Calor Específico [kJ/Kg* K]	Temperatura 1 [K]	Temperatura 2 [K]	ΔT [K]	Q [kJ]
Naranja	300	3.75	291.15	277.15	14	15750
Limón	100	3.82	291.15	277.15	14	5348
Manzanas	200	3.65	291.15	277.15	14	10220
Piñas	150	3.68	291.15	277.15	14	7728
Mango	100	3.55	291.15	277.15	14	4970
Granadilla	70	3.58	291.15	277.15	14	3508.4
Melón	80	3.95	291.15	277.15	14	4424
Papaya	100	3.88	291.15	277.15	14	5432
Peras	150	3.61	291.15	277.15	14	7581
Banano	120	3.35	291.15	277.15	14	5628
Lechuga	90	4.02	291.15	277.15	14	5065.2
Champiñones	80	3.88	291.15	277.15	14	4345.6
Apio	60	3.98	291.15	277.15	14	3343.2
Tomates	200	3.95	291.15	277.15	14	11060
Cebolla larga	200	3.82	291.15	277.15	14	10696
Ajo	30	2.88	291.15	277.15	14	1209.6
Brócoli	40	3.85	291.15	277.15	14	2156
Pimentón	70	3.92	291.15	277.15	14	3841.6
Pepino	130	4.05	291.15	277.15	14	7371
Coliflor	80	3.92	291.15	277.15	14	4390.4
Espinaca	60	3.95	291.15	277.15	14	3318
					Q_{TOTAL}	127386

Fuente: elaboración propia.

Después de realizar la sumatoria de la carga térmica de los productos, se obtiene un total de 127386 KJ.

Teniendo en cuenta que el tiempo de ciclado con el que opera el equipo, que es de 20 min, se obtiene una carga térmica en relación a este lapso de tiempo igual a 106.155 kW (362215.892 Btu/h).

- Carga Interna: El vehículo posee un motor de 4 hp. Teniendo en cuenta esta potencia el valor de calor generado por este es de 856.3157 W (2921.8704 Btu/h):

Carga relacionada al embalaje: Los productos están almacenados dentro del camión por medio de canastillas plásticas de polipropileno, el cual tiene un calor

específico de $0.404 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}^{94}$. El vehículo tiene una capacidad de 250 canastillas, cada canastilla tiene un peso de 2.2 Kg, para un total de 550 Kg. Teniendo en cuenta estos valores el calor relacionado con el embalaje es calculado con la ecuación (14) vista en la página 74:

Cuadro 9. Resultado carga térmica de embalaje

Qt	6.999	Btu
Qt	2.0512	W

Fuente: elaboración propia.

- Carga de Infiltración: En esta parte se tiene en cuenta la ecuación (17) que se encuentra en la página 75:

Cuadro 10. Valores para carga térmica por infiltración.

Parámetro	Datos
V	0.508 m/s
A	6.0025 m ²
h _i ⁹⁵	297.9522 kJ/Kg
h _r ⁹⁶	277.2808 kJ/Kg
ρ _r ⁹⁷	1.2788 Kg/m ³
D _t	0.333

Fuente: elaboración propia

Haciendo uso de la ecuación (20) de la página 76, se establecen los siguientes valores:

Cuadro 11. Valores del factor tiempo

P	2
θ _p	0
θ _o	40
θ _d	2
Factor	0.333

Fuente: elaboración propia.

⁹⁴ PROSPECTOR. Polipropileno (PP) Propiedades típicas Generic PP. Unspecified. [En línea].s.l.:plastics.ulprospector.com. Disponible: <https://plastics.ulprospector.com/es/generics/39/c/t/polipropileno-pp-properties-processing/sp/33>

⁹⁵ CENGEL, Yunus. Tablas de propiedades, figuras y diagramas (Unidades Inglesas). En: Transferencia de calor y masa. 3 ed. México: McGraw-Hill/Interamericana, 2007. p. 794.

⁹⁶ CENGEL, Yunus. Tablas de propiedades, figuras y diagramas (Unidades Inglesas). En: Transferencia de calor y masa. 3 ed. México: McGraw-Hill/Interamericana, 2007. p. 794.

⁹⁷ EUSKARA. Densidades de algunas sustancias a 1 atm (760mmHg) [En línea]. s.l.: EUS.EUS. [Citado: 2018-05-29]. Disponible: <https://www.ehu.eus/eu/web/guest/sitemap>

Este valor corresponde al tiempo empleado en el cargue y descargue de los productos junto con pequeños lapsos de tiempo que puede presentarse en el transcurso del transporte.

Teniendo en cuenta estos valores anteriormente planteados y haciendo uso de la ecuación (17), se obtiene un calor de infiltración de:

Cuadro 12. Resultado carga térmica de infiltración

Qt	91765.446	Btu/h
Qt	26.893	kW

Fuente: elaboración propia

Al considerar cada una de las cargas se obtiene el siguiente valor total:

Tabla 7. Carga total, vehículo de refrigeración.

Carga	W	
Transmisión	376.702	
Producto	106155	
Interna	856.315	
Embalaje	2.051	
Infiltración	26893.699	
Total	134.284	kW
Total	458195.230	Btu/h

Fuente: elaboración propia

En el siguiente cuadro se relacionan los datos obtenidos durante la medición de temperaturas y presiones para verificar los parámetros de funcionamiento.

Cuadro 13. Datos del sistema de refrigeración de transporte.

Componentes	Entrada		Salida	
	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]
Compresor	44.7	30	76.5	280
Condensador	79.1		49.7	
Mecanismo de Expansión	9.9		1.9	
Evaporador	1		-4.5	

Fuente: elaboración propia

A continuación, la información real del sistema de refrigeración que fue posible completar la información con las tablas del refrigerante R404.

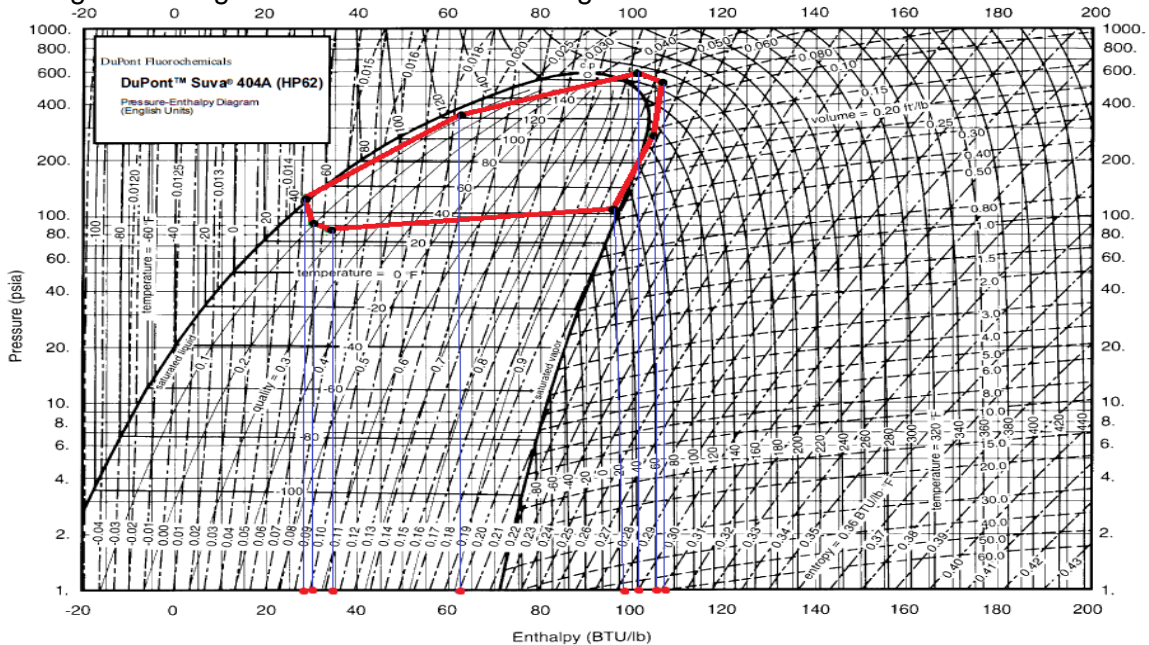
Cuadro 14. Datos del sistema de refrigeración de transporte ideal.

Componentes	Entrada		Salida	
	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]
Compresor	44.7	295.94	76.5	568.94
Condensador	79.1	595.89	49.7	331.92
Mecanismo de Expansión	9.9	118.92	1.9	94.14
Evaporador	1	91.68	-4.5	106.21

Fuente: Datos obtenidos por la ficha técnica del refrigerante R404-a

Observando los valores relacionados en el cuadro anterior que el equipo arroja mientras está operando, se procedió a realizar el diagrama de Mollier y de esta manera brindar un análisis de cómo se encuentra actualmente el equipo. Este grafico se realizó manualmente, fue editado para agregarle los puntos y las líneas que soportan los valores de las entalpías halladas.

Figura 5. Diagrama real del vehículo refrigerado⁹⁸.



Fuente: DuPont. Thermodynamic Properties of Dupont Suva 404^a(hp62). "Pressure Enthalpy Diagram" [Gráfica]. Editado por los autores.

⁹⁸ DUPONT. Thermal properties of Dupont Suva 404 A (HP6₂) Refrigerant. Estados Unidos: Dupont Corporation. p.20.

En el diagrama de Mollier realizado, se puede apreciar que el equipo tiene comportamientos irregulares. Como se aprecia en el transcurso de la salida del evaporador y entrada al compresor existe un comportamiento no idóneo debido a que se observa un aumento de temperatura muy superior a lo normal, ocurre algo similar en el transcurso de la salida del condensador y la entrada al mecanismo de expansión ya que presenta una disminución de temperatura en un rango elevado.

Este suceso es debido a que las tuberías del sistema no presentaban aislamientos para no generar pérdidas de energía como se logra apreciar que si sucede en el diagrama.

Cuadro 15. Entalpías del sistema del vehículo refrigerado

Componentes	Entalpías [kJ/Kg]	Punto
Compresor	242	1
	247	2
Condensador	235	3
	147	4
Válvula de expansión	65	5
	70	6
Evaporador	81	7
	223	8

Fuente: valores obtenidos por medio del diagrama de Mollier. Los autores

Con la ecuación (1) vista en la página 68, se calcula el valor del flujo másico.

Cuadro 16. Flujo másico real del sistema de transporte

Flujo Másico	0.974	Kg/s
--------------	-------	------

Fuente: elaboración propia

Mediante las ecuaciones (2), (3), (4) y (5) para las potencias térmicas encontradas en la página 68 y 69, se calcula;

Cuadro 17. Capacidades térmicas del vehículo refrigerado.

Dispositivo	Capacidad [kW]
Compresor	4.869
Condensador	85.694
Expansión	4.869
Evaporador	134.284

Fuente: elaboración propia

Con el diagrama ya realizado, se observa el cuadro donde se encuentran las entalpías a las que el sistema está operando. Ahora se realiza el cálculo de la

eficiencia energética haciendo uso las ecuaciones (6), (7) y (8) anteriormente mencionadas en la página 69 y 70.

Cuadro 18. Datos de eficiencia energética del sistema del transporte refrigerado

ER	141.886
COP	30.500
EER	29.141

Fuente: elaboración propia

La carga térmica total para el vehículo de refrigeración es de 134.284 kW, la cual se relaciona en la tabla 7 vista anteriormente; que contiene las diferentes cargas térmicas que intervienen en el sistema del vehículo de transporte refrigerado. Es apreciable que la carga más grande es la de los productos ya que la gran cantidad de productos suman energía que el sistema debe eliminar, seguida de la carga infiltración donde se observa que es importante por las pérdidas ocasionadas en la entrada al momento que se realiza la carga y descarga de los productos.

Ya realizados los cálculos de la carga térmica, teniendo la cantidad de energía que el equipo necesita extraer para cumplir con las operaciones de trabajo, se pretende revisar el funcionamiento con los parámetros de eficiencia con la que el equipo está operando. A continuación, se indican los parámetros de entrada para los siguientes cálculos, teniendo como guía la información recopilada durante el diagnóstico:

3.5.2.1 Transporte Ideal. El camión utilizado para el cálculo de las cargas térmicas tiene las siguientes condiciones.

Cuadro 19. Condiciones ideales para el habitáculo del vehículo de transporte refrigerado.

Dimensiones	
Largo [m]	6.5
Ancho [m]	3
Alto [m]	3
Parámetros ambientales	
Temperatura [°C]	19
Humedad relativa [%]	55
Parámetros del proceso de papaya	
Temperatura [°C]	10
Humedad relativa [%]	85
Parámetros del proceso de lechuga	
Temperatura [°C]	2
Humedad relativa [%]	97

Fuente: Thermal properties of foods [Tabla].ASHRAE CHAPTER 19. Table 3.

3.5.2.2 Carga térmica por transmisión. Como se sabe que las paredes del furgón son de poliuretano expandido; se escoge un valor promedio de ($K=0,0245 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$)⁹⁹ y con las condiciones iniciales se conocen las diferencias de temperatura entre el medio ambiente y la zona refrigerada. Aplicando la ecuación (11), la carga térmica por transmisión es;

Cuadro 20. Carga térmica por transmisión en el habitáculo de lechuga y papaya

Zona	Espesor [m]	Área [m ²]	Q _{trans-papaya} [kW]	Q _{trans-lechuga} [kW]
Pared Norte	0.076	9	0.026	0.049
Pared Este	0.076	19.5	0.056	0.107
Pared Sur	0.076	9	0.026	0.049
Pared Oeste	0.076	19.5	0.056	0.107
Techo	0.076	19.5	0.056	0.107
Suelo	0.076	19.5	0.056	0.107

Fuente: elaboración propia

La carga térmica total por transmisión para la papaya es:

$$Q_{\text{trans}}=0.278 \text{ kW}$$

La carga térmica total por transmisión para la lechuga es:

$$Q_{\text{trans}}=0.525 \text{ kW}$$

3.5.2.3 Carga térmica por producto a refrigerar. Utilizando la ecuación (13) y con los parámetros encontrados en los cuadros 18 y 19 se procede a hallar la carga térmica por producto

Cuadro 21. Parámetros para carga térmica de papaya

Papaya	
N° Canastillas	250
Peso por canastilla [Kg]	18
Peso Total [Kg]	4500
C _p [kJ/Kg K]	3.88
ΔT [K]	9
n [s]	1200

Fuente: elaboración propia

⁹⁹ American Society of Heating, Refrigerating and A-C Engineers FND. Chaper 24: Refrigerated-Facility Loads Table 1. Heat Gain from Typical Electric Motors. En: Handbook-Refrigeration. S.I.: ASHREA, 2014. p.1.

La carga térmica de la papaya a refrigerar es:

$$Q_{\text{producto}} = 130,95 \text{ kW}$$

Cuadro 22. Parámetros para carga térmica de lechuga

Lechuga	
N° Canastillas	250
Peso unidad [Kg]	0.3
Cantidad producto por canastilla	12
Peso por canastilla [Kg]	4.8
Peso Total [Kg]	1200
C _p [KJ/Kg K]	4.02
ΔT [K]	17
n [s]	1200

Fuente: elaboración propia

La carga térmica de lechuga transportada es la siguiente:

$$Q_{\text{producto}} = 51.255 \text{ kW}$$

3.5.2.4 Carga térmica por embalaje. Se seleccionó para el cálculo de esta carga térmica por embalaje, que las canastillas donde va el producto dentro del camión son de polipropileno con un calor específico¹⁰⁰ (C_p=1.8 kJ/Kg K), además de esto para la papaya hay un material adicional que es una malla protectora para que el producto no se maltrate, el material es de polietileno de alta densidad y cuenta con un calor específico¹⁰¹ de (C_p=1 kJ/Kg K). Con la ecuación se prosigue a la determinación de la carga térmica, con la ecuación (13), vista en la página 73.

¹⁰⁰ GOODFELLOW. Polipropileno (PP). Información sobre el material. [En línea]. s.l.:goodfellow.com. [Citado: 2018-08-06]. Disponible: <http://www.goodfellow.com/S/Polipropileno.html>

¹⁰¹ GOODFELLOW. Polietileno-Alta densidad (HDPE). Información sobre el material. [Citado: 2018-08-06]. Disponible: <http://www.goodfellow.com/S/Polietileno-Alta-Densidad.html>

Cuadro 23. Parámetros para carga térmica del embalaje

Parámetros para lechuga y papaya		
N° Canastillas	250	UNID
Peso canastilla	2.35	Kg
M	587.5	Kg
C _p -canastilla	1.8	kJ/Kg K
N	1200	s
ΔT papaya	3	K
ΔT lechuga	2	K

Fuente: elaboración propia

Con los parámetros anteriores se calcula la carga térmica por embalaje para la lechuga.

$$Q_{\text{embalaje}} = 1.763 \text{ kW}$$

Como se mencionó anteriormente la papaya tiene un material adicional que cubre el producto para que no se maltrate, para calcular la carga térmica por embalaje para la papaya se identificó que hay aproximadamente 3Kg de malla;

$$Q_{\text{embalaje}} = 2.658 \text{ kW}$$

3.5.2.5 Carga térmica por aire. Utilizando la ecuación (14) y tomando los datos del cuadro 24, la carga térmica por aire para cada producto es;

Cuadro 24. Parámetros de entrada para carga térmica de aire.

Parámetros		
Volumen del espacio	58.5	m ³
Densidad	0.9	Kg/m ³
m _{Aire}	52.65	Kg
h _{Ambiente}	44.19	kJ/Kg
h _{Papaya}	32.1	J/Kg
h _{Lechuga}	16.75	kJ/Kg
Δh _{Papaya}	12.09	kJ/Kg
Δh _{Lechuga}	27.44	kJ/Kg

Fuente: elaboración propia

La carga térmica por aire para el transporte de papaya.

$$Q_{\text{Aire}} = 0.530 \text{ kW}$$

La carga térmica por aire para el transporte de lechuga.

$$Q_{\text{Aire}} = 1.204 \text{ kW}$$

3.5.2.6 Carga térmica por infiltración. Para realizar el cálculo de esta carga inicialmente se deben conocer las dimensiones de los accesos; en este caso solo se tiene una puerta de servicios.

Cuadro 25. Dimensiones de la puerta

Dimensiones puerta de servicio		
Ancho	3	m
Alto	3	m

Fuente: elaboración propia

Luego de tener las medidas respectivas se procede a determinar los parámetros para hallar la carga térmica por infiltración

Cuadro 26. Parámetros de entrada carga térmica de infiltración

Datos de entrada		
Área	9	m ²
Factor flujo de entrada	1.1	
Eficiencia del dispositivo de entrada	0.95	
Entalpia aire del ambiente	44.19	kJ/Kg
Entalpia aire del habitáculo con papaya	32.1	kJ/Kg
Entalpia aire del habitáculo con lechuga	16.75	kJ/Kg
Densidad aire del ambiente	0.9	Kg/m ³
Densidad del aire habitáculo con papaya	0.93	Kg/m ³
Densidad del aire habitáculo con lechuga	0.96	Kg/m ³
Gravedad	9.8	m/s ²
Altura de la entrada	2.45	m
Tiempo de abrir y cerrar la puerta	20	s
Tiempo de ciclado del equipo	1200	s
Tiempo que mantiene la puerta abierta	60	s
Número de entradas al cuarto de papaya	1	
Número de entradas al cuarto de lechuga	1	

Fuente: elaboración propia

Dados los datos de entrada y aplicando la ecuación (17), la carga térmica por infiltración para el habitáculo con papaya es;

$$Q_{\text{infiltración}}=0.068 \text{ kW}$$

La carga térmica por infiltración para el habitáculo con lechuga es;

$$Q_{\text{infiltración}}=0.210 \text{ kW}$$

3.5.2.7 Carga térmica por humidificación. Utilizando la ecuación (22) que se encuentra en la página 76 y con los parámetros encontrados en los cuadros 27 y 28, se halla la carga térmica por humidificación.

Cuadro 27. Parámetros para carga térmica por humidificación en habitáculo de papaya.

Parámetros para habitáculo de papaya		
Caudal de aire	2.72	m ³ /h
Temperatura ambiente	19	°C
Temperatura humidificación	14.444	°C
Densidad aire ambiente	0.9	Kg/m ³
Volumen específico	1.111	m ³ /Kg
Flujo másico	0.00068	kg/s
W ₁ ambiente	70	Kg H ₂ O/Kg
W ₂ papaya	82	Kg H ₂ O/Kg
Entalpia del agua líquida	79.553	kJ/Kg
h ₁ ambiente	177534.876	kJ/Kg
h ₂ humidificación	207266.701	kJ/Kg

Fuente: elaboración propia

La carga térmica por humidificación para el habitáculo de papaya es;

$$Q_{\text{humid}}=19.568 \text{ kW}$$

Cuadro 28. Parámetros para carga térmica por humidificaciones habitáculo de lechuga.

Parámetros para habitáculo de lechuga		
Caudal aire	2.72	m ³ /h
Temperatura ambiente	19	°C
Temperatura humidificación	13.333	°C
Densidad aire ambiente	0.9	Kg/m ³
volumen específico	1.111	m ³ /Kg
Flujo másico	0.00068	Kg/s
W ₁ ambiente	70	Kg H ₂ O/Kg
W ₂ lechuga	86	Kg H ₂ O/Kg
Entalpia del agua líquida	79.553	kJ/Kg
h ₁ ambiente	177534.876	kJ/Kg
h ₂ humidificación	217197.733	kJ/Kg

Fuente: elaboración propia

La carga térmica por humidificación para el habitáculo de lechuga es;

$$Q_{\text{humid}} = 26.105 \text{ kW}$$

La carga térmica por humidificación es la misma para todos los equipos, ya que esta se halla con las condiciones ideales de humedad para cada producto.

3.5.2.8 Carga térmica total. La carga térmica total para el habitáculo del camión es;

Cuadro 29. Carga térmica total del vehículo refrigerado.

Tipo de carga	Habitáculo	
	Papaya [kW]	Lechuga [kW]
Carga térmica por transmisión	0.278	0.525
Carga térmica por producto	130.95	51.255
Carga térmica por embalaje	1.772	1.175
Carga térmica por aire	0.530	1.204
Carga térmica por infiltración	0.068	0.210
Carga térmica por humidificación	19.568	26.105
Carga térmica total	153.166	80.474

Fuente: elaboración propia

A la carga térmica total se le adiciona un porcentaje correspondiente a equipos auxiliares e iluminación, el porcentaje es entre 5% y 10%. Como en este caso solo se encuentran elemento de iluminación se escoge el menos porcentaje (5%). Datos relacionados por la carga interna que recomienda el manual de ASHRAE.

La carga térmica total para el habitáculo con papaya es;

$$Q_T=160.825 \text{ kW}$$

La carga térmica total para el habitáculo con lechuga es;

$$Q_T=84.498 \text{ kW}$$

Ahora para el cálculo de potencias térmicas se tiene en cuenta la presión de succión y descarga reales, esto con el fin de realizar el diagrama de Mollier ideal para mantener una relación entre los datos teóricos y reales del sistema.

Cuadro 30. Condiciones iniciales para cálculo de potencias térmicas en el equipo de transporte.

Refrigerante	R404A
Presión succión [Kpa]	1018.652
Presión de descarga [Kpa]	2784.916
Carga térmica total papaya [kW]	160.825
Carga térmica total lechuga [kW]	84.498

Fuente: elaboración propia

Teniendo las condiciones iniciales se procede a encontrar los valores de entalpias en cada uno de los puntos del ciclo del refrigerante.

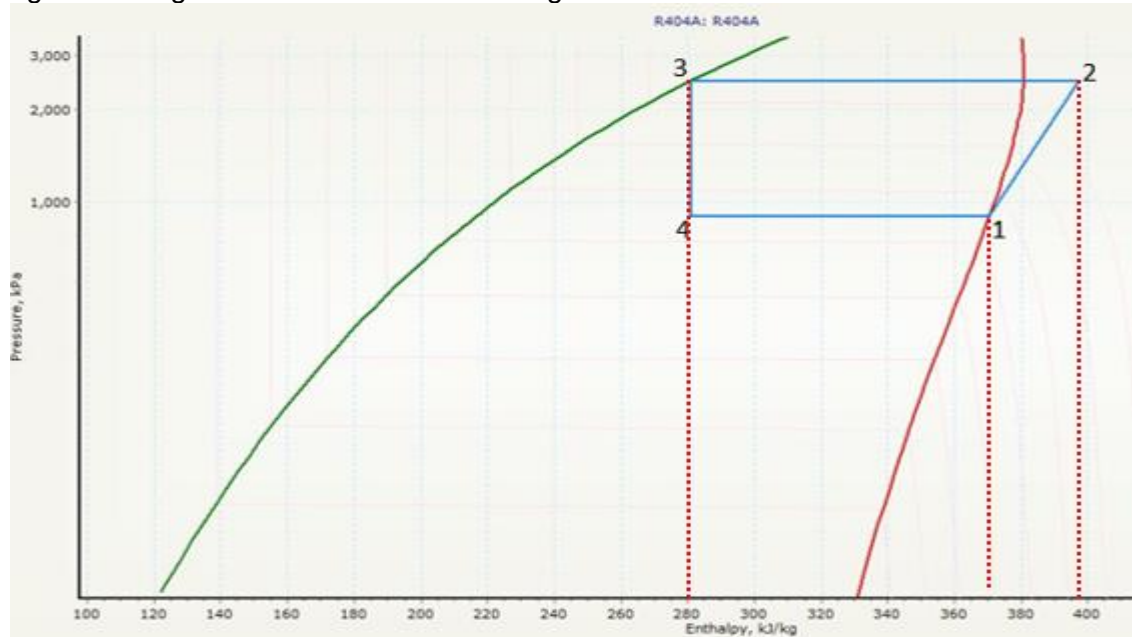
Cuadro 31. Datos ideales del refrigerante R404A en el transporte.

Punto	Presión [Kpa]	temperatura [°C]	entalpia [KJ/Kg]
1	1018.652	18.3	372.9
2	2784.916	70.2	397.9
3	2784.916	57.8	289.4
4	1018.652	18.3	289.4

Fuente: elaboración propia

A continuación se relaciona el diagrama de Mollier con los valores ideales en el cuadro anterior. El desarrollo fue mediante el software Mollier Chart.

Figura 6. Diagrama ideal del vehículo refrigerado.



Fuente: MOLLIERCHART. Software: TechniSolve/MollierChart [Gráfica]. Editado por los autores. El diagrama de Mollier anterior representa el funcionamiento ideal que el equipo debe tener indicando las presiones, temperaturas y entalpías a las que el sistema opera.

Con la ecuación (1) y los datos de anteriores se halla el flujo másico.

Cuadro 32. Flujo másico ideal equipo de transporte.

Flujo másico en el habitáculo de la papaya	1.926	Kg/s
Flujo másico en el habitáculo de la lechuga	1.012	Kg/s

Fuente: elaboración propia

Al obtener los flujos másicos se procede a calcular las potencias térmicas de todos los elementos del equipo de transporte refrigerado.

Cuadro 33. Potencia térmica ideal de los elementos.

Equipo	Potencia térmica con papaya [kW]	Potencia térmica con lechuga [kW]
Compresor	48.151	25.299
Condensador	208.976	109.797
Válvula de Expansión	0	0
Evaporador	160.825	84.498

Fuente: elaboración propia

Con la información hallada anteriormente se calcula la eficiencia energética del sistema.

Cuadro 34. Eficiencia energética ideal del sistema de transporte.

ER	83.500
COP sistema con papaya	2.253
COP sistema con lechuga	4.289
EER sistema con papaya	1.734
EER sistema con lechuga	3.301

Fuente: elaboración propia

Culminados los cálculos de cargas térmicas (datos reales) y los parámetros de diseño (datos ideales), se realizaron los cálculos de las eficiencias energéticas.

Con los resultados encontrados se procedió a verificar si el equipo evaluado es adecuado para el proceso que realiza, mediante una comparación de capacidad térmica, coeficiente de rendimiento y eficiencia energética. Esta información se verá reflejada en el cuadro 35, 36 y 37.

Cuadro 35. Comparativo de capacidad evaporador en transporte

	Capacidad ideal evaporador [kW]	Capacidad real evaporador [kW]	% Cumplimiento
Trasporte de papaya	160.825	138.278	85.981
Trasporte de lechuga	84.498		163.647

Fuente: elaboración propia

Como existe un equipo ideal para cada producto, se observa en la comparación que el equipo real cumple con la capacidad térmica del evaporador en el transporte de papaya en un 85.981%.

La capacidad térmica del evaporador en la lechuga se observa que se cumple en 163.647%, siendo capaz de trabajar en condiciones ambientales diferentes a las evaluadas.

Cuadro 36. Comparativo eficiencia energética del refrigerante en transporte

	EER ideal	EER real	% cumplimiento
Trasporte de papaya	1.734	29.141	1680.441
Trasporte de lechuga	3.301		882.910

Fuente: elaboración propia

En el análisis de la eficiencia energética del refrigerante, se observa que el equipo de transporte de papaya cumple en un 1680.441% y el de lechuga en 882.910%, lo

cual quiere decir que los equipos están sobre diseñados para la función que cumplen de refrigerar los productos, el equipo de transporte evaluado presenta características para la congelación esto justifica los valores de los porcentajes hallados. Este resultado demuestra que hay desperdicio de energía y equipos usados para funciones no idóneas.

Cuadro 37. Comparativo coeficiente de rendimiento en transporte

	COP ideal	COP real	% cumplimiento
Trasporte de papaya	2.253	19.000	843.2
Trasporte de lechuga	4.289		443.0

Fuente: elaboración propia

Se observa que el coeficiente de rendimiento real, cumple en un 843.2% para el equipo de transporte en papaya y un 443% en el de lechuga, como en la comparación anteriores se presentan características similares, representando un sobredimensionamiento del diseño del equipo.

3.5.2.9 Evaluación del equipo en el vehículo de transporte refrigerado. Este determina aspecto y características del producto final, dado a que es el inicio de la cadena de frío, además que es el más importante dado las condiciones ambientales y a las circunstancias determinadas por el factor tiempo de traslado del producto al ente comercializador. Para llevar a cabo esto, es necesario considerar las siguientes condiciones:

- Espesor de las paredes del furgón, este percibe el calor sensible entre la superficie del vehículo.
- Dimensiones internas del furgón, determina la cantidad de productos que se pueden almacenar en él y la carga térmica en relación al calor sensible dependiendo el área.
- Dispositivos de control del equipo de refrigeración.
- Las puertas son herméticas, determina la seguridad y si los productos almacenados dentro de este serán afectas por el aire que se puede llegar a infiltrar durante el trayecto.
- Medidores de temperatura en el habitáculo, que ayuda al operario a verificar y controlar las temperaturas idóneas para los productos almacenados.
- Sensores de nivel de combustible para la unidad de refrigeración.
- Cubierta de piso.

- Instrumentos de medición calibrados.
- Material del aislamiento, determina si es el adecuado para mantener una temperatura constante dentro del vehículo.
- Radiación solar, como afecta al producto almacenado dentro de esta; esto relacionado con la conductividad del material de la superficie del camión.
- Si se encuentran daños internos en el furgón que hagan que el interior tenga contacto con el ambiente exterior.
- Encendido eléctrico del motor.
- El furgón cuenta con un sistema de desagües de agua.
- Productos.
- Temperaturas de trabajo.
- Capacidad carga.

Los siguientes aspectos permiten comprender y determinar si el equipo es el idóneo para conservar y mantener y conservar los alimentos:

- El equipo es capaz mantener las temperaturas de trabajo cuando está con la carga máxima.
- Temperatura de conservación de la lechuga.
- Humedad relativa para la conservación de la lechuga.
- Temperatura de conservación de la papaya.
- Humedad relativa para la conservación de la papaya.

Cuadro 38. Evaluación de las características del equipo en el vehículo de transporte refrigerado.

1	Equipo Termoking MD-300					
	Condiciones	Datos técnicos	Datos del equipo evaluado	Diagnostico		Observación
				Cumple	No cumple	
INSTALACION	Espesor de las paredes del furgón	7.62 cm	8.89 cm	X		El espesor cumple con los requerimientos exigidos en normas de fabricación de furgones para carga refrigerada el cual nos dice que el mínimo espesor son 3" o 76.2 mm.
	Dimensiones internas del furgón	6.5 m a 7.5 m de largo, 3 m ancho, 3 m alto	5.85 m largo, 2.45 m ancho, 2.45 m alto	X		El equipo MD 300 logra abarcar unas dimensiones mayores que las encontradas en el vehículo de transporte refrigerado.
	Dispositivos de control del equipo de refrigeración	Panel de control	Panel de control	X		-
	Puertas herméticas	Si	Si	X		-
	Medidores de temperatura	Termocupla	Termocupla	X		-

Cuadro 38 (Continuación)

Sensores de nivel de combustible para la unidad de refrigeración	No	No		X	El equipo debe tener un sensor de combustible por que dado el caso que el carro se apague y la unidad siga prendida y se agote su reserva, esta unidad se apagara y el producto que está en el habitáculo cambiara su temperatura con el riesgo de que se dañe
Material del aislamiento	Poliuretano expandido, poliuretano placas, poliestireno extrusionado, fibra de vidrio y placas de corcho	Poliuretano expandido		X	-
Cubierta de piso	Aluminio corrugado antideslizante/extrudido o tipo "T", o similar	Aluminio en tipo T		X	-
Instrumentos de medición calibrados	Si	No		X	Falta de calibración en los equipos de medición estos pueden que no estén dando las medidas exactas.
Ubicación física del equipo de refrigeración	Uso interno y externo	En exterior		X	-

Cuadro 38 (Continuación)

El equipo está expuesto a iluminación solar	No debe de estar expuesto	Recibe rayos solares directos		X	Muchas de las tuberías por donde pasa el refrigerante están expuestas a los rayos solares lo cual hace que la temperatura que llevan estas cambie y por consiguiente el ciclo del refrigerante se altere y sea menos eficiente
Se encuentran daños internos en el furgón	No	No	X		-
Encendido eléctrico del motor	Si	Si		X	Se debe hacer mantenimiento ya que al prender la unidad mostraba fallas y en momento se apagaba
El furgón cuenta con un sistema de desagües de agua	Si	Si	X		-

Cuadro 38 (Continuación)

OPERACIÓN	Productos	Productos que para su conservación estén dentro del rango de las temperaturas de trabajo	Frutas, verduras, cárnicos, lácteos, vacunas, entre otros		X	El vehículo solo debe cargar un producto específico
	Temperaturas de trabajo	Desde -20°C hasta 35°C	Desde -20°C hasta 35°C	X		-
	Capacidad carga	4.8 ton	5 ton		X	Por la falta de control sobre estos vehículos, los transportadores abusan del peso que pueden llevar, en casos para ganar más dinero cargan media o una tonelada más de lo permitido para su vehículo
	El equipo es capaz mantener las temperaturas de trabajo cuando está con la carga máxima	Si	Si	X		-

Cuadro 38 (Continuación)

DESEMPEÑO	Temperatura de conservación de la lechuga	de 0°C a 1C	El equipo se programa al rango de temperaturas adecuadas para el producto	X		-
	Humedad relativa para la conservación de la lechuga	De 90% a 95%	85%		X	Al transportar tanta variedad de producto la humedad relativa varia y no es adecuada para todos ellos.
	Temperatura de conservación de la papaya	7°C hasta 10°C	El equipo se programa al rango de temperaturas adecuadas para el producto	X		-
	Humedad relativa para la conservación de la papaya	De 90% a 95%	85%		X	Al transportar tanta variedad de producto la humedad relativa varia y no es adecuada para todos ellos.
	En el furgón se carga solo lechuga	Según las normas el furgón solo debe estar destinado para trasportar un producto	Se cargan más de un solo productos como pueden ser otros vegetales y diferentes frutas		X	La lechuga no debe compartir ambientes con otros productos ya que se contaminan y pierde su calidad.

Cuadro 38 (Continuación)

	En el furgón se carga solo papaya	Según las normas el furgón solo debe estar destinado para trasportar un producto	Se cargan más de un solo productos como pueden ser otras frutas y diferentes hortalizas y vegetales		X	Al transportar papaya con otros productos esta es una fruta con un olor distintivo y puede impregnar y contaminar los demás productos que se encuentren en el mismo ambiente
--	-----------------------------------	--	---	--	---	--

Fuente: elaboración propia

3.5.3 Procesos y empaquetado. Esta sección está determinada por la serie de procesos que se realizan a los productos, el correcto empaquetado y alistamiento para su posterior comercialización bajo normas.

Este aspecto permite amortiguar la parte inferior de la superficie de la canastilla, con el fin de evitar golpes o magulladuras sobre las frutas o verduras. El siguiente cuadro se compararon ciertas condiciones, como:

- Ambiente controlado, se debe verificar y contemplar aspectos de humedad y temperatura.
- Si el habitáculo posee equipos que permitan la verificación de la temperatura.
- Determinar si el recinto cuenta con los equipos adecuados para la medición constante de la humedad.
- Verificar que cada una de las personas que posean cualquier tipo de contacto con cada uno de los productos posee los elementos de seguridad necesaria tanto de la persona como del producto.

Uno de los factores más importante a evaluar, es si estos son almacenados y empacados de la forma correcta con el fin de prolongar su vida mientras sea comercializados y permitir que cada uno de los elementos entregados al mercado posea la calidad necesaria para el consumo.

Cuadro 39. Evaluación del cuarto de procesos

Empaque y limpieza del producto para ser vendido al consumidor final					
Condiciones	Datos técnicos	Datos del proceso evaluado	Diagnóstico		Observación
			Cumple	No cumple	
Ambiente controlado	Si	No		X	El cuarto de proceso debe tener un ambiente controlado para cumplir con el proceso de cadena de frio
Cuenta con medidores de temperatura	Si	Si	X		-
Cuenta con medidores de humedad	Si	No		X	El cuarto de proceso debe tener sensores de humedad para verificar en tiempo real si la humedad que hay en el ambiente es la adecuada para los productos
Instrumento de medición de temperatura	Termocupla	Termocupla	X		-
Dispositivo de control de temperatura	Panel de control	Display para visualizar la temperatura		X	Al no tener un sistema de refrigeración el cuarto no cumple con los estándares requeridos para la cadena de frio
Los operarios se encuentran con la dotación adecuada	Si	Si	X		-
Se cumple con las normas de empaquetado y embalaje	Si	Si	X		-

Fuente: elaboración propia

3.5.4 Sistemas de refrigeración comercial. Los equipos utilizados en una segunda instancia, después de que lleguen a la central de abastos en vehículos con cargas expuestas al ambiente, los productos son organizados para realizar el empaqueo o cambios de empaques y en algunos casos se almacenan en espacios no regulados, ya que las centrales de abastos son las encargadas de realizar la distribución y comercialización inmediata.

Una vez los productos frutas y hortalizas salen de la central de abastos son dirigidos a los grandes centros de distribución como lo son cadenas de supermercado entre otras organizaciones, en donde el proceso de refrigeración es latente durante el resto de partes directas involucradas para procesamiento y venta de los correspondientes productos adquiridos.

3.5.5 Almacenamiento en cámaras de refrigeración. Las cámaras de refrigeración son los equipos encargados del almacenamiento de productos mientras están en espera para su exhibición al cliente.

Las cámaras de refrigeración son cuartos o bodegas de tamaño variado, esto depende de la cantidad de productos que se manejen y almacenen. Se debe realizar una buena distribución dentro del cuarto para asegurar el correcto flujo de aire a todas las secciones del lugar, es preciso utilizar estibas o plataformas para los productos en el suelo y cuando es un lugar de gran dimensión emplear racks para la organización de las cajas o canastas de los productos.

Imagen 39. Cámara de refrigeración o cuarto frío.



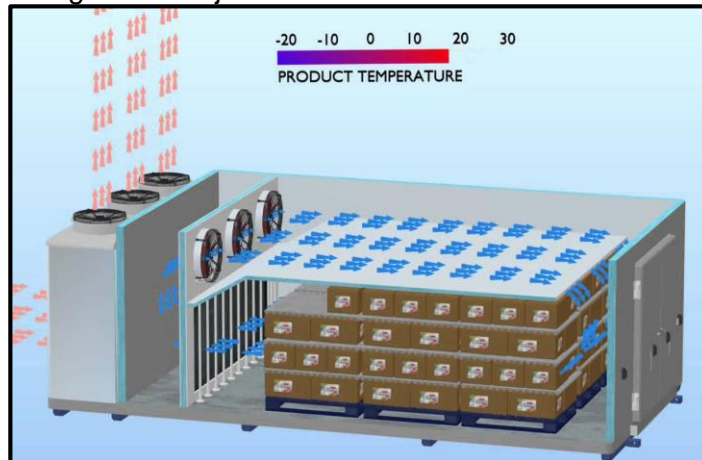
Fuente: QUIMOBÁSICOS. "Cámara de refrigeración" [Figura]. Disponible en: <https://blogquimobasicos.com/2016/06/06/labores-de-mantenimiento-en-camaras-de-refrigeracion/>

Imagen 40. Espacio interno de un cuarto frío.



Fuente: CAMACHO. "Cámaras frigoríficas" [Figura]. Disponible en: <http://www.camacho.cat/camaras-frigorificas/>

Imagen 41. Flujo de aire cámara de frío



Fuente: YOUTUBE. "Túnel de congelación" [Figura].
Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=T8ZxLI-CfAk>

Como se muestra en la imagen anterior (Imagen 41), el sistema de refrigeración realiza un intercambio de aire, en el cual se retira el calor mediante la circulación de aire a temperatura baja sobre todo el área. La extracción de aire se lleva a cabo mediante ventiladores de hélice, puesto que estos son altamente eficientes para

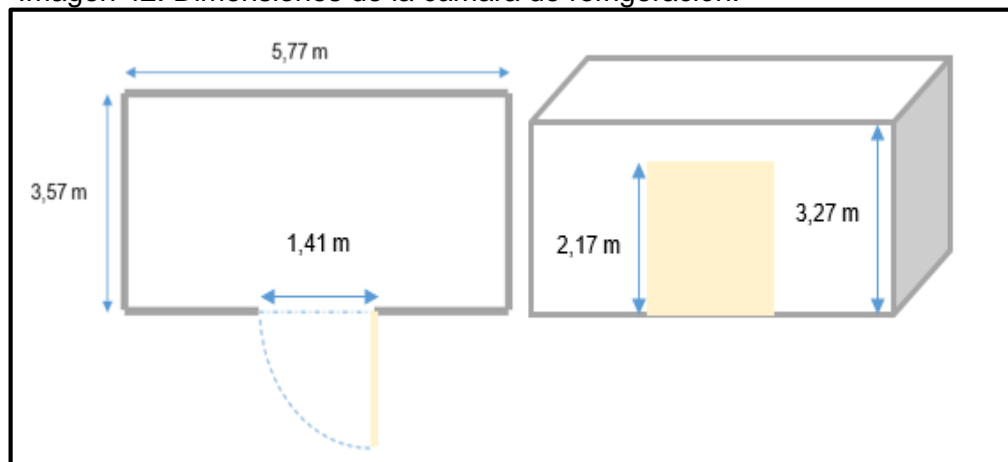
este proceso, pero sobre todo porque necesitan menor potencia en relación a otros tipos de ventiladores como los ventiladores centrífugos¹⁰².

En el almacén donde se realizaron las mediciones había un sistema compacto de refrigeración, que se opera con 4 compresores en serie, una unidad de condensado conectada a todo el sistema de refrigeración del almacén; que mediante la conexión de tuberías es posible que el refrigerante llegue al evaporador de cada equipo dentro del supermercado. Se realiza la medición a una cámara de refrigeración donde se almacenan algunas frutas y verduras, que posteriormente se exhiben para la venta. El sistema opera con refrigerante R22.

3.5.5.1 Cálculo de cargas térmicas en el cuarto frío. Este equipo denota una importancia en la cadena de frío porque resulta importante tener a disposición los productos en buenas condiciones durante la comercialización. De esta manera se relacionan los cálculos.

- Carga de Transmisión: Las dimensiones de la cámara de refrigeración se muestran en la siguiente imagen:

Imagen 42. Dimensiones de la cámara de refrigeración.



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta las dimensiones, se obtuvo el área que comprende cada pared que compone la superficie total de la cámara de frío, estas superficies son:

¹⁰² COLMAC COIL. NELSON Bruce. Una exitosa refrigeración depende de un buen flujo de aire [En línea]. s.l.: COLMAC COIL. [Citado: 2018-07-14]. Disponible: <http://www.colmaccoil.com/media/30716/successfulrefrigerationdependsongoodairflowspanish.pdf>

Tabla 8. Dimensiones y superficie cámara de frío.

Dimensiones	Alto [m]	Largo [m]	Superficie [m²]
Pared Norte	3.27	5.77	18.867
Pared Este	3.27	3.57	11.673
Pared Sur	3.27	5.77	18.867
Pared Oeste	3.27	3.57	11.673
Techo	3.57	5.77	20.598

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta los valores correspondientes a la superficie de cada pared, es necesario utilizar el valor de R, el cual es el coeficiente de transferencia de calor del material, teniendo en cuenta el tipo de aislamiento, espesor y densidad del material. En este caso la cámara de frío está fabricada con paredes internas de poliuretano con un espesor de 165 mm, al cual le corresponde un valor de R igual a 0.023 W/m°C; conociendo este valor se obtienen los siguientes valores de carga térmica por transmisión generado en cada superficie:

Tabla 9. Calor de transmisión de la cámara de frío.

Pared	Carga [W]	
Pared Norte	21.304	
Pared Este	13.181	
Pared Sur	21.304	
Pared Oeste	13.181	
Techo	23.258	
Total	92.227	W
Total	314.691	Btu/h

Fuente: elaboración propia

El calor total de transmisión entre las paredes, techo y suelo es de 0.092 kW.

El aislamiento en el suelo de las cámaras de frío es indispensable por los siguientes factores:

- Perdidas térmica.
- Resistencia a la humedad.
- Resistencia a cargas dinámicas y/o estáticas¹⁰³ en relación a la cantidad de peso almacenado en estas.

¹⁰³ ISOTERMIA. Aislamiento de suelos cámaras frigoríficas [En línea]. España: camarasfrigorificas.es. [Citado: 2018-07-11]. Disponible: <https://www.camarasfrigorificas.es/camaras-frigorificas/industriales/aislamiento-de-suelos/>

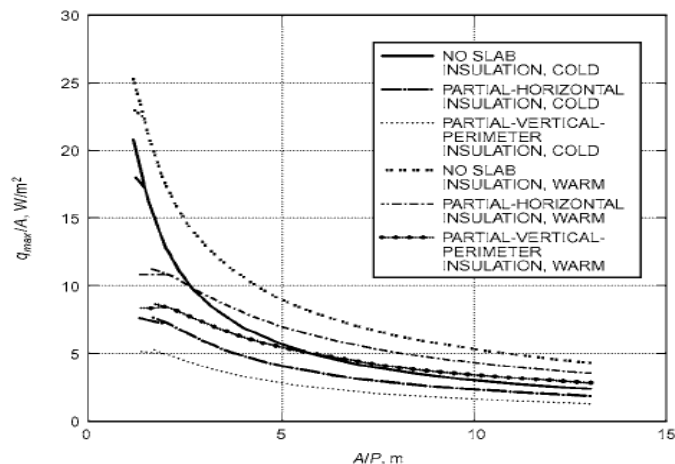
- Evitar formación de cristales de hielo en el suelo, generados por el ingreso de humedad mediante cualquier agente externo a la cámara y la diferencia de gradiente térmico generado entre estos¹⁰⁴. Este aspecto puede dar lugar a accidentes.

Las pérdidas térmicas por parte de un sistema de refrigeración no son significativas, pero al ser una cámara de frío compartida con diferentes productos la temperatura media se encuentra más cercana a una temperatura de congelación que de refrigeración, por lo tanto es indispensable el uso de un aislamiento con el fin de evitar las características anteriormente mencionadas.

El aislamiento de la cámara evaluada es parcial, es decir que estas son cámaras frigoríficas modulares, la estructura del suelo es ensamblada; el aislamiento consta de diferentes láminas pequeñas, dando lugar a espacios entre la unión de cada una de ellas generando filtraciones entre los límites del aislamiento térmico.

El cálculo comprende el calor máximo por unidad de área el cual se realiza por método gráfico, teniendo en cuenta el aislamiento y el largo del establecimiento que posee una extensión de 5.77m (18.93 ft), de se obtiene el siguiente valor:

Gráfica 1. Variación del calor en relación a la superficie¹⁰⁵.



Fuente:ASHRAE Chaper 24: Refrigerated-Facility Loads Figura 2. Heat Gain from Typical Electric Motors. En: Handbook-Refrigeration. S.I.: ASHREA, 2014. p.24, 7.

¹⁰⁴ ISOTERMIA. Aislamiento de suelos cámaras frigoríficas [En línea]. España: camarasfrigorificas.es. [Citado: 2018-07-11]. Disponible: <https://www.camarasfrigorificas.es/blog/aislamiento-de-suelo-en-camaras-frigorificas/>

¹⁰⁵ American Society of Heating, Refrigerating and A-C Engineers FND. Chaper 24: Refrigerated-Facility Loads Figura 2. Heat Gain from Typical Electric Motors. En: Handbook-Refrigeration. S.I.: ASHREA, 2014. p.24,7.

La anterior gráfica brinda un valor de q_{max}/A de 3.470 W/m^2 , con el fin de obtener solo el valor de q_{max} fue necesario multiplicar este valor obtenido por el área que equivale a 18.863 m^2 , lo que permite obtener la siguiente carga térmica en relación al suelo:

Cuadro 40. Resultado carga térmica del suelo

Q_{Suelo}	223.401	Btu/h
Q_{Suelo}	65.434	W

Fuente: elaboración propia

- Carga de Producto: Para este cálculo se tomaron productos y pesos de una carga normal. Este calor se divide en:
 - Calor que debe retirarse de los productos que se van a refrigerar.
 - Calor entregado al medio por parte de los productos.

La cantidad de calor que debe retirarse, con la ecuación (13), para que este llegue a la temperatura de la cámara de frío (6.9°C) es de:

Tabla 10. Calor retirado de los productos por la cámara de frío.

Producto	Masa [Kg]	Calor Específico [KJ/Kg* K]	Temperatura a1 [K]	Temperatura a2 [K]	ΔT [K]	Q [kJ]
Lechuga	88.44	4.02	283.15	280.05	3.1	1102.139
Apio	44.8	3.98	283.15	280.05	3.1	3
Espinaca	48	3.95	283.15	280.05	3.1	552.7424
Calabaza	45	3.88	283.15	280.05	3.1	587.76
Cebolla Larga	86	3.82	283.15	280.05	3.1	541.26
Champiñones	41.25	3.88	283.15	280.05	3.1	1018.412
Brócoli	20	3.85	283.15	280.05	3.1	496.155
Banano	32	3.35	283.15	280.05	3.1	238.7
Manzana	72	3.65	283.15	280.05	3.1	332.32
Pera	72	3.61	283.15	280.05	3.1	814.68
						Q_T 6489.920

Fuente: elaboración propia

Al realizar la suma de cada calor a retirar por cada producto se obtiene una carga térmica total de 6489.920 kJ.

Con el tiempo de ciclado que es alrededor de 30 min para llegar a la temperatura deseada, se genera una carga térmica de 3.605 kW (12305.515 Btu/h).

- Carga Interna: La cámara de frío posee diferentes cargas, dentro de las que se encuentran:

Cuadro 41. Cargas térmicas internas¹⁰⁶

Personas (2) a (6.9°C)	0.248 kW
Luces (4)	0.335 kW
Ventiladores (0.08hp)	0.126 kW

Fuente: ASHRAE Chaper 24: Refrigerated-Facility Loads Tabla 6. Heat Gain from Typical Electric Motors. En: Handbook-Refrigeration. S.I.: ASHREA, 2014. p.24,4.

- Carga relacionada al embalaje: Los productos están almacenados dentro de la cámara de frío por medio de canastillas plásticas y cajas de cartón, que tiene un calor específico de 0.38 Btu/Lb·°F para las canastillas plásticas y un valor de 0.3344 Btu/Lb·°F respectivamente. Aproximadamente se ingresan a la cámara 80 canastillas plásticas y 10 cajas de cartón, cada canastilla plástica posee un peso aproximado de 2.2 Kg mientras que las cajas de cartón 0.5 Kg, para un total de 181 Kg. Teniendo en cuenta estos valores el calor relacionado con el embalaje es de:

Cuadro 42. Resultado carga térmica por embalaje

q Total	1.871	Btu
q Total	0.548	W

Fuente: elaboración propia

- Carga de Infiltración: para la carga por infiltración se tienen en cuenta los siguientes parámetros¹⁰⁷, encontrados en el cuadro 43:

¹⁰⁶ American Society of Heating, Refrigerating and A-C Engineers FND. Chaper 24: Refrigerated-Facility Loads Tabla 6. Heat Gain from Typical Electric Motors. En: Handbook-Refrigeration. S.I.: ASHREA, 2014. p.24,4.

¹⁰⁷ American Society of Heating, Refrigerating and A-C Engineers FND. Chaper 24: Refrigerated-Facility Loads Tabla 6. Heat Gain from Typical Electric Motors. En: Handbook-Refrigeration. S.I.: ASHREA, 2014. p.24,7.

Cuadro 43. Valores para carga térmica por infiltración.

Parámetro	Datos
V	0.3048 m/s
A	3.0596 (m ²)
h_i^{108}	288.319 KJ/Kg
h_r^{109}	280.5588 KJ/Kg
ρ_r^{110}	1.2654 8 Kg/m ³
D_t	0.1669

Fuente: elaboración propia

Haciendo uso de la ecuación (20), se establecen los siguientes valores, del cuadro 44

Cuadro 44. Valores del factor tiempo

P	22
θ_p	35
θ_o	4
θ_d	1.6804
Factor	0.1669

Fuente: elaboración propia

Este valor corresponde al tiempo empleado en el cargue y descargue de los productos y de las transiciones a la nevera de autoservicio.

Teniendo en cuenta estos valores y haciendo uso de la ecuación (17) correspondiente para el cálculo, se obtiene un calor de infiltración de:

Cuadro 45. Carga térmica de infiltración

Qt	5211.763	Btu/h
Qt	1526.525	W

Fuente: elaboración propia

Con cada una de las cargas evaluadas anteriormente, se obtiene el siguiente valor de carga térmica total:

¹⁰⁸ CENGEL, Yunus. Tablas de propiedades, figuras y diagramas (Unidades Inglesas). En: Transferencia de calor y masa. 3 ed. México: McGraw-Hill/Interamericana, 2007. p. 794.

¹⁰⁹ CENGEL, Yunus. Tablas de propiedades, figuras y diagramas (Unidades Inglesas). En: Transferencia de calor y masa. 3 ed. México: McGraw-Hill/Interamericana, 2007. p. 794.

¹¹⁰ EUSKARA. Densidades de algunas sustancias a 1 atm (760mmHg) [En línea]. s.l.: EUS.EUS. [Citado: 2018-05-29]. Disponible: <https://www.ehu.eus/eu/web/guest/sitemap>

Tabla 11. Carga térmica total, Cámara de frío.

Carga	W	
Transmisión	92.227	
Suelo	65.434	
Producto	5408.267	
Interna	709.300	
Embalaje	0.548	
Infiltración	1526.525	
QTotal	7.802	Kw
QTotal	26622.561	Btu/h

Fuente: elaboración propia

Siguiendo la metodología utilizada en el anterior diagnóstico, se presentan los datos medidos a los que operaba el equipo para realizar los cálculos de potencia térmica y eficiencia energética.

Cuadro 46. Datos del sistema del cuarto frío

Componentes	Entrada		Salida	
	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]
Compresor	17.6	40	94.1	200
Condensador	79		31.6	
Mecanismo de Expansión	17.7		6.5	
Evaporador	5		7.6	

Fuente: elaboración propia

Los datos observados en el cuadro 46, son la información que brinda el sistema de cámara refrigerada. A continuación, se realiza el mismo procedimiento del equipo anterior y con ayuda de las tablas del refrigerante R22 se da información real del sistema.

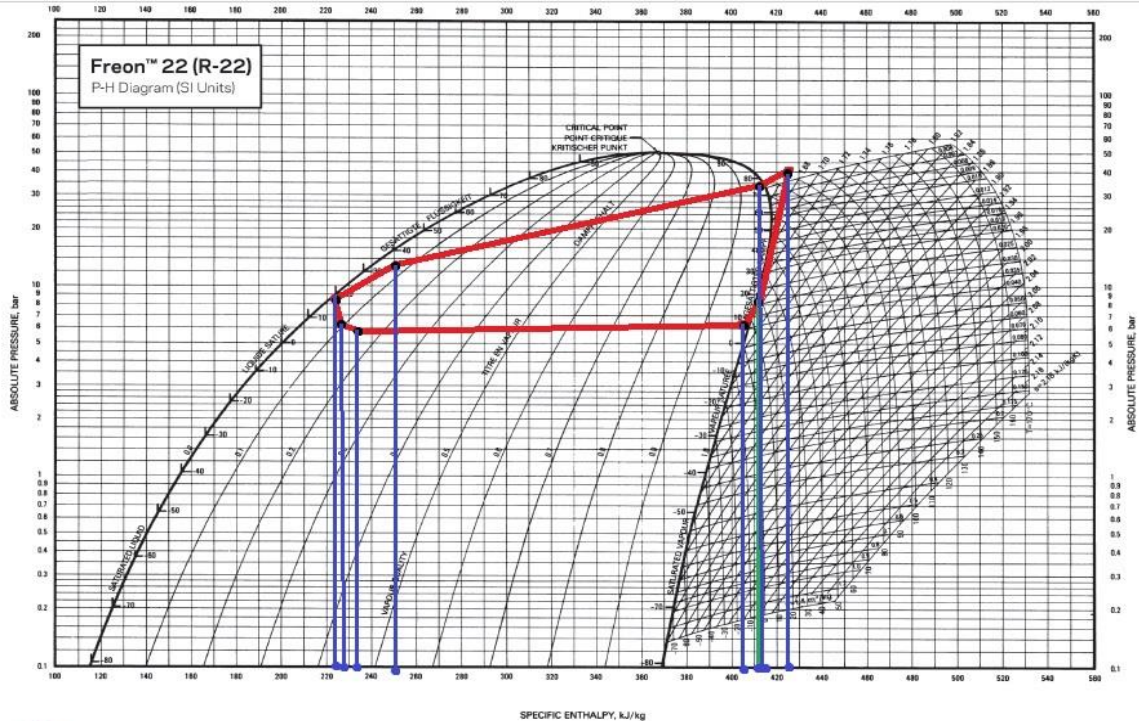
Cuadro 47. Datos reales del sistema del cuarto frio

Componentes	Entrada		Salida	
	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]
Compresor	17.6	122.17	94.1	655.17
Condensador	79	507.87	31.6	179.99
Mecanismo de Expansión	17.7	122.52	6.5	88.98
Evaporador	5	85.36	7.6	91.77

Fuente: elaboración propia

Observando los valores relacionados en el cuadro anterior que el equipo arroja mientras está operando, se procedió a realizar el diagrama de Mollier y de esta manera brindar un análisis de cómo se encuentra actualmente el equipo. Este grafico se realizó manualmente, fue editado para agregarle los puntos y las líneas que soportan los valores de las entalpias halladas.

Figura 7. Diagrama real de la Cámara de refrigeración¹¹¹.



Fuente: CHEMOURS. Thermodynamic Properties of Freon 22 (R-22). P-H Diagram [Gráfica]. Editado por los autores.

¹¹¹ THE CHEMOURS COMPANY FC, LCC. FREON. Mollier diagram of Freon 22. Estados Unidos: Chermours. p.1.

En el diagrama de Mollier realizado, se puede apreciar que el equipo tiene comportamientos no ideales. Se puede observar que en el área de la condensación existe una caída de presión, en el recorrido que existe de la salida del condensador hasta el mecanismo de expansión se aprecia una pérdida de energía que recae en el rendimiento del equipo.

Cuadro 48. Entalpías del sistema de la cámara de refrigeración

Componentes	Entalpías [KJ/kg]	Punto
Compresor	414	1
	425	2
Condensador	412	3
	252	4
Válvula de expansión	224	5
	226	6
Evaporador	237	7
	406	8

Fuente: valores encontrados por medio del diagrama de Mollier. elaboración propia

Por medio de la ecuación (1), se procede a realizar al cálculo del flujo másico

Cuadro 49. Flujo másico real del sistema de transporte

Flujo Másico	0.366	Kg/s
--------------	-------	------

Fuente: elaboración propia

Ahora con el flujo másico hallado, se calculan las capacidades térmicas que ofrece cada dispositivo por medio de las ecuaciones (2), (3), (4) y (5).

Cuadro 50. Capacidades térmicas del vehículo refrigerado.

Dispositivo	Capacidad [kW]
Compresor	0.508
Condensador	7.387
Expansión	0.092
Evaporador	7.802

Fuente: elaboración propia

Con el diagrama ya realizado, se observa el cuadro donde se encuentran las entalpías a las que el sistema está operando. Ahora se realiza el cálculo de la eficiencia energética haciendo uso las ecuaciones (6), (7) y (8).

Cuadro 51. Datos de eficiencia energética del sistema de la cámara de refrigeración

ER	169
COP	14.545
EER	332.793

Fuente: elaboración propia

Realizados los cálculos de la carga térmica, viendo la cantidad de energía que el equipo necesita extraer para cumplir con las operaciones de trabajo se pretende revisar el funcionamiento con los parámetros de eficiencia con la que el equipo está operando. A continuación, se indican los parámetros de entrada para realizar los siguientes cálculos, teniendo como guía la información recopilada durante el diagnóstico:

3.5.5.2 Cargas térmicas de cuarto frío. El cuarto de almacenamiento utilizado para el cálculo de las cargas térmicas tiene las siguientes condiciones.

Cuadro 52. Características y cargas térmicas cuarto de almacenamiento

Dimensiones	
Largo [m]	3.3
Ancho [m]	5.5
Alto [m]	3
Parámetros ambientales	
Temperatura [°C]	19
Humedad relativa [%]	55
Parámetros del proceso de papaya	
Temperatura [°C]	10
Humedad relativa [%]	85
Parámetros del proceso de lechuga	
Temperatura [°C]	2
Humedad relativa [%]	97

Fuente: elaboración propia

3.5.5.3 Carga térmica por transmisión. Las paredes del cuarto frío están fabricadas en poliuretano expandido; el cual tiene un valor de $(K=0.0245 \text{ W/m } ^\circ\text{C})$ y con las condiciones iniciales se conocen las diferencias de temperatura entre el medio ambiente y la zona refrigerada. Aplicando la ecuación (11), la carga por térmica por transmisión es:

Cuadro 53. Características paredes cuarto frío.

Zona	Espesor [m]	Área [m ²]	Q _{trans-papaya} [kW]	Q _{trans-lechuga} [kW]
Pared Norte	0.136	16.5	0.027	0.051
Pared Este	0.136	9.9	0.016	0.030
Pared Sur	0.136	16.5	0.027	0.051
Pared Oeste	0.136	9.9	0.016	0.030
Techo	0.136	18.15	0.029	0.056
Suelo	0.136	18.15	0.029	0.056

Fuente: elaboración propia

La carga térmica total por transmisión para la papaya es:

$$Q_{\text{trans}}=0.144 \text{ kW}$$

La carga térmica total por transmisión para la lechuga es:

$$Q_{\text{trans}}=0.273 \text{ kW}$$

3.5.5.4 Carga térmica por producto a refrigerar. Utilizando la ecuación (13) y con los parámetros encontrados en los cuadros 54 y cuadro 54 se procede a hallar la carga térmica por producto

Cuadro 54. Propiedades de la papaya

Papaya	
N° Canastillas	216
Peso por canastilla [Kg]	18
Peso Total [Kg]	3888
C _p [KJ/Kg °K]	3.88
ΔT [°K]	9
n [seg]	1800

Fuente: elaboración propia

La carga térmica de la papaya a refrigerar es;

$$Q_{\text{producto}}=75,427 \text{ kW}$$

Cuadro 55. Propiedades de la lechuga.

Lechuga	
N° Canastillas	216
Peso unidad [Kg]	0.3
Cantidad producto por canastilla	12
Peso por canastilla [Kg]	3.6
Peso Total [Kg]	777,6
C _p [kJ/Kg K]	4.02
ΔT [K]	17
n [s]	1800

Fuente: elaboración propia

La carga térmica de lechuga transportada es la siguiente:

$$Q_{\text{producto}} = 29.523 \text{ kW}$$

3.5.5.5 Carga térmica por embalaje. Para el cálculo de esta carga térmica las canastillas donde va el producto dentro del cuarto frío son de polipropileno con un calor específico¹¹² (C_p=1.8 KJ/Kg °k), además de esto para la papaya hay un material adicional que es una malla protectora para que el producto no se maltrate esta es de polietileno de alta densidad y cuenta con un calor específico¹¹³ de (C_p=1.9 KJ/Kg °k). Con la ecuación (14) se prosigue a la determinación de la carga térmica.

Cuadro 56. Parámetros para la lechuga y papaya.

Parámetros para lechuga y papaya		
N° Canastillas	216	UNID
Peso canastilla	2.35	Kg
M	507.6	Kg
C _p -canastilla	1.8	kJ/Kg K
N	1800	Sg
ΔT papaya	3	K
ΔT lechuga	2	K

Fuente: elaboración propia

¹¹² GOODFELLOW. Polipropileno (PP). Información sobre el material. [En línea]. s.l.:goodfellow.com. [Citado: 2018-08-06]. Disponible: <http://www.goodfellow.com/S/Polipropileno.html>

¹¹³ GOODFELLOW. Polietileno-Alta densidad (HDPE). Información sobre el material. [Citado: 2018-08-06]. Disponible: <http://www.goodfellow.com/S/Polietileno-Alta-Densidad.html>

Con los parámetros anteriores se calcula la carga térmica por embalaje para la lechuga.

$$Q_{\text{embalaje}}=1.175 \text{ kW}$$

Como se mencionó anteriormente la papaya tiene un material adicional que cubre el producto para que no se maltrate, para calcular la carga térmica por embalaje para la papaya se identifica que hay 2,5Kg de malla.

$$Q_{\text{embalaje}}=1.772 \text{ kW}$$

3.5.5.6 Carga térmica por aire. Utilizando la ecuación (15) y tomando los datos del cuadro 55, la carga térmica por aire para cada producto es;

Cuadro 57. Carga térmica por aire para la lechuga

Parámetros		
Volumen del espacio	54.45	m ³
Densidad	0.9	Kg/m ³
mAire	49.005	Kg
hAmbiente	44.19	kJ/Kg
hPapaya	32.1	kJ/Kg
hLechuga	16.75	kJ/Kg
Δh Papaya	12.09	kJ/Kg
Δh Lechuga	27.44	kJ/Kg

Fuente: elaboración propia

La carga térmica por aire para el transporte de papaya.

$$Q_{\text{Aire}}=0.329 \text{ kW}$$

La carga térmica por aire para el transporte de lechuga.

$$Q_{\text{Aire}}=0.747 \text{ kW}$$

3.5.5.7 Carga térmica por infiltración. Para realizar el cálculo de esta carga inicialmente se deben conocer las dimensiones de los accesos, en este caso solo se tiene una puerta de servicios.

Cuadro 58. Dimensiones puerta de servicio.

Dimensiones puerta de servicio		
Ancho	1.41	M
Alto	2.17	M

Fuente: elaboración propia

Luego de tener las medidas respectivas se procede a determinar los parámetros para hallar la carga térmica por infiltración;

Cuadro 59. Datos de entrada, carga térmica por infiltración.

Datos de entrada		
Área	3.060	m ²
Factor flujo de entrada	1.1	-
Eficiencia del dispositivo de entrada	0.95	-
Entalpia aire del ambiente	44.19	kJ/kg
Entalpia aire del habitáculo con papaya	32.1	kJ/kg
Entalpia aire del habitáculo con lechuga	16.75	kJ/kg
Densidad aire del ambiente	0.9	kg/m ³
Densidad del aire habitáculo con papaya	0.93	kg/m ³
Densidad del aire habitáculo con lechuga	0.96	kg/m ³
Gravedad	9.8	m/s ²
Altura de la entrada	2.17	m
Tiempo de abrir y cerrar la puerta	20	s
Tiempo de ciclado del equipo	1800	s
Tiempo que mantiene la puerta abierta	60	s
Número de entradas al cuarto de papaya	1	-
Número de entradas al cuarto de lechuga	1	-
Factor de tiempo de apertura de la entrada	0.044	-
Ganancia de calor promedio para un periodo en la papaya	5.945	kW
Ganancia de calor promedio para un periodo en la lechuga	18.328	kW

Fuente: elaboración propia

Dados los datos de entrada y aplicando la ecuación (17), la carga térmica por infiltración para el habitáculo con papaya es;

$$Q_{\text{infiltración}} = 0.015 \text{ kW}$$

La carga térmica por infiltración para el habitáculo con lechuga es;

$$Q_{\text{infiltración}}=0.045 \text{ kW}$$

3.5.5.8 Carga térmica total. La carga térmica total para el habitáculo del cuarto frío es;

Cuadro 60. Carga térmica total del cuarto frío.

Tipo de carga	Cuarto	
	Papaya [kW]	Lechuga [kW]
Carga térmica por transmisión	0.144	0.273
Carga térmica por producto	75.427	29.523
Carga térmica por embalaje	1.531	1.015
Carga térmica por aire	0.329	0.747
Carga térmica por infiltración	0.015	0.045
Carga térmica por humidificación	19.568	26.105
Carga térmica total	97.014	57.708

Fuente: elaboración propia

A la carga térmica total se le adiciona un porcentaje correspondiente a equipos auxiliares e iluminación este porcentaje esta entre 5% y 10%, como en este caso solo se encuentran elemento de iluminación se escoge el menos porcentaje (5%). Datos relacionados por la carga interna que recomienda el manual de ASHRAE.

La carga térmica total para el cuarto con papaya es;

$$Q_T=97.014\text{kW}$$

La carga térmica total para el cuarto con lechuga es;

$$Q_T=57.708\text{kW}$$

Calculo de potencias térmicas. Para realizar el cálculo de las potencias térmicas se tuvieron en cuenta las presiones de succión y descarga reales, esto con el fin de realizar un diagrama de Mollier ideal que mantuviera una relación entre los datos teóricos y reales del sistema.

Cuadro 61. Condiciones iniciales cálculo de potencias térmicas en el equipo de almacenamiento.

Refrigerante	R22
Presión succión [Kpa]	669.274
Presión de descarga [Kpa]	2526.239
Carga térmica total papaya [kW]	101.865
Carga térmica total lechuga [kW]	60.594

Fuente: elaboración propia

Teniendo las condiciones iniciales se procede a encontrar los valores de entalpias en cada uno de los puntos del ciclo del refrigerante.

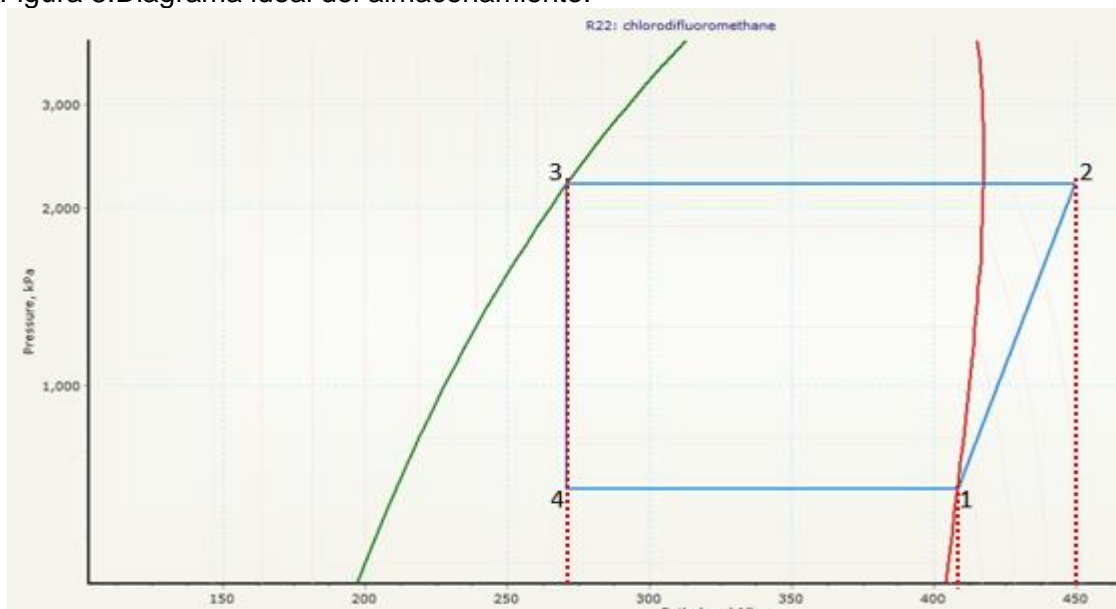
Cuadro 62. Datos ideales del refrigerante R22 en el almacenamiento.

Punto	Presión [Kpa]	Temperatura [°C]	entalpia [kJ/kg]
1	669.274	9.5	408.6
2	2526.239	96.8	454.4
3	2526.239	61.8	280.4
4	669.274	9.5	280.4

Fuente: elaboración propia

A continuación se relaciona el diagrama de mollier con los valores ideales en el cuadro anterior. El desarrollo fue mediante el software Mollier Chart.

Figura 8. Diagrama ideal del almacenamiento.



Fuente: MOLLIERCHART. Software: TechniSolve/MollierChart [Gráfica]. Editado por los autores.

El diagrama de Mollier anterior representa el funcionamiento ideal que el equipo encargado de la refrigeración en el almacenamiento debe tener, indicando las presiones, temperaturas y entalpías a las que el sistema opera

Con la ecuación (1) y los datos de anteriores se halla el flujo másico.

Cuadro 63. Flujo másico ideal equipo de almacenamiento.

Flujo másico en el habitáculo de la papaya	0.795	kg/s
Flujo másico en el habitáculo de la lechuga	0.473	kg/s

Fuente: elaboración propia

Al obtener los flujos másicos se procede a calcular las potencias térmicas de todos los elementos del equipo de transporte refrigerado.

Cuadro 64. Potencia térmica ideal de los elementos.

Equipo	Potencia térmica con papaya [kW]	Potencia térmica con lechuga [kW]
Compresor	36.392	21.647
Condensador	138.257	82.241
Válvula de Expansión	0	0
Evaporador	101.865	60.594

Fuente: elaboración propia

Con la información hallada anteriormente se calcula la eficiencia energética del sistema, por medio de las ecuaciones (6), (7) y (8).

Cuadro 65. Eficiencia energética ideal del sistema de almacenamiento.

ER	128.2
COP sistema con papaya	4.781
COP sistema con lechuga	1.617
EER sistema con papaya	3.523
EER sistema con lechuga	5.922

Fuente: elaboración propia

Culminando con los cálculos de cargas térmicas (datos reales) y los parámetros de diseño (datos ideales), se realizaron los cálculos de las eficiencias energéticas.

Con los resultados encontrados se procedió a verificar si el equipo evaluado es adecuado para el proceso que realiza, mediante una comparación de capacidad térmica, coeficiente de rendimiento y eficiencia energética. Esta información se verá reflejada en los cuadros 64, 65 y 66.

Cuadro 66.Comparativo capacidad del evaporador en el cuarto frio

	Capacidad ideal evaporador [kW]	Capacidad real evaporador [kW]	% Cumplimiento
Almacenamiento papaya	97.014	7.802	8.042
Almacenamiento lechuga	57.708		13.519

Fuente: elaboración propia

Como existe un equipo ideal para cada producto, se observa en la comparación que el equipo real cumple con la capacidad térmica del evaporador en el transporte de papaya en un 8.042%.

Se observa que la capacidad térmica del evaporador en la lechuga cumple a cabalidad con un porcentaje de 13.519%.

Cuadro 67.Comparativo eficiencia energética del refrigerante en el cuarto frio

	EER ideal	EER real	% Cumplimiento
Almacenamiento papaya	3.523	332.793	9446.295
Almacenamiento lechuga	5.922		5619.604

Fuente: elaboración propia

En el análisis de la eficiencia energética del refrigerante, se observa que el equipo de almacenamiento de papaya cumple en un 9446.295% y el de lechuga en 5619.604%, lo cual quiere decir que los equipos están sobre diseñado para la función que cumplen de refrigerar los productos, el equipo de almacenamiento evaluado presenta características para la congelación esto justifica los valores de los porcentajes hallados.

Cuadro 68.Comparativo de coeficiente de rendimiento en el cuarto frio

	COP ideal	COP real	% Cumplimiento
Almacenamiento papaya	4.781	169	3534.825
Almacenamiento lechuga	1.617		10451.453

Fuente: elaboración propia

3.5.5.9 Proceso de evaluación en el equipo del cuarto frio. Se establecen condiciones para evaluar teniendo en cuenta las características de almacenamiento, en relación a la vida útil del producto; con el fin de prolongarla y brindar al cliente un producto con las mejores características de calidad. Para llevar

a cabo esto, fue necesario considerar factores como instalación, desempeño y operación dadas las siguientes características del cuarto de frío:

- Espesor de las paredes del furgón, este comprende el calor sensible entre las paredes del establecimiento.
- Dimensiones habitáculo, comprende la cantidad de productos que se pueden almacenar en él y la carga térmica en relación al calor sensible dependiendo el área.
- Dispositivos de control del equipo de refrigeración.
- Las puertas son herméticas, determina la seguridad y si los productos almacenados dentro de este serán afectas por el aire que se puede llegar a infiltrar durante el cargue y descargue de los productos en relación al área de la puerta.
- Medidores de temperatura en el habitáculo, que ayuda al operario a verificar y controlar las temperaturas idóneas para los productos almacenados.
- Cuenta con medidores de humedad, el ambiente posee humedades diferentes a lo largo del día además de la humedad entregada al medio por parte de los elementos que contienen los productos. Siendo un factor importante a tener que verificar y corroborar en tiempo real.

Los siguientes aspectos son necesarios para que el almacenamiento sea el adecuado y concorde con los productos.

- Ubicación física.
- Equipos de medición calibrados.
- Material de las paredes del habitáculo, determina si es el adecuado para mantener una temperatura constante dentro del espacio.
- El equipo cuenta con sistema para expulsar el agua.
- Temperaturas de trabajo.
- Humedad.
- Capacidad carga.
- Requerimiento eléctrico.

Estas condiciones determinarán rangos y estipula parámetros condicionales de trabajo en relación a cada uno de los productos que serán almacenados dentro de la cámara de frío.

- El equipo es capaz mantener las temperaturas de trabajo cuando esta con la carga máxima.
- Temperatura de conservación de la lechuga.
- Humedad relativa para la conservación de la lechuga.
- Temperatura de conservación de la papaya.
- Humedad relativa para conservar la papaya.
- En el cuarto frío se almacena solo lechuga.
- En el cuarto frío se almacena solo papaya.

Cuadro 69. Evaluación de las características del equipo instalado en el cuarto frío.

2	Evaporador hispania modelo HED 3501 16 4N					
	Condiciones	Datos teóricos	Datos encontrados	Diagnóstico		Observación
				Cumple	No cumple	
INSTALACION	Espesor de la pared del habitáculo	13.6 cm	13.6 cm	X		-
	Dimensiones habitáculo	Las dimensiones del habitáculo son definidas por la necesidad que requiere	5.50 m ancho, 3.3 m fondo, 3 m alto	X		Hay que tener en cuenta que el evaporador que se utilice pueda dar el rango de enfriamiento para todos los productos que se van a almacenar
	Dispositivos de control del equipo de refrigeración	Panel de control	Panel de control	X		-
	Las puertas son herméticas	Si	No		X	Se necesita mantenimiento en las puertas ya que al cerrar por completo los sellos dejan un espacio mínimo por donde hay perdida
	Medidores de temperatura en el habitáculo	Termocupla	Termocupla	X		-

Cuadro 69. (Continuación)

	Cuenta con medidores de humedad	No	No		X	El cuarto frio debe tener sensores de humedad para verificar en tiempo real si la humedad que hay en el ambiente es la adecuada para los productos
	Material de las paredes del habitáculo	Fibra de vidrio, poliestireno, poliestireno expandido, poliuretano, corcho.	Poliuretano	X		-
	Equipos de medición de temperatura calibrados	Si	Si	X		-
	Ubicación física	Interna	Interna	X		-
	El equipo cuenta con sistema para expulsar el agua	Si	Si		X	Se necesita mantenimiento del sistema ya que se encuentra gran cantidad de agua sobre la tapa inferior del equipo
DESEMPEÑO	Productos	Productos que para su conservación estén dentro del rango de las temperaturas de trabajo	Frutas, verduras, lácteos, vacunas, entre otros		X	El cuarto frio solo debe mantener un producto especifico

Cuadro 69. (Continuación)

	Temperaturas de trabajo	de 0°C a 12°C	de 0°C a 12°C	X		-
	Humedad	Entre 75% y 95%	79.9 %	X		-
	Capacidad carga	6 ton	4 ton	X		-
	Requerimiento eléctrico	220 v	220 v	X		-
	El equipo es capaz mantener las temperaturas de trabajo cuando esta con la carga máxima	Si	Si	X		-
OPERACIÓN	Temperatura de conservación de la lechuga	De 0°C a 1°C	7°C		X	El equipo operaba en otra temperatura ya que no solo se almacena lechuga
	Humedad relativa para la conservación de la lechuga	De 90% a 95%	79.9 %		X	La humedad del cuarto es menor a la requerida por la lechuga
	Temperatura de conservación de la papaya	7°C hasta 10°C	7°C	X		-
	Humedad relativa para conservar la papaya	De 90% a 95%	79.9 %		X	La humedad del cuarto es menor que la requerida por la papaya

Cuadro 69 (Continuación)

	En el cuarto frio se guarda solo lechuga	No	No		X	Se almacenan otros tipos de vegetales y frutas unos empacados al vacío y otros expuestos al ambiente
	En el cuarto frio se guarda solo papaya	No	No		X	Se almacenan otros tipos de frutas y algunos vegetales unos empacados al vacío y otros expuestos al ambiente

Fuente: elaboración propia

3.5.6 Comercialización en refrigeradores tipo exhibidor. Estos equipos son los encargados de mantener la temperatura y un ambiente adecuado para los productos mientras son exhibidos al cliente.

Los exhibidores que comúnmente se utilizan para conservar la lechuga en las condiciones adecuadas para el consumo durante el periodo de comercialización son los denominados refrigeradores autoservicio y los refrigeradores verticales con puertas. Este es el contacto principal con el cliente, por lo que muchas organizaciones hacen uso de luces que ayudan a dos aspectos principales como:

1. Disminuir la degradación del producto, puesto que la luz que se encontró en el espectro de luz deber tener un rango ente 1000 y 1750 [lumen/m²]¹¹⁴.
2. Resalta el color natural del producto, destacando la calidad de ellos y haciendo que parezcan brillantes y frescas¹¹⁵.

Imagen 43. Iluminación frutas y verduras.



Fuente: Carrier. "Available LED light colors for Carrier remote cabinets"[Figura]. Disponible: <http://www.utcccs-cdn.com/hvac/docs/2000/Public/09/RM-MS-002-EN-0415.pdf>

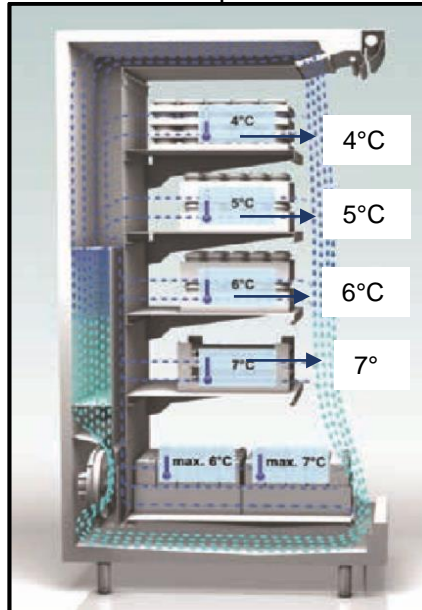
Para productos como las frutas y verduras se usan luces blancas con leves tonos amarillos, haciendo alusión a una tonalidad cálida.

En cuanto al sistema de flujo de aire frío, es eficiente en términos energéticos, debido a que posee un evaporador con ventiladores bajo características específicas que permiten aumentar el rendimiento de la nevera, además es indispensable recalcar que este flujo de aire brinda diferentes temperaturas entre cada uno de los anaqueles como se puede observar en la siguiente imagen:

¹¹⁴ CARRIER. Available LED light colors for Carrier remote cabinets [En línea].s.l.: utccs-cdn.com. [Citado: 2018-07-07]. Disponible: <http://www.utcccs-cdn.com/hvac/docs/2000/Public/09/RM-MS-002-EN-0415.pdf>

¹¹⁵ PHILIPS. Iluminación para frutas y verduras [En línea]. [Citado: 2018-07-07]. Disponible: <http://www.lighting.philips.es/sistemas/areas-de-sistema/tiendas-y-hosteleria/alimentacion-y-grandes-comercios/fruta-y-verduras>

Imagen 44. Variación de temperatura entre anaqueles



Fuente: Carrier. "TES optimises cooling efficiency" [Figura]. Disponible: <http://www.utccs-cdn.com/hvac/docs/2000/Public/OA/ML-MD-132-EN-1114.pdf>

Esta diferencia de temperaturas permite optimizar la vida útil del producto, puesto que brinda la capacidad de ubicar estratégicamente cada uno de los productos teniendo en cuenta las características físicas propias de cada fruta o verdura refrigerada de forma específica. Como se muestra en la imagen anterior esta nevera de autoservicio posee un rango de temperatura entre 4°C y 7°C, este no es un rango con una variabilidad grande pero esas diferencias de un grado centígrado permiten mejorar la eficiencia de refrigeración entre productos determinados.

Las diferencias de temperatura que se observan en la imagen anterior se deben a la distancia a la que se encuentra el evaporador de cada sección de la nevera ya que hay pérdida de temperatura a mayor distancia.

La siguiente imagen denota lo anteriormente mencionado en un lugar de abastecimiento, en el cual la nevera de autoservicio posee frutas y verduras de diferentes tipos.

Imagen 45. Equipo exhibidor autoservicio



Fuente: SERVINORDICO. "Fruver loft" [Figura]. Disponible en: <http://www.servinordico.com/productos/autoservicio>

Imagen 46. Lechuga exhibida en el equipo de autoservicio.



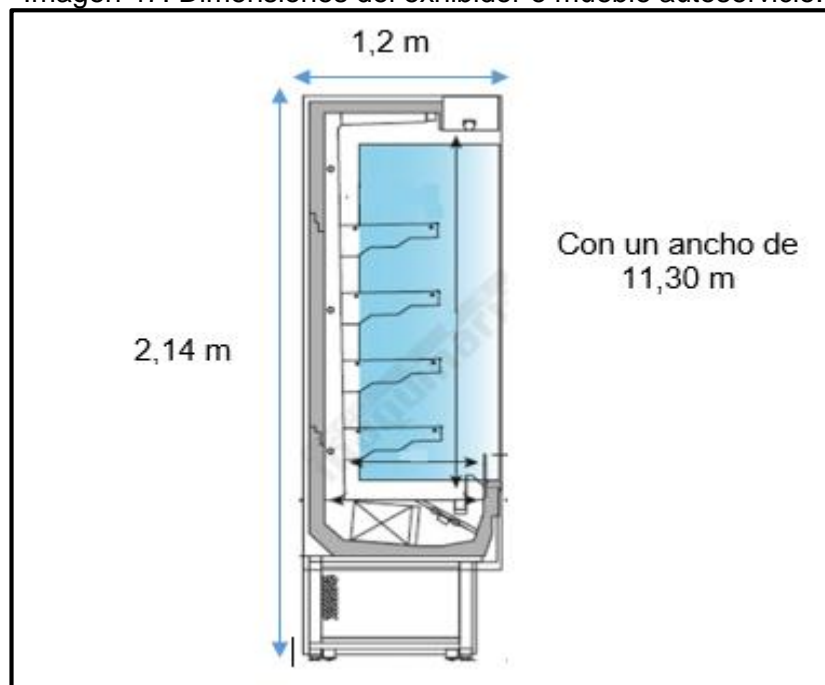
Fuente: elaboración propia

Se realizó una inspección sobre un refrigerador de autoservicio AMAD37203 de 11.3 metros de largo de la marca CARRIER, manejaba dos secciones una donde se encontraba solo verduras y otra con variedad de productos.

3.5.6.1 Calculo de cargas térmicas. Este equipo representa un factor importante para las entidades dedicadas a la comercialización y siguiendo con la investigación se relacionan las cargas térmicas calculadas.

- Carga de Transmisión: Las dimensiones que comprenden el exhibidor del autoservicio se muestran en la siguiente imagen:

Imagen 47. Dimensiones del exhibidor o mueble autoservicio.



Fuente: EXPOMAQUINARIA. EML12M2 (125 x 87cm) [Figura].
Disponible: <https://www.expomaquinaria.es/vitrinas-murales/3341-vitrina-yogures-eml12m2.html>

Teniendo en cuenta las dimensiones, se obtuvieron las áreas que comprende cada pared que compone la superficie total del mueble de autoservicio, estas son:

Tabla 12. Dimensiones y áreas del exhibidor de autoservicio.

Dimensiones	Alto [m]	Largo [m]	Áreas [m²]
Pared Norte	2.14	11.3	24.182
Pared Sur			
Expuesta	2.14	11.3	24.182
Pared Este			
Rectángulo	1.07	1.2	1.284
Trapezio	-	-	0.832
Rectángulo	0.35	1.4	0.49
Pared Este	-	-	2.606
Pared Oeste			
Rectángulo	1.07	1.2	1.284
Trapezio	-	-	0.832
Rectángulo	0.35	1.4	0.49
Pared Oeste	-	-	2.606
Pared Superior	1.4	11.3	15.82
Pared Inferior	1.2	11.3	13.56

Fuente: elaboración propia

Teniendo las áreas, es necesario utilizar el valor de R, el cual es el calor conductivo del material teniendo en cuenta el tipo de aislamiento, espesor y densidad del material. En este caso el exhibidor de autoservicio está compuesto en sus paredes internas de poliuretano con un espesor de 30 mm, al cual le corresponde un valor de R igual a 0.023 W/m°C. Esto es posible gracias a la ecuación (11).

Tabla 13. Calor de transmisión exhibidor de autoservicio.

Pared	Carga [W]	
Pared Norte	31.542	
Pared Este	3.399	
Pared Sur	31.542	
Pared Oeste	3.399	
Pared Superior	20.635	
Pared Inferior	17.687	
Total	0.108	[kW]
Total	0.369	[Btu/h]

Fuente: elaboración propia

De esta manera se observa que la carga térmica por transmisión es de 0.108 kW.

- Carga de Producto: Para este cálculo se tuvo en cuenta los pesos de cada producto visto en el exhibidor inspeccionado. Este calor se divide en:
 - Calor que debe retirarse de los productos que se van a refrigerar.
 - Calor entregado al medio por parte de los productos.

La cantidad de calor que debe retirarse para que este llegue a la temperatura del exhibidor de autoservicio (7.4°C), por medio de la ecuación (13)

Tabla 14. Calor retirado por el exhibidor de autoservicio.

Producto	Calor					
	Masa[Kg]	Específico [kJ/Kg*K]	Temperatura 1 [K]	Temperatura 2 [K]	ΔT [K]	Q [KJ]
Champiños	40	3.88	283.15	280.55	2.6	403.52
Cebolla Larga	30	3.82	283.15	280.55	2.6	297.96
Espárragos	18	3.95	283.15	280.55	2.6	184.86
Ajo	10	2.88	283.15	280.55	2.6	74.88
Maíz	15	3.31	283.15	280.55	2.6	129.09
Arveja	15	3.31	283.15	280.55	2.6	129.09
Frijol	15	1.2	283.15	280.55	2.6	46.8
Espinaca	22	3.95	283.15	280.55	2.6	225.94
Calabacín	72	3.88	283.15	280.55	2.6	726.336
Berenjena	36	3.95	283.15	280.55	2.6	369.72
Habichuela	40	3.82	283.15	280.55	2.6	397.28
Pepino	30	4.05	283.15	280.55	2.6	315.9
Tomate	160	3.95	283.15	280.55	2.6	1643.2
Papa Criolla	70	3.55	283.15	280.55	2.6	646.1
Zanahoria	90	3.78	283.15	280.55	2.6	884.52
Remolacha	90	3.78	283.15	280.55	2.6	884.52
Lechuga	48	4.02	283.15	280.55	2.6	501.696
Brócoli	12	3.35	283.15	280.55	2.6	104.52
Apio	35	3.98	283.15	280.55	2.6	362.18
Coliflor	6	3.92	283.15	280.55	2.6	61.152
					Q_T	
					evaporador	8389.264

Fuente: elaboración propia

Al realizar la suma de cada calor a retirar se obtiene una carga térmica total de 8389.264 kJ, con un tiempo de ciclado de 30 min para establecerse la temperatura de la nevera de autoservicio (7.4 °C), de esta manera se genera una carga térmica de 0.0046607Kw (15902.97 Btu/h).

- Carga Interna: En el exhibidor de autoservicio se encuentra la siguiente carga interna:

Cuadro 70. Valores para carga térmica interna

Luz (9)	1292 kW
---------	---------

Fuente: datos sacados de ASRHAE

- Carga de Infiltración: En esta parte se tiene en cuenta la ecuación (17) y los valores se relacionan a continuación:

Cuadro 71. Valores para carga térmica por infiltración.

Parámetro	Datos
A	24.1820 m ²
h_i^{116}	283.2972 kJ/kg
h_r^{117}	280.6902 kJ/kg
ρ_i	1.2499 kg/m ³
ρ_r^{118}	1.2788 kg/m ³
G	9.8m/ s ²
H	2.14 m
Fm	0.997

Fuente: elaboración propia

- Factor de densidad (Fm), el cual se calcula con la ecuación (21):

Cuadro 72. Valores para factor densidad

Parámetro	Datos
ρ_i	1.2499 kg/m ³
ρ_r^{119}	1.2499 kg/m ³
Fm	0.997

Fuente: elaboración propia

¹¹⁶ CENGEL, Yunus. Tablas de propiedades, figuras y diagramas (Unidades Inglesas). En: Transferencia de calor y masa. 3 ed. México: McGraw-Hill/Interamericana, 2007. p. 794.

¹¹⁷ CENGEL, Yunus. Tablas de propiedades, figuras y diagramas (Unidades Inglesas). En: Transferencia de calor y masa. 3 ed. México: McGraw-Hill/Interamericana, 2007. p. 794.

¹¹⁸ EUSKARA. Densidades de algunas sustancias a 1 atm (760mmHg) [En línea]. s.l.: EUS.EUS. [Citado: 2018-05-29]. Disponible: <https://www.ehu.es/eu/web/guest/sitemap>

¹¹⁹ EUSKARA. Densidades de algunas sustancias a 1 atm (760mmHg) [En línea]. s.l.: EUS.EUS. [Citado: 2018-05-29]. Disponible: <https://www.ehu.es/eu/web/guest/sitemap>

Teniendo en cuenta estos valores y haciendo uso de la ecuación (17), se obtiene un calor de infiltración de:

Cuadro 73. Resultado carga térmica por infiltración

Q	27834.84	Btu/h
Q	8152.824	W

Fuente: elaboración propia

Con cada una de las cargas evaluadas anteriormente, se obtiene el siguiente valor total:

Tabla 15. Carga térmica total, exhibidor de autoservicio.

Carga	W	
Transmisión	165.359	
Producto	4660.702	
Interna	1292	
Embalaje	0	
Infiltración	8152.824	
Total	14.106	kW
Total	48130.42	Btu/h

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 74. Datos del sistema de refrigeración autoservicio

Componentes	Entrada		Salida	
	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]
Compresor	17.6	40	94.1	200
Condensador	79		31.6	
Mecanismo de Expansión	11.6		5.6	
Evaporador	2.4		5.2	

Fuente: elaboración propia

En el cuadro anterior, se observa la información real que el sistema de exhibidor refrigerado. A continuación, se da la información real del sistema mediante las tablas del refrigerante R22.

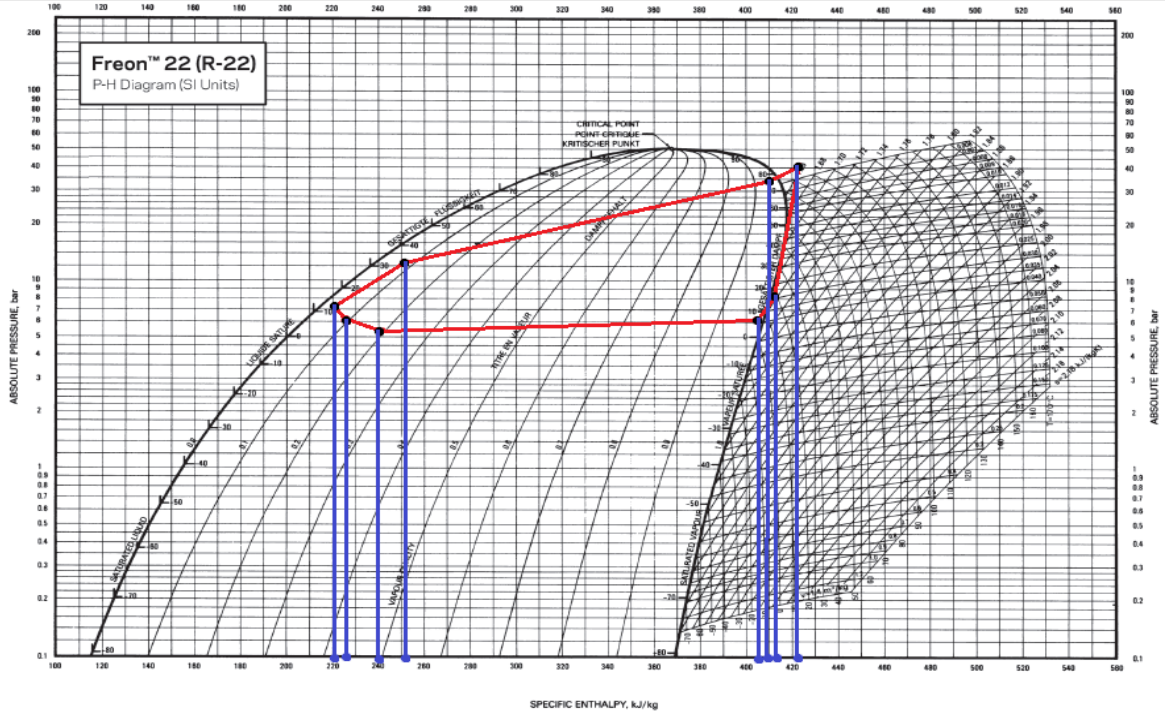
Cuadro 75. Datos del sistema de refrigeración autoservicio real

Componentes	Entrada		Salida	
	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]
Compresor	17.6	122.17	94.1	655.17
Condensador	79	507.87	31.6	179.99
Mecanismo de Expansión	11.6	102.84	5.6	86.78
Evaporador	2.4	79.55	5.2	85.83

Fuente: elaboración propia

Observando los valores relacionados en el cuadro anterior que el equipo arroja mientras está operando, se procedió a realizar el diagrama de Mollier y de esta manera brindar un análisis de cómo se encuentra actualmente el equipo. Este grafico se realizó manualmente, fue editado para agregarle los puntos y las líneas que soportan los valores de las entalpías halladas.

Figura 9. Diagrama real del refrigerador exhibidor¹²⁰.



Fuente: CHEMOURS. Thermodynamic Properties of Freon 22 (R-22). P-H Diagram [Gráfica]. Editado por los autores.

¹²⁰ THE CHEMOURS COMPANY FC, LCC. FREON. Mollier diagram of Freon 22. Estados Unidos: Chermours. p.1.

En el diagrama de Mollier realizado, se puede apreciar que el equipo tiene comportamientos no ideales. Se puede observar que en el área de la condensación existe una caída de presión, en el recorrido que existe de la salida del condensador hasta el mecanismo de expansión se aprecia una pérdida de energía que recae en el rendimiento del equipo.

Cuadro 76. Entalpías del sistema de autoservicio

Componentes	Entalpías [KJ/kg]	Punto
Compresor	411	1
	425	2
Condensador	410	3
	251	4
Válvula de expansión	221	5
	223	6
Evaporador	242	7
	403	8

Fuente: valores encontrados por medio del diagrama de Mollier. Los autores

Mediante la ecuación (1), se calculó el flujo másico para facilitar los siguientes procedimientos.

Cuadro 77. Flujo másico real del sistema de autoservicio

Flujo Másico	0.089	Kg/s
--------------	-------	------

Fuente: elaboración propia

Dando uso a las ecuaciones (2), (3), (4) y (5), se facilita hallar los datos para las capacidades térmicas relacionadas a continuación.

Cuadro 78. Capacidades térmicas de autoservicio

Dispositivo	Capacidad [kW]
Compresor	1.227
Condensador	13.931
Expansión	0.175
Evaporador	14.106

Fuente: elaboración propia

Ya bien sabiendo las capacidades térmicas, se prosiguió con las eficiencias energéticas que mediante las ecuaciones (6), (7) y (8) fue posible hallar los siguientes valores.

Cuadro 79. Datos de eficiencia energética del sistema de autoservicio

ER	161
COP	11.357
EER	131.256

Fuente: elaboración propia

3.5.6.2 Comercialización. La nevera auto servicio utilizada para el cálculo de las cargas térmicas tiene las siguientes condiciones.

Cuadro 80. Características y propiedades de la nevera de autoservicio

Dimensiones	
Largo [m]	0.995
Ancho [m]	3.55
Alto [m]	1.92
Parámetros ambientales	
Temperatura [°C]	19
Humedad relativa [%]	55
Parámetros del proceso de papaya	
Temperatura [°C]	10
Humedad relativa [%]	85
Parámetros del proceso de lechuga	
Temperatura [°C]	2
Humedad relativa [%]	97

Fuente: elaboración propia

3.5.6.3 Carga térmica por transmisión. Como se sabe que las paredes, sur, techo y suelo de la nevera auto servicio están compuestas por poliuretano expandido el cual tiene un valor promedio de ($K=0.0245 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$) y las paredes norte este y oeste están fabricadas en vidrio ($K=0.6 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$); con las condiciones iniciales se conocen las diferencias de temperatura entre el medio ambiente y la zona refrigerada. Aplicando la ecuación (11), la carga por térmica por transmisión es:

Cuadro 81. Carga térmica por transmisión, nevera de autoservicio

Zona	Espesor [m]	Área [m ²]	Q _{trans-papaya} [kW]	Q _{trans-lechuga} [kW]
Pared Norte	0.01	6.82	3.681	6.952
Pared Este	0.01	1.91	1.032	1.949
Pared Sur	0.01	6.82	0.150	0.284
Pared Oeste	0.01	1.91	1.032	1.949
Techo	0.01	3.53	0.078	0.147
Suelo	0.01	3.53	0.078	0.147

Fuente: elaboración propia

La carga térmica total por transmisión para la papaya es:

$$Q_{\text{trans}} = 6.050 \text{ kW}$$

La carga térmica total por transmisión para la lechuga es:

$$Q_{\text{trans}} = 11.428 \text{ kW}$$

3.5.6.4 Carga térmica por producto a refrigerar. Para el cálculo de la carga térmica se hace un estimado de las canastillas que puede alojar una nevera autoservicio. Utilizando la ecuación (13) y con los parámetros encontrados en los cuadros 81 y 82 se procede a hallar la carga térmica por producto;

Cuadro 82. Carga térmica papaya

Papaya	
N° Canastillas	35
Peso por canastilla [Kg]	18
Peso Total [Kg]	630
C _p [KJ/Kg K]	3,88
ΔT [K]	9
n [s]	1800

Fuente: elaboración propia

La carga térmica de la papaya a refrigerar es:

$$Q_{\text{producto}} = 12.222 \text{ kW}$$

Cuadro 83. Carga térmica lechuga.

Lechuga	
N° Canastillas	35
Peso unidad [Kg]	0.3
Cantidad producto por canastilla	12
Peso por canastilla [Kg]	3.6
Peso Total [Kg]	126
C _p [kJ/Kg K]	4.02
ΔT [K]	17
n [s]	1800

Fuente: elaboración propia

La carga térmica de lechuga transportada es la siguiente:

$$Q_{\text{producto}} = 4.784 \text{ kW}$$

3.5.6.5 Carga térmica por embalaje. Como es una nevera autoservicio donde se exhibe el producto, este no está dentro de un empaque ni tiene ningún material protector.

La carga térmica por embalaje para la exhibición de papaya y lechuga es;

$$Q_{\text{embalaje}} = 0 \text{ kW}$$

3.5.6.6 Carga térmica por aire. Utilizando la ecuación (15) y tomando los datos del cuadro 83, la carga térmica por aire para cada producto es;

Cuadro 84. Carga térmica por producto, nevera de autoservicio

Parámetros		
Volumen del espacio	6.78	m ³
Densidad	0.9	Kg/m ³
m _{Aire}	6.104	Kg
h _{Ambiente}	44.19	kJ/Kg
h _{Papaya}	32.1	kJ/Kg
h _{Lechuga}	16.75	kJ/Kg
Δh _{Papaya}	12.09	kJ/Kg
Δh _{Lechuga}	27.44	kJ/Kg

Fuente: elaboración propia

La carga térmica por aire para el transporte de papaya.

$$Q_{\text{Aire}}=0.041 \text{ kW}$$

La carga térmica por aire para el transporte de lechuga.

$$Q_{\text{Aire}}=0.093 \text{ kW}$$

3.5.6.7 Carga térmica total. La carga térmica total para la nevera auto servicio es;

Cuadro 85. Carga térmica total de la nevera autoservicio.

Tipo de carga	Habitáculo	
	Papaya [kW]	Lechuga [kW]
Carga térmica por transmisión	6.05	11.428
Carga térmica por producto	12.222	4.784
Carga térmica por embalaje	0	0
Carga térmica por aire	0.041	0.093
Carga térmica por humidificación	19.568	26.105
Carga térmica total	37.881	42.410

Fuente: elaboración propia

A la carga térmica total se le adiciona un porcentaje correspondiente a equipos auxiliares e iluminación este porcentaje esta entre 5% y 10%, como en este caso solo se encuentran elemento de iluminación se escoge el menos porcentaje (5%). Datos relacionados por la carga interna que recomienda el manual de ASHRAE.

La carga térmica total para el cuarto con papaya es;

$$Q_T=39.776 \text{ kW}$$

La carga térmica total para el cuarto con lechuga es;

$$Q_T=44.531 \text{ kW}$$

Para realizar el cálculo de las potencias térmicas se tuvieron en cuenta las presiones de succión y descarga reales, esto con el fin de realizar un diagrama de Mollier ideal que mantuviera una relación entre los datos teóricos y reales del sistema.

Cuadro 86. Condiciones iniciales cálculo de potencias térmicas en el equipo de comercialización.

Refrigerante	R22
Presión succión [Kpa]	645.211
Presión de descarga [Kpa]	2492.455
Carga térmica total papaya [kW]	39.776
Carga térmica total lechuga [kW]	44.531

Fuente: elaboración propia

Teniendo las condiciones iniciales se procede a encontrar los valores de entalpías en cada uno de los puntos del ciclo del refrigerante.

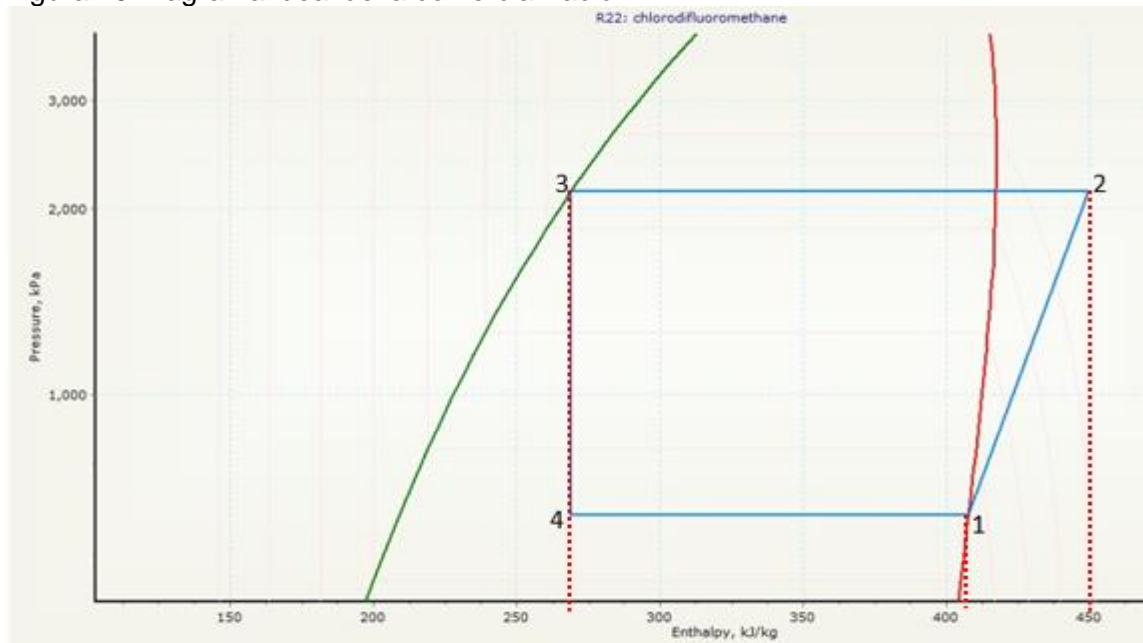
Cuadro 87. Datos ideales del refrigerante R22 en la comercialización.

Punto	Presión [Kpa]	Temperatura [°C]	Entalpia [kJ/Kg]
1	645.211	8.3	408.1
2	2492.455	96.9	454.8
3	2492.455	58.7	279.1
4	645.211	8.2	279.1

Fuente: elaboración propia

A continuación se relaciona el diagrama de mollier con los valores ideales en el cuadro anterior. El desarrollo fue mediante el software Mollier Chart.

Figura 10. Diagrama ideal de la comercialización.



Fuente: MOLLIERCHART. Software: TechniSolve/MollierChart [Gráfica]. Editado por los autores.

El diagrama de Mollier anterior representa el funcionamiento ideal que el equipo debe tener indicando las presiones, temperaturas y entalpías a las que el sistema opera.

Con la ecuación (1) y los datos de anteriores se halla el flujo másico.

Cuadro 88. Flujo másico ideal equipo de comercialización.

Flujo másico en el habitáculo de la papaya	0.308	Kg/sg
Flujo másico en el habitáculo de la lechuga	0.345	Kg/sg

Fuente: elaboración propia

Al obtener los flujos másicos se procede a calcular las potencias térmicas de todos los elementos del equipo de transporte refrigerado, por medio de las ecuaciones (2), (3), (4) y (5).

Cuadro 89. Potencia térmica ideal de los elementos.

Equipo	Potencia térmica con papaya [kW]	Potencia térmica con lechuga [kW]
Compresor	14.399	16.121
Condensador	54.175	60.652
Válvula de Expansión	0	0
Evaporador	39.776	44.531

Fuente: elaboración propia

Con la información hallada anterior mente se calcula la eficiencia energética del sistema.

Cuadro 90. Eficiencia energética ideal del sistema de transporte.

ER	129
COP sistema con papaya	12.202
COP sistema con lechuga	10.899
EER sistema con papaya	8.959
EER sistema con lechuga	8.002

Fuente: elaboración propia

Culminando con los cálculos de cargas térmicas (datos reales) y los parámetros de diseño (datos ideales), se realizaron los cálculos de las eficiencias energéticas.

Con los resultados encontrados se procedió a verificar si el equipo evaluado es adecuado para el proceso que realiza, mediante una comparación de capacidad térmica, coeficiente de rendimiento y eficiencia energética. Esta información se encuentra reflejada en los cuadros 91, 92 y 93.

Cuadro 91.Comparativo capacidad evaporador en nevera autoservicio

	Capacidad ideal evaporador [kW]	Capacidad real evaporador [kW]	% Cumplimiento
Comercialización papaya	37.881	14.106	37.237
Comercialización lechuga	42.410		33.261

Fuente: elaboración propia

Como existe un equipo ideal para cada producto, se observa en la comparación que el equipo real cumple con la capacidad térmica del evaporador en la comercialización de papaya en un 37.273% y en la comercialización de lechuga en un 33.261%

Cuadro 92.Comparativo eficiencia energética refrigerante en nevera autoservicio

	EER ideal	EER real	% cumplimiento
Comercialización papaya	8.959	131.256	1465.074
Comercialización lechuga	8.002		1640.289

Fuente: elaboración propia

En el análisis de la eficiencia energética del refrigerante, se observa que el equipo de comercialización en papaya cumple en un 1465.074% y el de lechuga en 1640.289%, lo cual quiere decir que el equipo presenta sobre diseño en la eficiencia para refrigerar los productos, ya que es aproximadamente 16 veces más grande la capacidad que puede suplir.

Cuadro 93.Comparativo de coeficiente de rendimiento en nevera autoservicio

	COP ideal	COP real	% cumplimiento
Comercialización papaya	12.202	11.357	93.075
Comercialización lechuga	10.899		104.203

Fuente: elaboración propia

Se observa que el coeficiente de rendimiento real, cumple en un 93.075% para el equipo de comercialización en papa y un 104.203% en el de lechuga, como en la comparación anterior se presentan características similares, representando un desempeño energético eficiente con respecto a lo ideal.

3.5.6.8 Proceso de evaluación nevera autoservicio. Para permitir la conservación de los productos almacenados en la nevera de autoservicio, esta debe cumplir las siguientes condiciones:

Características de la nevera:

- Dimensiones del equipo.
- Dispositivos de control del equipo de refrigeración, el factor más importante sobre el que se debe tener control es la temperatura.
- Este debe tener un elemento de medición de temperatura sencillo pero eficiente que permita corroborar la temperatura de este.
- Material de la nevera, determinara la eficiencia del sistema de refrigeración.
- Equipos de medición de temperatura calibrados, mediante análisis metrológicos para brindar seguridad.
- Puesto que la adquisición del producto está determinada por un buen aspecto, es necesario tener una buena iluminación que brinde al consumidor mejor visibilidad sobre el producto exhibido.
- Un sistema de expulsión de agua es importante, con el fin de no generar inconvenientes o accidentes por agua derramada sobre el suelo.
- Existen características del producto que se deben considerar antes de que este sea almacenado en la nevera de autoservicio.

Existen características del producto que se deben considerar antes de que este sea almacenado en la nevera de autoservicio como lo son:

- Temperaturas de manejo y conservación tanto de la lechuga como de la papaya.
- Humedad relativa para ambos productos.

Cuadro 94. Evaluación de las características del equipo de comercialización nevera de autoservicio

3	Nevera autoservicio Carrier modelo AMAD37203					
	Condiciones	Datos teóricos	Datos encontrados	Diagnóstico		Observación
				Cumple	No cumple	
INSTALACION	Dimensiones del equipo	2.14 m de alto, 3.75 m de ancho y 1.45 m de profundo	2.14 m de alto, 11.25 m de ancho y 1.45 m de profundo	X		La variación de ancho en la nevera se debe a que estas pueden ensamblarse con otras y en este caso había 3 acopladas
	Dispositivos de control del equipo de refrigeración	Panel de control	Panel de control	X		-
	Medidores de temperatura en el equipo	Termocupla	Termocupla	X		-
	Cuenta con medidores de humedad	No	No		X	La nevera autoservicio debe tener sensores de humedad para verificar en tiempo real si la humedad que hay en el espacio de los productos es la adecuada para ellos.
	Material de la nevera	Acero inoxidable, plástico, aluminio, vidrio	Acero inoxidable, plástico, aluminio, vidrio	X		-
	Equipos de medición de temperatura calibrados	Si	Si	X		-

Cuadro 94. (Continuación)

	El equipo cuenta con iluminación	Si	Si	X		-
	El equipo cuenta con sistema para expulsar el agua	Si	Si	X		-
DESEMPEÑO	Productos	Productos que para su conservación estén dentro del rango de las temperaturas de trabajo	Frutas, verduras, lácteos, entre otros		X	La nevera autoservicio solo debe mantener un producto específico o varios productos que estén envasados al vacío
	Temperaturas de trabajo	De 0°C a 12°C	De 0°C a 12°C	X		-
	Capacidad carga	1000 kg	854 kg	X		-
	Requerimiento eléctrico	220 v	220 v	X		-
	El equipo es capaz mantener las temperaturas de trabajo cuando esta con la carga máxima	Si	Si	X		-
	Temperatura de conservación de la lechuga	De 0°C a 1°C	6.5°C		X	Al ser 3 neveras acopladas y con diversidad de productos la temperatura no puede ser 0°C ya que podría dañar la calidad de otro producto

Cuadro 94 (Continuación)

OPERACIÓN	Humedad relativa para la conservación de la lechuga	De 90% a 95%	72.8%		X	El control de la humedad relativa en esta nevera es complicado ya que al ser autoservicio todos sus productos tienen contacto con el ambiente exterior
	Temperatura de conservación de la papaya	7°C hasta 10°C	7.2°C	X		-
	Humedad relativa para conservar la papaya	de 90% a 95%	68%		X	El control de la humedad relativa en esta nevera es complicado ya que al ser autoservicio todos sus productos tienen contacto con el ambiente exterior
	En la nevera autoservicio se exhibe solo lechuga	No	No		X	Se exhibe otros tipos de vegetales y frutas unos empacados al vacío y otros expuestos al ambiente
	En la nevera autoservicio se exhibe solo papaya	No	No		X	Se exhibe otros tipos de frutas y algunos vegetales unos empacados al vacío y otros expuestos al ambiente

Fuente: elaboración propia

4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Actualmente es importante tener conciencia del factor ambiental, ya que está marcando una tendencia en cuanto a la preservación del mundo. El tema del calentamiento global, la cantidad excesiva en que la humanidad genera desechos y contaminación hacia el entorno, han ocasionado un impacto ambiental sobre los diferentes ecosistemas cercanos a los sectores de afectación; como plazas de mercado, supermercados y tiendas de barrio.

La evaluación tiene como finalidad comprender cada una de las partes del proceso productivo, con la principal intención y propósito de identificar, evaluar y detallar el entorno medio ambiental afectado por cada una de las actividades que comprenden la cadena de frío en la producción de frutas y verduras. Para esto es indispensable realizar una evaluación de impacto ambiental que incorpore precisión¹²¹, eficiencia y eficacia, sobre cada una de las falencias medio ambientales que se puedan determinar a través del proceso, para ello se selecciona una matriz de impacto que genera una correlación causa-efecto del proyecto sobre el medio.

4.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La metodología que se utilizó es dada por Vicente Conesa FDEZ, en el libro: Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental; los pasos para realizar dicha evaluación son¹²²:

I. Definir todas las acciones previstas del proyecto (acciones del proyecto susceptibles de causar impactos) y agruparlas en fases temporales (fases de preparación del terreno, ejecución o construcción, funcionamiento y abandono).

II. Identificar los factores ambientales susceptibles de ser impactados por las acciones del proyecto: aspectos físicos/químicos, biológicos, culturales y socio económicos.

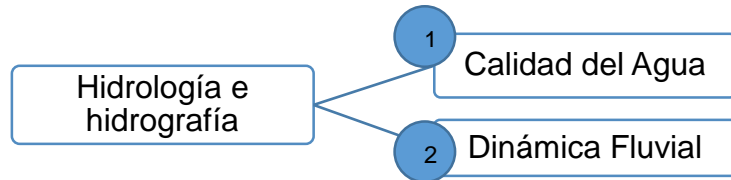
Para este caso se evalúan 9 aspectos, que comprenden 6 ítems específicos, los cuales son:

A: Hidrología e hidrografía: En esta parte se ve reflejada el agua necesaria para limpieza y otras actividades mínimas dentro del proceso, junto con la dinámica fluvial

¹²¹ CONESA FERNANDEZ, Vicente, et al. . Principios en que se basa la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y su ámbito de aplicación. En: Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 4 ed. Madrid, Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa, 2010. p. 146-147.

¹²² CONESA FERNANDEZ, Vicente, et al. . Principios en que se basa la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y su ámbito de aplicación. En: Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 4 ed. Madrid, Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa, 2010. p. 162.

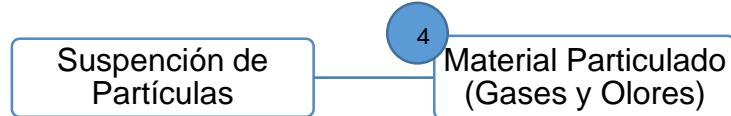
que genera mínimas afecciones sobre el relieve terrestre; dadas algunas superficies donde se cultiva y en otros casos por el transporte de las materias primas y el producto final.



B: Paisaje: Indica cómo se verá principalmente afectado por las condiciones de transporte de la materia prima, dadas las condiciones viales.



C: Suspensión de partículas: Se refiere a las características propias de la materia prima ya sea frutas o verduras, ciertos olores generados en la parte de empackado dadas las características del plástico utilizado, pero las más relevantes en este caso serán las emisiones generadas por los camiones de transporte.



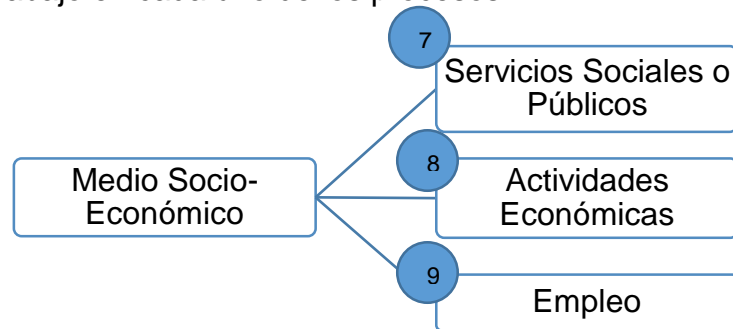
D: Ruido: Esta característica se ve representada por los equipos y camiones utilizados en el proceso productivo.



E: Ecosistema: La integridad de este se verá afectada, debido a los químicos utilizados para ayudar en el proceso de crecimiento tanto de las verduras como de las frutas.



F: Medio-Socioeconómico: Evaluación con el fin de determinar la energía necesaria por cada equipo, el agua necesaria en cada una de las partes del proceso. Además, se tendrá en cuenta como se ven afectadas las actividades económicas entorno a las frutas y verduras, pero sobre todo permitirá comprender cuales son las oportunidades de trabajo en cada uno de los procesos.



III. Realizar una matriz cualitativa que relacione las acciones del proyecto susceptibles a causar impacto contra los factores ambientales susceptibles de ser impactados.

IV. Establecer el diseño de clasificación y valoración de los impactos (números, letras, colores, cualidades, etc.).

En esta etapa se miden los siguientes elementos¹²³:

- Intensidad (I).
- Extensión (EX).
- Momento (MO).
- Persistencia o Duración. (PE).
- Reversibilidad (RV).
- Sinergia (SI).
- Acumulación (AC).
- Efecto (EF).
- Periodicidad (PR).
- Recuperabilidad (MC).

Estos elementos se relacionan de tal forma que comprenden concordancia espacio-tiempo sobre cada uno de los elementos, característica y procesos ambientales susceptibles, precisando de tal forma las afecciones positivas o negativas, si estas

¹²³ CONESA FERNANDEZ, Vicente, et al. . Principios en que se basa la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y su ámbito de aplicación. En: Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 4 ed. Madrid, Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa, 2010. p. 236-254.

son reversibles o irreversibles¹²⁴ y lo más importante determinar la frecuencia con que estos se presentan sobre cada una de las partes que conforman el proceso de cadena de frío en la producción de frutas y verduras, determinando así si el proceso o la acción realizada que posee efectos irrelevantes, moderados, severos o críticos en su interacción con el medio ambientes.

Cuadro 95. Calificación en relación al análisis cuantitativo del impacto ambiental.

Valor	Análisis
<25	Irrelevante
≥ 25; <50	Moderado
≥50; <75	Severo
≥75.	Crítico

FUENTE: Hidroar S.A. Metodología para el para el cálculo de las matrices ambientales [En línea]. Argentina: Chubut Gobierno. [Citado: 2018-05-09]. Disponible: http://www.chubut.gov.ar/portal/wp-organismos/ambiente/wp-content/uploads/sites/8/2014/08/1_Metodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf. p. 3.

V. Teniendo en cuenta la forma de calificación, se realiza una matriz cuantitativa; que dará a conocer el efecto que tiene cada uno de los procesos sobre cada factor ambiental que se ve afectado.

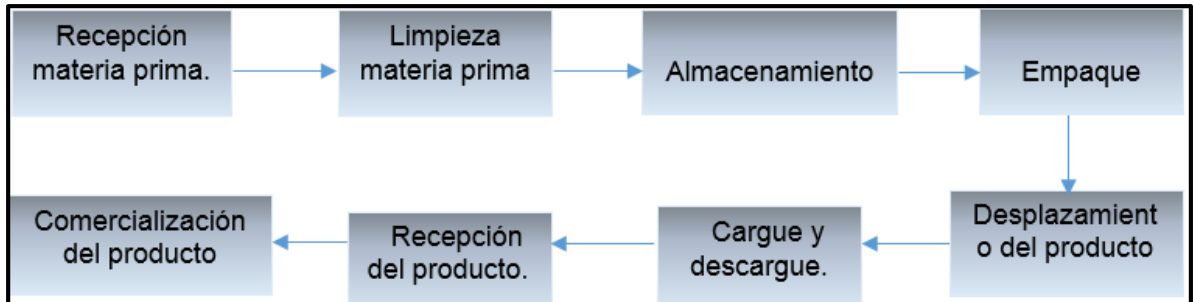
VI. Exponer de forma descriptiva cada uno de los impactos, así como los resultados globales que se desprenden de la matriz (acciones más impactantes, factores con mayor índice de impactos, entre otros.).

4.2 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PROCESOS.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores que desencadenan una reacción causa-efecto, se comprenderá las partes esenciales del proceso, como se muestra a continuación en la Figura 11:

¹²⁴ CONESA FERNANDEZ, Vicente, et al. . Principios en que se basa la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y su ámbito de aplicación. En: Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 4 ed. Madrid, Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa, 2010. p. 236.

Figura 11. Diagrama de bloques del proceso cadena de frío en la producción de frutas y verduras.



Fuente: Los autores.

Comprendiendo cada uno de los elementos, características y procesos ambientales susceptibles a ser afectados, sumados junto con el proceso se puede establecer la primera matriz de reconocimiento.

Cuadro 96. Matriz de reconocimiento del impacto ambiental.

		Elementos, Características y Procesos Ambientales Susceptibles a ser Afectados								
		Hidrología e hidrografía	Paisaje	Suspensión de Partículas	Ruido	Ecosistema	Medio Socio-Económico			
Proceso	Actividad	Calidad del Agua	Dinámica Fluvial	Calidad Paisajística	Material Particulado (Gases y Olores)	Calidad Sonora	Fitocenosis	Servicios Sociales o Públicos		Empleo
Materia Prima	Recepción materia prima	x	x	x	X	x	x	x	x	x
	Limpieza materia prima	x	x	x	X	x		x	x	x
	Almacenamiento				X	x		x	x	x
	Empaque				X	x		x	x	x
Transporte	Desplazamiento del producto			x	X	x			x	x
	Cargue y descargue del producto			x	X	x			x	x
Comercialización	Recepción del producto					x		x	x	x
	Comercialización del producto					x		x	x	x
	Adquisición del producto							x	x	

Fuente: elaboración propia

Al cuantificar el Cuadro 96, se obtiene la siguiente matriz de evaluación:

Cuadro 97. Matriz de evaluación

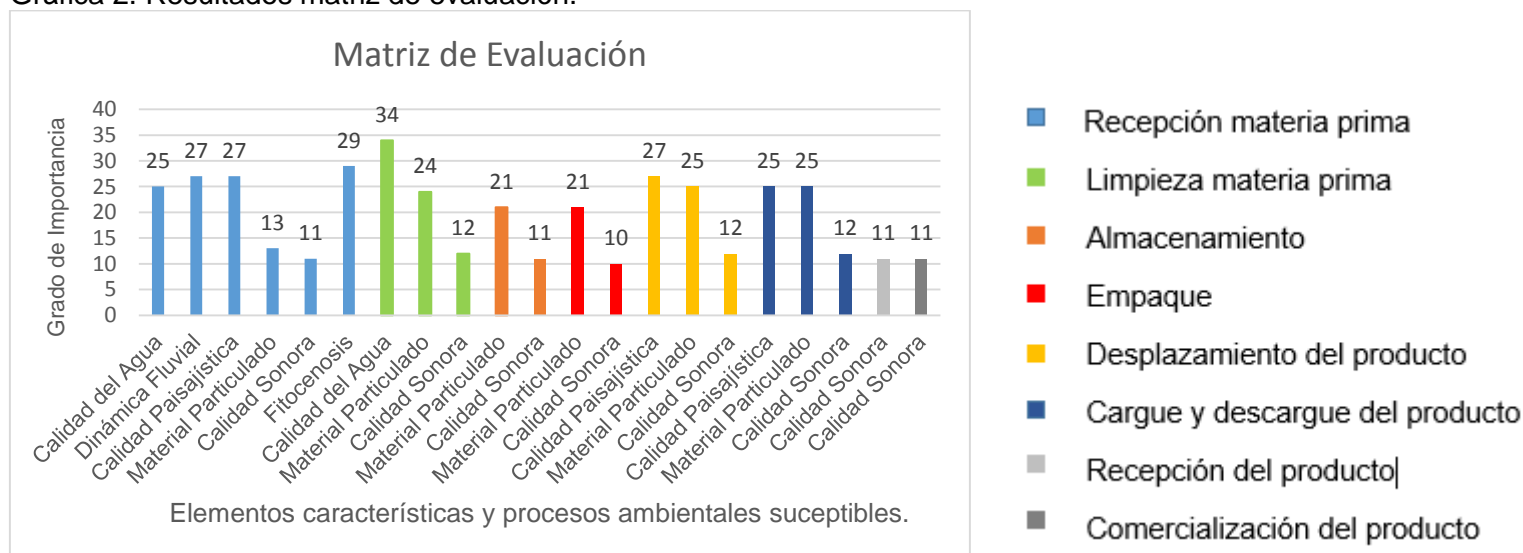
Proceso	Actividad	Elementos, características y procesos ambientales susceptibles a ser afectados.	Características del efecto producido										IMPORTANCIA	ANÁLISIS TOTAL
			I	E	M	P	R	S	A	E	P	M		
Materia Prima	Recepción materia prima	Calidad del Agua	4	4	2	2	2	2	1	4	2	2	25	Moderado
		Dinámica Fluvial	2	4	4	2	2	4	1	4	2	2	27	Moderado
		Calidad Paisajística	2	4	4	2	2	4	1	4	2	2	27	Moderado
		Material Particulado	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	13	Irrelevante
		Calidad Sonora	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	11	Irrelevante
		Fitocenosis	4	4	4	4	2	2	1	4	2	2	29	Moderado
	Limpieza materia prima	Calidad del Agua	7	4	4	4	2	4	1	4	2	2	34	Moderado
		Material Particulado	4	2	4	1	2	2	1	4	2	2	24	Irrelevante
		Calidad Sonora	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	12	Irrelevante
	Almacenamiento	Material Particulado	2	1	1	4	2	2	1	4	2	2	21	Irrelevante
		Calidad Sonora	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	Irrelevante
	Empaque	Material Particulado	2	1	1	4	2	2	1	4	2	2	21	Irrelevante
Calidad Sonora		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Irrelevante	
Transporte	Desplazamiento del producto	Calidad Paisajística	4	4	2	2	2	4	1	4	2	2	27	Moderado
		Material Particulado	4	4	2	2	2	2	1	4	2	2	25	Moderado

Cuadro 97 (Continuación).

	Cargue y descargue del producto	Calidad Sonora	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	12	Irrelevante
		Calidad Paisajística	4	4	2	2	2	2	1	4	2	2	25	Moderado
		Material Particulado	4	4	2	2	2	2	1	4	2	2	25	Moderado
		Calidad Sonora	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	12	Irrelevante
Comercialización	Recepción del producto	Calidad Sonora	1	1	2	1	1	1	1	1	1	11	Irrelevante	
	Comercialización del producto	Calidad Sonora	1	1	2	1	1	1	1	1	1	11	Irrelevante	

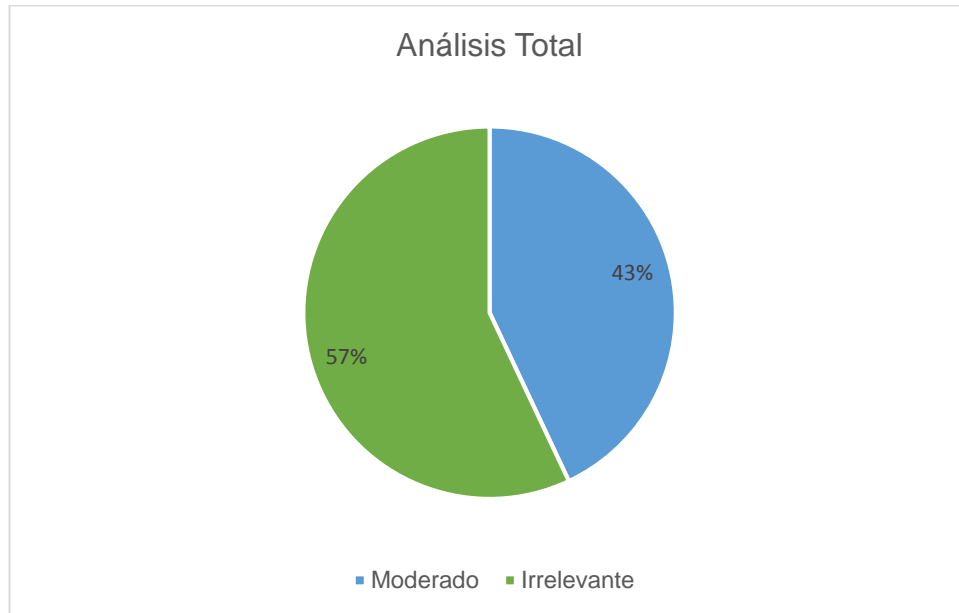
Fuente: elaboración propia

Gráfica 2. Resultados matriz de evaluación.



Fuente: elaboración propia

Gráfica 3. Análisis total de la matriz de evaluación.



Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica anterior que representa la media ponderada entre todos los aspectos evaluados, se identificó que el 43% de los elementos evaluados se encuentran en un rango Moderado, mientras que el porcentaje restante 57% se encuentra dentro de un rango Irrelevante. Cabe recalcar que el 43% se ve altamente afectado por la parte hídrica e hidrográfica junto con la fitocenosis, puesto que el agua utilizada para la limpieza tanto de las frutas como de las verduras, se ve afectada por agentes químicos que permiten la limpieza de estas. Además, es importante resaltar, que ninguno de los valores obtenidos dentro de la matriz de evaluación se encuentra dentro del umbral de los valores para ser considerado un efecto severo o crítico, permitiendo así poder desarrollar planes de acción teniendo en cuenta la periodicidad de cada una de las actividades y convertir ese 43% considerado como una afección moderada en una irrelevante.

4.3 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS EQUIPOS

Es importante evaluar las afecciones generadas por parte de los equipos relevantes involucrados dentro del proceso; puesto que, permite comprender cada uno de los factores involucrados de forma directa e indirecta con los impactos ambientales generados por cada uno de estos equipos. Es necesario evaluar cada uno de estos, dado que el proceso que conlleva refrigerar, posee aspectos medio-ambientales importantes a evaluar; el más relevante en este caso es la capa de ozono.

La capa de ozono es la parte con mayor afección dada los componentes necesarios para una adecuada refrigeración, en donde se genera una reacción en cadena en torno a ella; dado a que, gran cantidad de estos productos al ser gases llegan a la estratosfera generando disminuciones en la capa de ozono, que a grandes escalas y teniendo en cuenta la relación de equipos con las mismas características dan lugar a tener menor protección de los rayos ultravioletas, generando así afectaciones en la vida de los seres vivos¹²⁵.

Se analiza los equipos con el fin de identificar los procesos ambientales susceptibles a ser afectados que comprenden todo el entorno medio-ambiental. En este caso en específico se evaluarán 7 aspectos, que comprenden 5 ítems en específico, los cuales son:

A: Atmósfera: Esta parte comprende la calidad del aire dado los gases que afectan la estratosfera, es decir la capa de ozono y los gases efecto invernadero como reacción a esto.

B: Paisaje: Este se observó principalmente afectado por las condiciones de transporte de la materia prima, dadas las condiciones viales, es por esto que se evaluara el aspecto de la calidad paisajística.

C: Suspensión de partículas: Estas fueron generadas por características propias de la materia prima ya sea frutas o verduras que pueden contener pequeñas o grandes porciones de tierra, pero las más relevantes en este caso serán las emisiones generadas por los camiones de transporte, evaluando así el material particulado, ya sean gases u olores.

D: Ruido: Esta característica se ve representada por los equipos y camiones utilizados en el proceso productivo, comprendiendo su calidad sonora en relación a los decibeles de sonido de cada uno de ellos.

F: Medio-Socioeconómico: Este se evalúa con el fin de determinar la energía necesaria para mantener la refrigeración adecuada y las oportunidades de empleo dadas las necesidades de control de los equipos. Este elemento comprende Servicios sociales y públicos, actividades económicas y empleo.

Teniendo en cuenta estos aspectos, elementos, característica y procesos ambientales susceptibles, es necesaria la descripción de los equipos, como se muestra a continuación:

¹²⁵ DUQUE GUZMÁN, Lina Marcela. Impacto ambiental de los refrigerantes ecológicos. Colombia, Medellín: El cuaderno- Escuela de ciencias estratégicas, 2008.

A: Transporte: Este se lleva a cabo, mediante el equipo Thermoking MD 300; dado que posee las características idóneas para el proceso. Este utiliza un refrigerante R-404A, siendo este un refrigerante con alto impacto sobre la atmósfera al estar compuesto por hidrofluorocarbonados.

B: Cámara de frío/ Nevera de autoservicio: Los cuales se describen de la siguiente manera:

- Cámara de frío: Esta utiliza evaporadores, los cuales son intercambiadores de calor que usan como refrigerante R22.
- Nevera de autoservicio: Su sistema de refrigeración comprende el uso de refrigerante R22.

Comprendiendo cada uno de los elementos, características y procesos ambientales susceptibles a ser afectados, sumados junto con los equipos necesarios se puede establecer la primera matriz de reconocimiento, en la cual se determina que partes del entorno medio-ambiental se ven afectadas por los equipos usados. Esta evaluación sobre estos factores determinados anteriormente, se pueden observar en el Cuadro 97.

Cuadro 98. Matriz de reconocimiento del impacto ambiental generado por los equipos.

ELEMENTOS, CARACTERÍSTICAS Y PROCESOS AMBIENTALES SUSCEPTIBLES A SER AFECTADOS							
	Atmosfera	Paisaje	Suspensión de Partículas	Ruido	Medio Socio-Económico		
					Actividades Económicas	Empleo	
Equipos	Calidad del Aire	Calidad Paisajística	Material Particulado (Gases y Olores)	Calidad Sonora	Actividades Económicas	Empleo	
Trasporte (Termoking)	x	X	x	X	x	x	x
Cámara de frio/ Nevera autoservicio	x				x	x	x

Fuente: elaboración propia

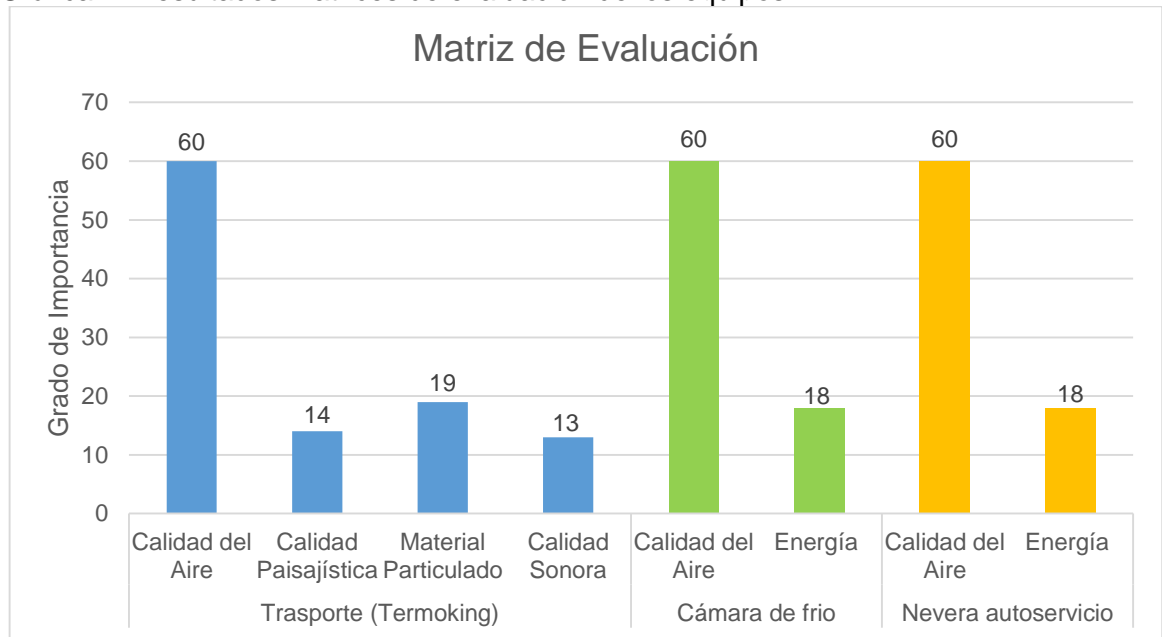
Al examinar cada una de los elementos que intervienen con el ambiente, es necesario cuantificar estas variables mediante una matriz estrictamente cuantitativa; que dará a conocer el efecto que tiene cada uno de los procesos sobre cada factor ambiental que se ve afectado. Esta cuantificación, se da a cabo de la siguiente forma como se muestra en el Cuadro 98;

Cuadro 99. Matriz de evaluación de los equipos.

Equipos	Elementos, características y procesos ambientales susceptibles a ser afectados.	CARACTERÍSTICAS DEL EFECTO PRODUCIDO											IMPORTANCIA	ANÁLISIS TOTAL
		I	E	M	P	R	S	A	E	P	M	C		
Transporte (Termoking)	Calidad del Aire	8	12	8	4	4	4	4	4	4	4	8	60	Severo
	Calidad Paisajística	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	14	Irrelevante	
	Material Particulado	2	4	2	2	1	2	1	1	2	2	19	Irrelevante	
	Calidad Sonora	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	13	Irrelevante	
Cámara de frío	Calidad del Aire	8	12	8	4	4	4	4	4	4	8	60	Severo	
	Energía	4	1	2	2	1	1	1	2	2	2	18	Irrelevante	
Nevera autoservicio	Calidad del Aire	8	12	8	4	4	4	4	4	4	8	60	Severo	
	Energía	4	1	2	2	1	1	1	2	2	2	18	Irrelevante	

Fuente: elaboración propia

Gráfica 4. Resultados matrices de evaluación de los equipos.



Fuente: elaboración propia

Como se observa en la gráfica anterior, las acciones consideradas irrelevantes, se debe principalmente a los elementos que conforman: Calidad paisajística, material particulado, calidad sonora y la energía necesaria para que los equipos funcionen de forma idónea, estas características no tienen gran relevancia en comparación con la calidad del aire que es el factor más afectado por los equipos evaluados.

Aunque el mayor porcentaje se dé por un impacto medio-ambiental irrelevante, es importante ser consciente del porcentaje severo, puesto que este tiene gran importancia en factores determinantes como lo son:

- Extensión (EX): Esta refleja el gas que no se puntualiza en un único lugar, sino que mínimas porciones afectan una gran porción de la capa de ozono dada la oxidación del cloro u otros componentes que conformen el refrigerante.
- Persistencia (PE): Puesto que una vez el refrigerante entre en contacto con la atmosfera no existe una biorremediación posible que permita controlar el cloro o los agentes químicos expuestos al ambiente, por lo que su persistencia es permanente.
- Reversibilidad (RV): Al igual que con la persistencia el cloro presente en la atmósfera no se puede controlar ni disminuir mediante ningún proceso tangible.
- Acumulación (AC): Los refrigerantes en la estratosfera muestran una condición de alta acumulación una vez se dé la oxidación del cloro con la capa de ozono.

5. COSTOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

El valor total de los costos de estudio se determina listando los gastos generales entre ellos se encuentran: costos de fungibles, costos de los materiales usados y la valoración del tiempo utilizado para el desarrollo de todo el proyecto.

Para determinar el valor hora de los proyectistas, se asume que ellos son ingenieros recién egresados, según indeed¹²⁶ que es una plataforma virtual de búsqueda de empleo y en ella se encuentra el promedio salarial actualizado de los ingenieros mecánicos sin experiencia el cual es de \$ 2.145.871

En el siguiente cuadro se ilustra el salario mensual de un ingeniero recién egresado con sus prestaciones legales correspondientes y el valor del mismo en horas, esto es necesario ya que al tener un estimado de tiempo del desarrollo del proyecto se estimará un valor en pesos para este tiempo empleado.

Cuadro 100. Salario de un ingeniero recién egresado.

	Valor en pesos	
Salario (mensual)	Salario mínimo (SMMLV)	\$781.242,00
	Salario de ingeniero recién egresado con prestaciones	\$2.145.871
Salario de ingeniero recién egresado con prestaciones (hora)		\$8.941,13
salario de los dos ingenieros recién egresados con prestaciones (hora)		\$17.882,26

Fuente: elaboración propia

Teniendo el valor hora que gana un ingeniero sin experiencia se prosigue a determinar el tiempo que se utilizó en las distintas actividades que fueron base para el desarrollo del proyecto.

En el cuadro 100 se reflejan las actividades que se realizaron, la cantidad de veces que se hizo y las horas empleadas en cada una de ellas.

¹²⁶ INDEED. Salarios de ingeniero mecánico en Colombia. Disponible en: <https://co.indeed.com/salaries/Ingeniero-mec%C3%A1nico-Salaries>

Cuadro 101. Costo total de tiempo y desarrollo del proyecto.

Actividad	Cantidad	Tiempo empleado (h)	Total tiempo (h)
Visitas técnicas	14	7	98
Cálculos de cargas térmicas	3	30	90
Cálculos de rendimiento	3	12	36
Comparativos	3	12	36
Total tiempo de desarrollo			260
Total costo de desarrollo			\$4.649.387,17

Fuente: elaboración propia

En el siguiente cuadro se encuentra el valor de las horas dispuestas a la realización del documento final por parte del docente orientador y los estudiantes.

Cuadro 102. Horas desarrollo del documento.

Actividades: Tiempo total	Horas (h)	Valor hora	Valor total
Desarrollo del documento (2 proponentes)	1100	\$8.941,13	\$9.835.243,00
Orientador	48	\$15.000	\$720.000
Total, horas desarrollo del documento			\$10.555.243,00

Fuente: elaboración propia

En el último paso para completar los gastos generales de la realización del proyecto, se listan los fungibles y los materiales usados en todo el proceso.

Cuadro 103. Costos fungibles.

Materiales consumidos				
Recursos	Objeto	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Papel	Resma	3	\$10.000,00	\$30.000,00
Tinta	Tóner	1	\$90.000,00	\$90.000,00
Libros	UNI	7	\$100.000,00	\$700.000,00
Gasolina	Gal	20	\$8.500,00	\$170.000,00
Total de fungibles				\$990.000,00
MATERIALES				
Material	Cantidad	Valor unitario	Valor total	
Termómetro Penta	1	\$200.000,00	\$200.000,00	
Cinta aislante	1	\$20.000,00	\$20.000,00	
Pilas	3	\$7.000,00	\$21.000,00	
Total de materiales				\$241.000,00

Fuente: elaboración propia

Por último, para dar el valor total del costo del proyecto, se suman los costos del tiempo empleado en cada una de las actividades, costos del tiempo empleado en desarrollo del documento, los costos de materiales y fungibles. En el siguiente cuadro se ilustra los costos mencionados anteriormente y el costo total del desarrollo del proyecto.

Cuadro 104. Costo del desarrollo del proyecto.

Activos y actividades: Costo total	Costo
Total costo fungibles y materiales	\$1.231.000,00
Total costo de las actividades desarrollo	\$4.649.387,17
Total costo de desarrollo del documento	\$10.555.243,00
Total costo del desarrollo del proyecto	\$16.435.630,17

Fuente: elaboración propia

El costo total de la realización del proyecto fue de \$16.435.630,17 este valor se encuentra por encima del propuesto en el anteproyecto que fue de \$12.495.000 debido que el valor hora que se propuso en él fue de \$7.000,00 y el utilizado ya en el proyecto final fue de \$8.941,13 debido a valor promedio de los salarios actualmente pagos a los ingenieros sin experiencia, además de esto las horas propuestas para la finalización del proyecto se aumentaron.

6. CONCLUSIONES

- Se constata que el proceso de cadena de frío presenta falencias sobre cada una de las partes que la conforman. Los segmentos principales e intermedios no efectúan de forma correcta las especificaciones técnicas bajo la normativa NTC 1064 (Frutas y hortalizas frescas. Lechuga), NTC 3542 (Transporte. Frutas y Verduras Frescas. Ordenamiento De Embalajes Paralelepípedos En Vehículos De Transporte Terrestre) y NTC 1270 (Industria alimentaria. Papaya); normas reguladoras de parámetros que rigen el sistema de refrigeración fundamentadas en la conservación, calidad e inocuidad de los productos evaluados.
- Se observa un sobre dimensionamiento en relación a los valores obtenidos en la eficiencia energética del refrigerante (EER) y a el coeficiente de rendimiento (COP), debido a que los equipos evaluados presentan características de congelación; presentando así diferencias significativas en relación a la temperatura de los productos evaluados al encontrarse en valores mucho más bajos que los requeridos por estos.
- Se identificó, evaluó y detalló el entorno medio ambiental afectado por cada una de las actividades que comprenden la cadena de frío en la producción de frutas y verduras. En donde se muestra que 43% de los elementos evaluados se encuentran en un rango Moderado, mientras que el porcentaje restante 57% se encuentra dentro de un rango Irrelevante por parte del proceso de cadena de frío. Con respecto a los equipos se obtuvo un 37.5% como un impacto severo, dada la emisión de ciertos gases que llegan a la estratosfera generando disminuciones en la capa de ozono.
- Se determinó al evaluar factores como son: las características físicas desde el punto de vista de los equipos, que hay factores no cumplidos a cabalidad, como son: la temperatura y humedad relativas de conservación. Se encuentra que la temperatura de conservación en el caso de la lechuga tiene una dispersión en relación al valor ideal (0°C-1°C) del 130%, encontrándose en una temperatura promedio de 7°C en todos los equipos, mientras que en el caso de la papaya la temperatura real e ideal son iguales (7°C). En el caso de la humedad relativa se detecta una dispersión para los 2 productos de un 14,83%, puesto que el valor real se encuentra un 10% por debajo del valor ideal (90%-95% HR).
- Se encontró durante el desarrollo de la investigación que se hace uso de productos químicos con el fin de acelerar los cultivos. El uso de fertilizantes de suelos para la nutrición de los cultivos es un factor a considerar y regular, debido a que puede influir directamente en la calidad de los productos cosechados; un exceso de estos productos químicos puede dar lugar a deficiencias en el suelo cultivado y a consecuencias considerables como problemas de salud pública entre los consumidores de estos productos.

- Se halló que los ambientes de cada eslabón de la cadena de frío no cumplen con los estándares establecidos por manuales y recomendaciones de la conservación, ya que existen irregularidades en el control de manejar un solo producto, ocasionando proliferación de bacterias en los demás productos.

7. RECOMENDACIONES

- Es indispensable realizar una integración de las normas de calidad con cada una de las partes interesadas en el proceso de refrigeración que permitan dotarlas de responsabilidad, autoridad y capacidad necesarias para la gestión unificada de cada uno de los requisitos, variables y factores que componen la norma, mediante capacitaciones a cada una de las personas involucradas en el sector hortifrutícola.
- La cadena de frío para las frutas y hortalizas debe cumplirse desde la cosecha hasta la comercialización sin ninguna interrupción en su desarrollo, principalmente deben transportarse y almacenarse de tal forma que la refrigeración disminuya el deterioro del producto, ya sea por causa microbiana, química o física. El cumplirse a cabalidad con la cadena de frío, da lugar a cumplir igualmente, con las medidas sanitarias y fitosanitarias que generaran una atracción para el mercado internacional, generando así beneficios sobre el comercio colombiano, al aumentar la oferta de exportación de frutas y hortalizas a nivel mundial.
- En Colombia se observa un déficit de aplicación de las normas de sanidad para los alimentos, existe una serie de protocolos y resoluciones vigentes que las entidades gubernamentales hacen el esfuerzo por que se cumplan, pero la falta de infraestructura, de cultura y de conocimiento en los procesos de cuidado e inocuidad de los productos, hace que solo sean vistos como objetos de valor monetario y no les interesa el cliente, esta situación se da, con relación a los productores y comercializadores de alimentos. Es por esta serie de causas que no hay cumplimientos de la cadena de frío, existiendo pérdidas inmensas de alimentos y propagación de enfermedades por la falta de inocuidad en productos consumidos.
- Existe un amplio campo de investigación, el cual en este proyecto, no hubo la posibilidad de abarcarlo, esto es para incentivar a futuros investigadores que puedan seguir indagando sobre las temáticas mencionadas, detallando las falencias encontradas o por encontrar. Se observó que existen más productos que requieren, se ponga interés en ellos, también de vital importancia el estudio y desarrollo de normas para la gran cantidad de procesos que puedan ser aplicados en la cadena de frío en diferentes productos alimenticios.
- Para el área de comercialización se observa que la mayoría de empresas o supermercados de grandes, medianas y pequeñas superficies emplean para la exposición de los productos equipos de autoservicio o exhibidores sin puertas, donde en los resultados obtenidos, se aprecia, que estos equipos generan pérdidas de eficiencia y energéticas, entonces se recomienda o propone que los

equipos contengan puertas para evitar las pérdidas y siempre asegurarse que los productos estén refrigerados en las condiciones necesarias.

- Brindar unos mayores controles con respecto a las entidades reguladoras, mediante auditorias, capacitaciones, congresos y actividades que permitan revisar el cumplimiento de los procesos de cadena de frio, con el motivo de mejorar la calidad y conservación de las frutas y verduras.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND A-C ENGINEERS FND. : Refrigerated-Facility Loads. En: Handbook-Refrigeration. S.I.: ASHREA, 2014.

ALTENDORF, Sabine. Perspectivas mundiales de las principales frutas tropicales. [En línea].s.l.: fao.org.[Citado:2018-08-08]. Disponible: http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Tropical_Fruits_Spanish2017.pdf

ANTONIO GALVIS, Jesús Antonio, et.al. Manual de procesamiento y conservación de Lechugas (*Lactuca Sativa L.*) variedades verde y morada crespa mínimamente procesadas. Trabajo de grado. Colombia: Fundación Universitaria Agraria de Colombia-UNIAGRARIA. s.f.

ARANGO WIESNER, Laura Victoria, et al. El cultivo de la papaya en los llanos orientales de Colombia. Colombia: Corpoica. Corporación colombiana de investigación agropecuaria regional 8, s.f.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIEROS. Manual de referencias de tarifas en ingeniería (Contratación de servicios profesionales). Bogotá: ACIEM, 2015, p.12.

ASOHOFrucOL. Lechuga: Morfología [En línea]. Bogotá D.C.: Asohofrucol. Disponible: http://www.asohofrucol.com.co/hortaliza_detalle.php?id=128

ÁVILA CUBILLOS, Eliana Patricia. Manual: Lechuga [En línea]. Colombia, Bogotá D.C.: Cámara de Comercio de Bogotá. Disponible: <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/14316>

BAO RIOS, Carmela. Desarrollo de una herramienta de cálculo del rendimiento estacional de bombas de calor según la norma UNE-EN 14825. Trabajo de Grado. Magíster en ingeniería industrial. Barcelona: Escuela técnica superior de ingeniería industrial. Facultad de ingenierías, 2017.Op. Cit. p. 23.

BAYER. Ethrel 48 SL [En línea]. Chile: cropscience.bayer.cl. [Citado: 2018-02-05]. Disponible:<https://www.cropscience.bayer.cl/soluciones/fichaproducto.asp?id=129>

CENGEL, Yunus. Tablas de propiedades, figuras y diagramas (Unidades Inglesas). En: Transferencia de calor y masa. 3 ed. México: McGraw-Hill/Interamericana, 2007. p. 794.

CHAVARRÍS, Marta. ¿Cómo guardar los alimentos en la nevera? [En línea]. España, País Vasco: Eroski Consumer. Disponible: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2014/01/04/219004.php>
CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Norma para la papaya. Codex Stant 183. s.l.: La comisión, 1993.

COLMAC COIL. NELSON Bruce. Una exitosa refrigeración depende de un buen flujo de aire [En línea]. s.l.: COLMAC COIL. Disponible: <http://www.colmaccoil.com/media/30716/successfulrefrigerationdependsongoodairflowspanish.pdf>

COMBARIZA, Juliana Andrea. Perfil nacional de consumo de frutas y verduras. Colombia: Ministerio de salud y protección social- Organización de la naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). 2012.

CONESA FERNANDEZ, Vicente, et al. . Principios en que se basa la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y su ámbito de aplicación. En: Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 4 ed. Madrid, Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa, 2010.

CONFEDERACIÓN DE CONSUMIDORES Y USUARIOS. ¿Qué es la cadena de frío y para qué sirve?. En: La cadena de frío. España: Ministerio de Sanidad, Servicios sociales e igualdad/Agencia española de consumo, seguridad alimentaria y nutrición; siendo su contenido responsabilidad exclusiva de la organización beneficiaria, 2013.

DANE. El cultivo de la papaya (Carica papaya L.). En: Boletín mensual. Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Colombia: Departamento administrativo nacional de estadística, 2018.

DUPONT. Thermal properties of Dupont Suva 404 A (HP6₂) Refrigerant. Estados Unidos: Dupont Corporation. p.20.

DUQUE GUZMÁN, Lina Marcela. Impacto ambiental de los refrigerantes ecológicos. Colombia, Medellín: El cuaderno- Escuela de ciencias estratégicas, 2008.

ECHO Community. Papaya [En línea]. s.l.: echocommunity.org. Disponible: <https://www.echocommunity.org/es/resources/1260d329-2779-4e01-a6f8-9fa9342d089e>

EL TIEMPO. La papaya que los colombianos quieren [En línea]. Colombia, Bogotá: eltiempo.com. Disponible: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-704586>

EUSKARA. Densidades de algunas sustancias a 1 atm (760mmHg) [En línea]. s.l.: EUS.EUS. [Citado: 2018-05-29]. Disponible: <https://www.ehu.eus/eu/web/guest/sitemap>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Preparación para el mercado [En línea]. s.l.:Fao.org. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/y4893s05.htm#TopOfPage>

GARCÍA, Mario Alfonso. Guía técnica del cultivo de la papaya. El salvador: CENTA, Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal. 2010.

GOODFELLOW. Polietileno-Alta densidad (HDPE). Información sobre el material. [Citado: 2018-08-06]. Disponible: <http://www.goodfellow.com/S/Polietileno-Alta-Densidad.html>

GOODFELLOW. Polipropileno (PP). Información sobre el material. [En línea]. s.l.:goodfellow.com. [Citado: 2018-08-06]. Disponible: <http://www.goodfellow.com/S/Polipropileno.html>

GONZÁLEZ, Carlos. Diseño Y Cálculo De Instalaciones De Climatización. España: Cano Pina S.L. 1ra Edición. Op. cit. 362.

GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. Refrigeración Industrial. Montaje y Mantenimiento de instalaciones frigoríficas. España: Cano Pina. Op. Cit.

ICA Comunica. Colombia exporta con éxito papayas a Canadá [En línea]. Colombia: ica.gov.co. [Citado: 2018-10-28]. Disponible:<https://www.ica.gov.co/Periodico-Virtual/Prensa/2013/Colombia-exporta-con-exito-papayas-a-Canada.aspx>

INDEED. Salarios de ingeniero mecánico en Colombia. Disponible en: <https://co.indeed.com/salaries/Ingeniero-mec%C3%A1nico-Salaries>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Guía para la adecuación y comercialización de frutas, hierbas aromáticas culinarias y

hortalizas frescas, dando las pautas de cómo deben ser los establecimientos, los materiales para empaquetado necesarios para el transporte y la conserva. GTC 253. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 36p. 2015.

_____ Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC5613. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 33p.c.

_____ Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 36p. 2008.

_____ Frutas y hortalizas frescas. Guía de empaque para el empaque de frutas y verduras. GTC 61. Bogotá D.C.: El instituto, 1998.

_____ Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogotá D.C.: El instituto, 1998. 23p.

_____ Frutas y hortalizas frescas. Lechuga. NTC 1064. Bogotá D.C.: El instituto, 1994.

_____ Transporte. Frutas Y Verduras Frescas. Ordenamiento De Embalajes Paralelepípedos En Vehículos De Transporte Terrestre. NTC 3542. Bogotá D.C.: El instituto, 1993.

_____ Industria alimentaria. Papaya. NTC 1270. Bogotá D.C.: El instituto, 1979.

LA LECHUGA. La lechuga Batavia [En línea]. s.l.: Lechuga.info. Disponible: <http://lechuga.info/la-lechuga-batavia/>

LARRAIN, María. ¿Cómo cultivar lechuga? [En línea]. Colombia, Bogotá D.C.: El huerto urbano. Disponible: <http://www.huertodeurbano.com/como-cultivar/lechuga/>.

MEDLINE PLUS. Vitamina A [En línea]. Estados Unidos: medlineplus.gov. Disponible: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002400.htm>

MINISTERIO DE EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL. Higiene de los alimentos [En línea]. España: Gobierno de España. Disponible: http://www.seg-social.es/ism/gsanitaria_es/ilustr_capitulo14/cap14_4b_higalimentos.htm.

MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto 3075. Colombia: Invima, 1997

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Resolución No. 002505 de 2004 [En línea]. Colombia: invima.gov.co. Disponible: <https://www.invima.gov.co/resoluciones-en-alimentos/resolucion-no-002505-de-2004-pdf/detail.html>

MIRANDA, Ángel. Entalpía del aire húmedo. En: Técnicas de climatización. México: Marcombo. 2da Edición. p. 16

MORAN, Michael y SHAPIRO, Howard. Chapter 10, Refrigeration and Heat Pump Systems, En: Fundamentals of engineering thermodynamics. England: John Wiley & Sons, Inc. p.458

NAVARRO LÓPEZ, Héctor. Logística de la cadena de frío [En línea]. Colombia, Bogotá D.C.: Proexport Colombia. Disponible: http://www.colombiatrader.com.co/sites/default/files/conferencia_logistica_en_la_cadena_de_frio_proexport_2013.pdf

PAÉZ REDONDO, Alberto Rafael. Seminarios participativos “Agronomía y manejo sanitario de la producción y poscosecha en papaya”. Colombia: Valledupar: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Pronatta.2013.

PHILIPS. Iluminación para frutas y verduras [En línea]. Disponible: <http://www.lighting.philips.es/sistemas/areas-de-sistema/tiendas-y-hosteleria/alimentacion-y-grandes-comercios/fruta-y-verduras>

PLAZAS MONROY, Juan Pablo. Los refrigerantes y el medio ambiente. Trabajo de grado. Barcelona: Facultad de náutica de Barcelona.2012. p.12.

PROCOLOMBIA. Logística De Perecederos Y Cadena De Frío En Colombia. 2014.

PROSPECTOR. Polipropileno (PP) Propiedades típicas Generic PP. Unspecified. [En línea].s.l.:plastics.ulprospector.com. Disponible: <https://plastics.ulprospector.com/es/generics/39/c/t/polipropileno-pp-properties-processing/sp/33>

RALPIN J., Pierre, et al. Instalaciones Frigoríficas. 2 ed. París: Marcombo, Boixaeru editores, 1993.

REYES MÉNDEZ, Laura María y GUTIÉRRES ORTIZ, Andrés Mauricio. Importancia de la cadena de frío en frutas y hortalizas [En línea]. Colombia, Tolima: Scrib.com. Disponible: <https://es.scribd.com/doc/3503058/IMPORTANCIA-DE-LA-CADENA-DE-FRIO-EN-FRUTAS-Y-HORTALIZAS>

SCRIB. Papaya Maradol [En línea]. s.l.: scrib.com. Disponible: <https://es.scribd.com/doc/2952453/PAPAYA-MARADOL>.

SEAM. Relatorio de impacto ambiental preliminar. Paraguay: Imaq S.A., s.f.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN. Cultivo de lechuga [En línea]. Ciudad de México: SAGARPA. Disponible: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/Documents/AgriculturaF/L ECHUGA.pdf>

SONNTAG E.,Richard y BORGNACKE Claus. Fundamentals of Thermodynamics. 7 ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons Inc, 2012.

TAURO. Equipos de control de temperatura para transporte de carga [En línea]. México, Nuevo León: tauro.mx. Disponible: <https://www.tauro.mx/equipos-control-temperatura-transporte-carga/>

TERMOAPLICADAUNEFM'S BLOG. Ciclos de refrigeración. [En línea]. s.l: Wordpress. Disponible: <https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2009/02/tema-2-ciclos-de-refrigeracion1.pdf>

THE CHEMOURS COMPANY FC, LCC. FREON. Mollier diagram of Frenon 22. Estados Unidos: Chermours. p.1.

THERMOKING. MD-200/MD-300/MD-200 MT. Proven reliability, unbeatable quality and multi-temperature flexibility [En línea]. s.l.:Thermoking.se. [Citado: 2018-07-13]. Disponible: http://thermoking.se/images/stories/doc/broschyre/MD-200-300_MD-200MT.pdf. p.2.

UMAÑA CERROS, Eduardo. Introducción a la refrigeración y congelamiento como medio de conservación de alimentos. En: Conservación de alimentos por frío. El Salvador: Fiagro y Fusades Proinnova, s.f. p.16.

UMAÑA CERROS, Eduardo. Terminología, Definiciones y Explicaciones. En: Conservación de alimentos por frío. El Salvador: Fiagro y Fusades Proinnova, s.f. p.20.

UNIVERSIDAD NACIONAL. Mejoramiento genético de la papaya [En línea]. Colombia: unal.edu.co. Disponible: http://bdigital.unal.edu.co/55/4/28_-_3_Capi_3.pdf

VELÁZQUES ARIAS, Ciro J y TOLEDO HEVIA, Julio. Manual de consejo postcosecha de frutas tropicales. s.l: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), 2000.

ANEXOS

Carga termica por embalaje		
$Q_{emb} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i C_{pi} \Delta T}{n}$		
LECHUGA Y PAPAYA		
Nº Canastillas	250	UNID
Peso canastilla	2,35	Kg
m	587,5	Kg
C _p	1,8	Kj/Kg K
n	1800	Sg
ΔT papaya	3	K
ΔT lechuga	2	K
PAPAYA		
peso malla	3	Kg
C _p	1,9	Kj/Kg K
Q malla papaya	0,010	Kw
Q canastilla	1,763	Kw
		KW
Q _{emb lech}	1,175	
Q _{emb papaya}	1,772	

Carga termica del aire		
$Q_{aire} = m_{aire} * \Delta h$		
$m_{aire} = \rho_{aire} * V_{aire}$		
dimensiones		unidad
largo	6,5	m
ancho	3	m
alto	3	m
Parametros		
volumen	58,5	m ³
densidad	0,9	Kg/m ³
m _{aire}	52,65	Kg
h ambiente	44,19	Kj/Kg
hpapaya	32,1	Kj/Kg
hlechuga	16,75	Kj/Kg
delta h papaya	12,09	Kj/Kg
delta h lechuga	27,44	Kj/Kg
Q _{aire papaya}	636,539	Kj
Q _{aire lechuga}	1444,716	Kj
Q _{aire papaya}	0,530	kW
Q _{aire lechuga}	1,20393	kW

carga termica por infiltraciones			
$Q_{infil} = q + D_t + D_f + (1 - E)$			
$q = 0,221 + A + (h_{aire} - h_{cuarto}) + \rho_{aire} + \left(1 - \frac{\rho_{aire}}{\rho_{cuarto}}\right)^{0,5} + (g + H)^{0,5} + F_m$			
$F_m = \left[\frac{2}{1 + \left(\frac{\rho_{cuarto}}{\rho_{aire}}\right)}\right]^{1,5}$			
$D_t = \frac{p + \theta_p + \theta_a}{n}$			
DATOS DE ENTRADA		dimensiones puerta de servicio	
Area	9 m ²	ancho	3 m
factor flujo de entrada	1,1	alto	3 m
eficiencia del dispositivo de entrada	0,95		
entalpia aire del ambiente	44,19 Kj/Kg	Q _{1 papaya}	0,06666667
entalpia aire del habitaculo con papaya	32,1 Kj/Kg	Q _{1 lechuga}	0,06666667
entalpia aire del habitaculo con lechuga	16,75 Kj/Kg		
densidad aire del ambiente	0,9 Kg/m ³	F _{papaya}	0,97551089
densidad del aire habitaculo con papaya	0,93 Kg/m ³	F _{lechuga}	0,95200525
desidad del aire habitaculo con lechuga	0,96 Kg/m ³		
gravedad	9,8 m/s ²	q _{papaya}	18,5802242
altura de la entrada	2,45 m	q _{lechuga}	57,2844608
tiempo de abrir y cerrar la puerta	20 sg		
tiempo de ciclado del equipo	1200 sg	Q _{infil papaya}	0,068 kW
tiempo que mantiene la puerta abierta	60 sg	Q _{infil lechuga}	0,210 kW
numero de entradas al cuarto de papaya	1		
numero de entradas al cuarto de lechuga	1		

Carga termica por humidificacion	
paramatros para habitaculo de papaya	
caudal aire	2,72 m3/h
T ambiente	19 °C
T	14,444 °C
dendencia aire ambiente	0,9 kgafm3
volumen especifico	1,111 m3/kg
flujo masico	0,00068 kgafsg
w1 ambiente	70 kg h2o/kg
w2 papaya	82 kg h2o/kg
entalpia del agua liquida	79,553 Kj/kg
h1 ambiente	177534,876 Kj/kg
h2 papaya	207266,701 Kj/kg
Q	19,568 kW
paramatros para habitaculo de lechuga	
caudal aire	2,72 m3/h
T ambiente	19 °C
T lechuga	13,333 °C
dendencia aire ambiente	0,9 kgafm3
volumen especifico	1,111 m3/kg
flujo masico	0,00068 kgafsg
w1 ambiente	70 kg h2o/kg
w2 lechuga	86 kg h2o/kg
entalpia del agua liquida	79,553 Kj/kg
h1 ambiente	177534,88 Kj/kg
h2 lecguga	217197,73 Kj/kg
Q	26,105 kW

Carga termica por embalaje		
$Q_{emb} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i C_{pi} \Delta T}{n}$		
LECHUGA Y PAPAYA		
#Canastillas	216	UNID
peso canastilla	2,35	Kg
m	507,6	Kg
C _{pi}	1,8	Kj/Kg K
n	1800	Sg
ΔT papaya	3	K
ΔT lechuga	2	K
PAPAYA		
peso malla	2,5	Kg
C _p	1,9	Kj/Kg K
Q malla papaya	0,00792	Kw
Q canastilla papaya	1,5228	Kw
		KW
Q _{emb lech}	1,015	
Q _{emb papaya}	1,531	

Carga termica por aire		
$Q_{aire} = m_{aire} * \Delta h$		
$m_{aire} = \rho_{aire} * V_{aire}$		
dimensiones	unidad	
largo	3,3	m
ancho	5,5	m
alto	3	m
volumen	54,45	m ³
densidad	0,9	Kg/m ³
m _{aire}	49,005	Kg
h ambiente	44,19	Kj/Kg
hpapaya	32,1	Kj/Kg
hlechuga	16,75	Kj/Kg
delta h papaya	12,09	Kj/Kg
delta h lechuga	27,44	Kj/Kg
Q _{aire papaya}	592,470	Kj
Q _{aire lechuga}	1344,697	Kj
Q _{aire papaya}	0,329	kW
Q _{aire lechuga}	0,747	kW

Carga termica por infiltraciones					
$Q_{infil} = q \cdot D_e + D_f \cdot (1 - E)$					
$q = 0,221 \cdot A \cdot (h_{aire} - h_{cuarto}) \cdot \rho_{aire} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{cuarto}}{\rho_{aire}}\right)^{0,5} + (g \cdot H)^{0,5} \cdot F_m$					
$F_m = \left[\frac{2}{1 + \left(\frac{\rho_{cuarto}}{\rho_{aire}}\right)} \right]^{1,5}$					
$D_f = \frac{p \cdot \theta_p + \theta_0}{n}$					
DATOS DE ENTRADA			dimensiones puerta		
A	3,060	m ²	ancho	1,41	m
D _e	1,1		alto	2,17	m
E	0,95				
heat	44,19	Kj/Kg	D _{ipapaya}	0,044	
hpapaya	32,1	Kj/Kg	D _{ilechuga}	0,044	
hlechuga	16,75	Kj/Kg			
densidad ext	0,9	Kg/m ³	F _{upapaya}	0,97551089	
densidad papaya	0,93	Kg/m ³	F _{ulechuga}	0,95200525	
desidad lechuga	0,96	Kg/m ³			
gravedad	9,8	m/s ²	q _{upapaya}	5,945	
H	2,17	m	q _{ulechuga}	18,328	
θ _p	20	sg			
n	1800	sg	Q _{infilpapaya}	0,015	kW
θ ₀	60	sg	Q _{infillechuga}	0,045	kW
P _{upapaya}	1				
P _{ulechuga}	1				

Comercialización

Carga térmica por transmisión							
Dimensiones	Alto [m]	Largo [m]	Área (m ²)	Espesor	0,01	m	
Pared Norte	1,92	3,55	6,82	K vidrio	0,6	W/mK	
Pared Este	1,92	0,995	1,91	K poliuretano	0,0245	W/m ² K	
Pared Sur	1,92	3,55	6,82				
Pared Oeste	1,92	0,995	1,91				$U = \frac{1}{\sum \frac{1}{k}}$
Techo	0,995	3,55	3,53				
Suelo	0,995	3,55	3,53	U vidrio	60	W/m ² K	
				U poliuretano	2,45	W/m ² K	
	[°C]	[K]					$q = UA\Delta T$
T _{ext}	19	292,15		PAPAYA		LECHUGA	
T _{int papaya}	2	275,15		Pared	Carga [KW]	Pared	Carga [KW]
T _{int lechuga}	10	283,15		Pared Norte	3,681	Pared Norte	6,952
	Papaya	Lechuga		Pared Este	1,032	Pared Este	1,949
ΔT °C	9	17		Pared Sur	0,150	Pared Sur	0,284
ΔT K	9	17		Pared Oeste	1,032	Pared Oeste	1,949
				Techo	0,078	Techo	0,147
				Suelo	0,078	Suelo	0,147
							x
				TOTAL	6,050	TOTAL	11,428
Carga térmica por producto a refrigerar							
	$Q_{Prod} = \frac{mC_p\Delta T}{n}$						
PAPAYA		LECHUGA					
# Canastillas	35	# Canastillas	35				
Peso [Kg]	18	Peso unid [Kg]	0,3				
Peso Total [Kg]	630	cant. Producto	12				
C _p (KJ/Kg K)	3,88	peso canastill	3,6				
T _{ext} [K]	292,15	Peso Total [Kg]	126				
T _{int} [K]	283,15	C _p (KJ/Kg K)	4,02				
ΔT [K]	9	T _{ext} [K]	292,15				
n [seg]	1800	T _{int} [K]	275,15				
		ΔT [K]	17				
		n [seg]	1800				
	KW						
Q _{prod}	12,222						
				KW			
		Q _{prod}	4,784				

CARGA TERMICA POR AIRE		
$Q_{aire} = m_{aire} * \Delta h$		
$m_{aire} = \rho_{aire} * V_{aire}$		
□		
dimensiones		unidad
largo	0,995	m
ancho	3,55	m
alto	1,92	m
volumen	6,78	m ³
densidad	0,9	Kg/m ³
maire	6,104	Kg
h ambiente	44,19	Kj/Kg
hpapaya	32,1	Kj/Kg
hlechuga	16,75	Kj/Kg
delta h papaya	12,09	Kj/Kg
delta h lechuga	27,44	Kj/Kg
Qaire papaya	73,794	Kj
Qaire lechuga	167,486	Kj
Qaire papaya	0,041	kW
Qaire lechuga	0,093	kW

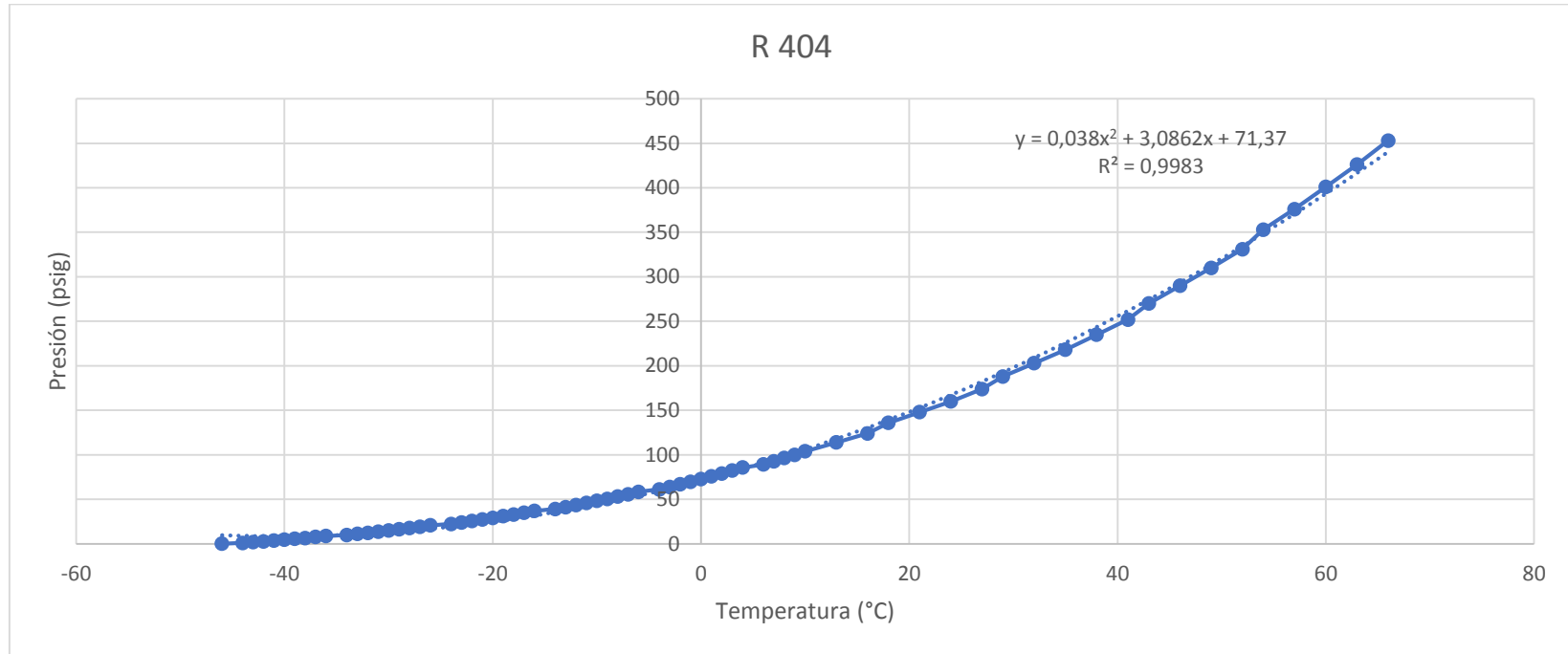
ANEXO B.

EXTRAPOLACIÓN CÁLCULO REFRIGERANTE R 404A

Temperatura (°C)	Presión (psig)
-46	0,2
-44	1
-43	1,8
-42	2,7
-41	3,6
-40	4,6
-39	5,6
-38	6,6
-37	7,7
-36	8,8
-34	9,9
-33	11,1
-32	12,4
-31	13,7
-30	15
-29	16,4
-28	17,8
-27	19,3
-26	20,8
-24	22,4
-23	24
-22	25,7
-20	29,2

Temperatura (°C)	Presión (psig)
-19	31,1
-18	33
-17	35
-16	37
-14	39,1
-13	41,3
-12	43,5
-11	45,8
-10	48,2
-9	50,6
-8	53,1
-7	55,7
-6	58,4
-4	61,1
-3	63,9
-2	66,8
-1	69,7
0	72,8
1	75,9
2	79,1
3	82,4
4	85,7
7	92,7

Temperatura (°C)	Presión (psig)
8	96,4
9	100,1
10	103,9
13	114
16	124
18	136
21	148
24	160
27	174
29	188
32	203
35	218
38	235
41	252
43	270
46	290
49	310
52	331
54	353
57	376
60	401
63	426



Extrapolación	
Entrada	
Temperatura (°C)	Presión (psig)
44,7	285,25056
79,1	553,2472
9,9	105,64776
1	74,4942

Extrapolación	
Salida	
Temperatura (°C)	Presión (psig)
76,5	529,8498
49,7	318,61756
1,9	77,37096
-4,5	58,2516

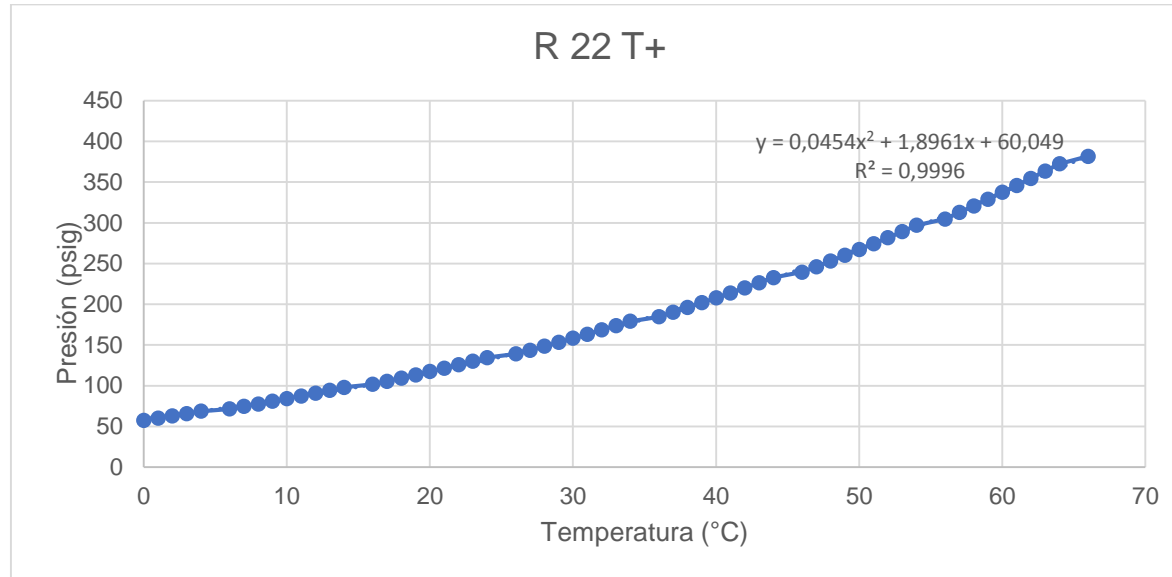
ANEXO C.

EXTRAPOLACIÓN CÁLCULO REFRIGERANTE R22

Temperatura (°C)	Presión (psig)
0	57,5
1	60,2
2	62,9
3	65,7
4	68,6
6	71,5
7	74,5
8	77,6
9	80,8
10	84,1
11	87,4
12	90,8
13	94,4
14	98
16	101,6
17	105,4
18	109,3
19	113,2
20	117,3
21	121,4

Temperatura (°C)	Presión (psig)
22	125,7
23	130
24	134,5
26	139
27	143,6
28	148,4
29	153,2
30	158,2
31	163,2
32	168,4
33	173,7
34	179,1
36	184,6
37	190,2
38	195,9
39	201,8
40	207,7
41	213,8
42	220
43	226,4

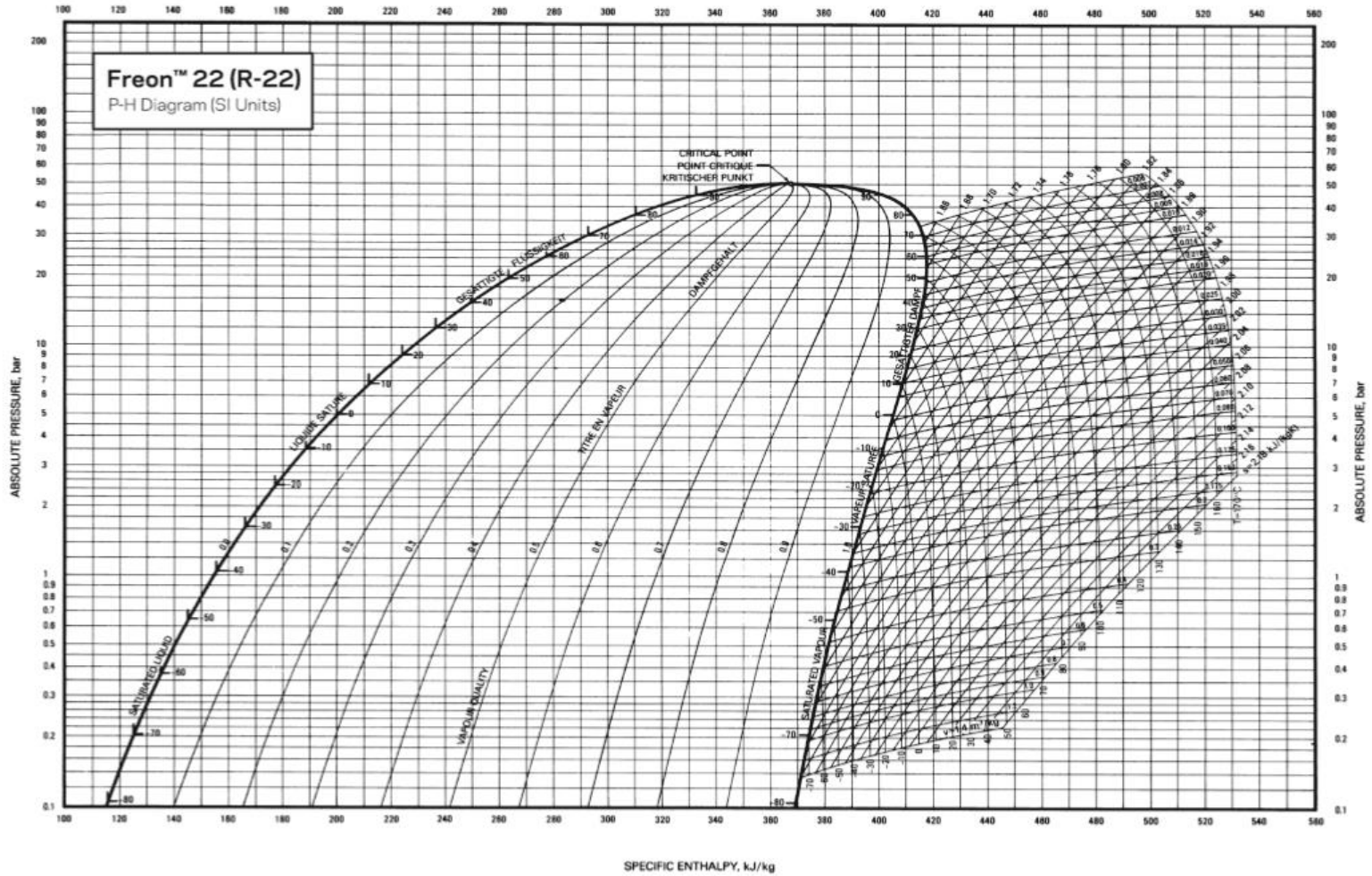
Temperatura (°C)	Presión (psig)
44	232,8
46	239,4
47	246,1
48	253
49	260
50	267,1
51	274,3
52	281,7
53	289,2
54	296,9
56	304,7
57	312,6
58	320,7
59	329
60	337,4
61	345,9
62	354,6
63	363,5
64	372,5
66	381,7



Extrapolación	
Entrada	
Temperatura (°C)	Presión (psig)
17,6	107,483464
79	493,1823
11,6	88,152784
2,4	64,861144

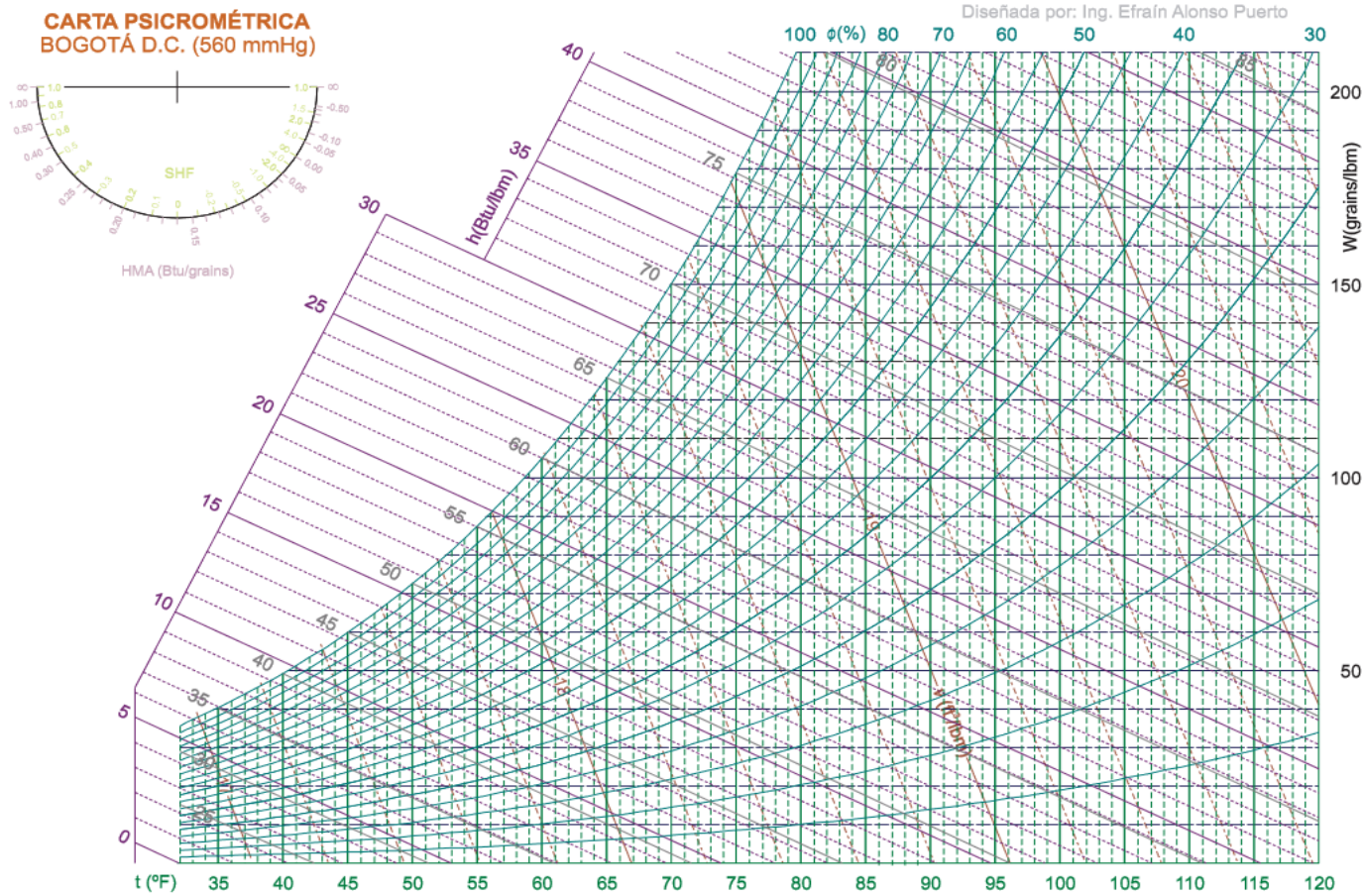
Extrapolación	
Salida	
Temperatura (°C)	Presión (psig)
94,1	640,480384
31,6	165,300384
5,6	72,090904
5,2	71,136336

ANEXO E.
DIAGRAMA DE MOLLIER R 22



ANEXO F.

CARTA PSICOMÉTRICA A ALTURA DE BOGOTÁ PARA UNA TEMPERATURA DE 0°C



ANEXO G

FICHA TÉCNICA EVAPORADOR CÁMARA DE FRÍO

Fin spacing, Espacio entre aletas 4 mm, with heater/ con resistencia $Rt \geq 0^\circ\text{C}$

Model / Modelo	Capacity/ Capacidad (kbtu/h)		Surface/ Superficie (m ²)	Tube Volume/ Volumen interno (dm ³)	N.W./ Peso Neto (kg)	Connection/ Conexión (ø mm)	
	Te = -8°C	Te = -25°C				Inlet Entrada	Outlet Salida
	DT1 = 8K	DT1 = 7K					
HED 4001 36 4D	18.81	14.79	36	5.4	53	16	28
HED 4002 72 4D	37.98	30.74	72	10.8	93	16	42
HED 4003 108 4D	55.70	45.21	108	16.2	134	22	54
HED 4501 48 4D	26.40	21.34	48	8.1	67	16	35
HED 4502 96 4D	53.17	42.32	96	14.4	117	16	42
HED 4503 144 4D	79.21	64.38	144	21.6	174	22	54
HED 5001 90 4D	44.49	35.81	90	13.5	94	16	42
HED 5002 180 4D	88.97	71.97	180	26.1	175	22	54
HED 5003 270 4D	133.82	108.14	270	38.7	260	28	67
HED 6301 144 4D	67.63	54.25	144	22.5	207	22	54
HED 6302 288 4D	135.63	108.86	288	42.3	357	28	67
HED 6303 432 4D	203.26	163.11	432	62.1	508	28	76

Mark: Optional model without heater available / Marca: Modelo opcional sin el calentador disponible.

Fin spacing, Espacio entre aletas 6 mm, with heater/ con resistencia $Rt \geq -18^\circ\text{C}$




Model / Modelo	Capacity/ Capacidad (kbtu/h)		Surface/ Superficie (m ²)	Tube Volume/ Volumen interno (dm ³)	N.W./ Peso Neto (kg)	Connection/ Conexión (ø mm)	
	Te = 0°C	Te = -8°C				Inlet Entrada	Outlet Salida
	DT1 = 10K	DT1 = 8K					
HED 3501 11 6LD	12.54	8.35	11	3.4	33	12	22
HED 3501 11 6ND	15.36	10.23	11	3.4	33	12	22
HED 3502 22 6LD	25.11	16.69	22	6.4	57	12	22
HED 3502 22 6ND	30.75	20.45	22	6.4	57	12	22
HED 3503 32 6LD	37.58	25.04	32	9.3	78	15	28
HED 3503 32 6ND	46.25	30.68	32	9.3	78	15	28
HED 3504 43 6LD	50.23	33.42	43	12.3	102	15	28
HED 3504 43 6ND	60.34	40.11	43	12.3	102	15	28

Mark: Optional model without heater available / Marca: Modelo opcional sin el calentador disponible.

ANEXO H

FICHA TÉCNICA SISTEMA DE REFRIGERACIÓN TRANSPORTE

SYSTEM PERFORMANCE

		MD-200  6 m - 6.5 m		MD-300  6.5 m - 7.5 m		MD-200 MT  6 m - 7 m	
Refrigeration capacity: System net cooling capacity at 30°C ambient temperature under A.T.P. conditions							
Return Air To Evaporator		0°C	-20°C	0°C	-20°C	0°C	-20°C
Capacity on engine power	W	5,200	3,500	6,300	4,000	5,900	3,900
Capacity on electric stand-by	W	3,600	2,600	4,300	2,700	3,700	2,700
Airflow: on high speed engine operation							
Airflow volume @ 0 Pa static pressure	m ³ /hr	2,720		2,720		2,260	
Discharge Velocity (airthrow)	m/s	7.9		7.9		9.1	
Weight: includes Low Decibel package							
Model 30: cooling and heating on engine operation	kg	363		378		348*	
Model 50: cooling and heating on engine and electric stand-by operation	kg	385		400		370*	
Engine: 3 cylinder, liquid cooled							
Model		TK3.74		TK3.74		TK3.74	
Rating	kW	9.3		9.3		9.3	
Maintenance Interval	hrs	2000		2000		2000	
Compressor: lightweight aluminium alloy							
Model		TK X214		TK X214		TK X214	
Displacement	cm ³	228		228		228	
Electric Stand-by Motor							
Voltage / phase / cycles		400/3/50		400/3/50		400/3/50	
Rating	kW	3.13		3.13		3.13	
Refrigerant: R-404A zero Ozone Depletion Potential (ODP), internationally approved							
Charge	kg	3.0		3.0		5.2	

INDIVIDUAL EVAPORATORS

Refrigeration capacity: (NB: Capacities of host unit and individual evaporators not cumulative.) System net cooling capacity at 30°C ambient temperature under A.T.P. conditions		S-2	
Return Air To Evaporator		0°C	-20°C
Capacity	W (Up to)	5,500	3,290
Airflow			
Airflow volume @ 0 Pa static pressure	m ³ /hr	1,130	
Discharge Velocity (airthrow)	m/s	9.1	
Weight			
	kg	45	