

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Fabricación de prototipo de refrigeradora de bajo costo enfocado en
las necesidades de las personas de la aldea *El Platanar*

Trabajo de graduación en la modalidad de trabajo profesional presentado por

Rubén Estuardo Barillas Ruíz

Luis Eduardo Martínez Valdez

para optar el grado académico de Licenciados en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2018

Fabricación de prototipo de refrigeradora de bajo costo enfocado en las necesidades de las personas de la aldea *El Platanar*

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Fabricación de prototipo de refrigeradora de bajo costo enfocado en
las necesidades de las personas de la aldea *El Platanar*

Trabajo de graduación en la modalidad de trabajo profesional presentado por

Rubén Estuardo Barillas Ruíz

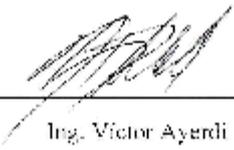
Luis Eduardo Martínez Valdez

para optar el grado académico de Licenciados en Ingeniería Mecánica

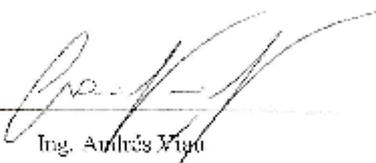
Guatemala

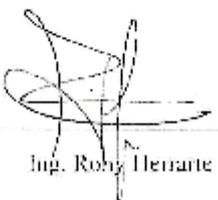
2018

Vo. Do.:

(i) 
Ing. Victor Ayerdi

Tribunal Examinador:

(i) 
Ing. Andrés Miquel

(ii) 
Ing. Rony Herrera

Fecha de aprobación: Guatemala, 19 de noviembre de 2018.

PREFACIO

Actualmente existen miles de hogares y familias en el país de Guatemala que aún no cuentan con la posibilidad de poseer una refrigeradora. El factor decisivo para hacer este trabajo recae en la importancia que tienen estos aparatos y la inversión inicial para obtenerla.

Aunque existan muchas personas en Guatemala sin refrigeradora, las empresas dedicadas al ensamblaje y comercialización de refrigeradoras no se enfocan en las personas de este segmento económico. Por lo cual, con la intención de continuar el proyecto iniciado por Luis Martínez Solís y su compañero Enrique Juárez Sieckavizza, este proyecto se enfoca en estudiar las necesidades de un grupo reducido seleccionado y diseñar acorde a sus necesidades. De la misma forma, se espera que este proyecto sea la iniciativa a un emprendimiento enfocado en las personas de escasos recursos y proporcionarles un mejor estilo de vida.

Se agradece al ingeniero, profesor y asesor, Andrés Viau, por su gran asistencia a lo largo de la carrera y el apoyo para realizar con éxito este proyecto. De la misma forma se agradece al ingeniero, y director de carrera, Víctor Ayerdi, por su iniciativa en el Departamento de Mecánica de realizar proyectos y soluciones para problemas reales que se enfrenta Guatemala en la actualidad. Además, de los múltiples técnicos que asesoraron para la fabricación y diseño de este prototipo de refrigeradora económica.

Por último, agradecemos enormemente a nuestros padres por el apoyo económico y moral para culminar esta etapa de nuestras vidas.

ÍNDICE

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| PREFACIO | v |
| LISTADO DE EXPRESIONES | xii |
| LISTADO DE TABLAS | xiii |
| LISTADO DE ILUSTRACIONES | xvii |
| RESUMEN | xxi |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. OBJETIVOS | 3 |
| A. OBJETIVO DEL MEGAPROYECTO | 3 |
| B. OBJETIVOS DEL MÓDULO DE ESPACIO REFRIGERADO | 3 |
| 1. Objetivo general | 3 |
| 2. Objetivos específicos | 3 |
| C. OBJETIVOS DEL MÓDULO DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN | 4 |
| 1. Objetivo general | 4 |
| 2. Objetivos específicos | 4 |
| III. JUSTIFICACIÓN | 5 |
| IV. MARCO TEÓRICO | 7 |
| A. REFRIGERACIÓN ACTUAL | 7 |
| 1. Refrigeradores | 7 |
| 2. Refrigeradoras reciclables | 11 |
| 3. Refrigeradoras de uso doméstico | 12 |
| 4. Fallas comunes de refrigeradoras | 13 |
| B. REFRIGERANTES | 14 |
| C. RIESGOS DE SALUD CON EL MANEJO DE REFRIGERANTES FLUORO CARBONADOS (R – 134 A) | 15 |
| 1. Inhalación | 16 |

| | | |
|----|---------------------------------------------------|----|
| 2. | Contacto..... | 16 |
| D. | TRANSFERENCIA DE CALOR | 17 |
| E. | AISLANTES | 18 |
| 1. | Materiales de una refrigeradora doméstica..... | 19 |
| F. | SYSTEMS ENGENIEERING | 20 |
| 1. | Proceso de diseño Space Systems Engineering | 20 |
| 2. | Aspectos de Space Systems Engineering | 22 |
| G. | CARGA DE REFRIGERACIÓN | 28 |
| 1. | Carga por transmisión de calor en paredes | 28 |
| 2. | Carga del producto | 30 |
| 3. | Carga por infiltraciones de aire | 32 |
| H. | HEATCRAFT PROSELECT SOFTWARE | 32 |
| I. | COMPRESORES HERMÉTICOS | 33 |
| 1. | Definición general | 33 |
| 2. | Selección de compresor | 34 |
| J. | EVAPORADORES DE CONVECCIÓN NATURAL..... | 34 |
| 1. | Capacidad de un evaporador | 35 |
| 2. | Diseño de un evaporador | 35 |
| K. | CONDENSADORES DE CONVECCIÓN NATURAL | 38 |
| 1. | Capacidad de un condensador | 39 |
| 2. | Diseño de un condensador | 40 |
| L. | CICLO INVERTIDO DE CARNOT | 41 |
| M. | INFORMACIÓN ACERCA DE LA ALDEA EL PLATANAR..... | 43 |
| 1. | Localización y extensión | 44 |
| 2. | Clima | 44 |
| 3. | Aspectos culturales | 44 |
| 4. | Recursos naturales | 45 |

| | | |
|-----|----------------------------------------------------------------------|----|
| 5. | Población | 45 |
| 6. | Cantidad de viviendas..... | 45 |
| 7. | Ocupación y salarios..... | 45 |
| 8. | Servicios básicos | 45 |
| 9. | Infraestructura productiva | 46 |
| 10. | Entidades de apoyo a la aldea..... | 46 |
| V. | METODOLOGÍA..... | 48 |
| A. | ESTUDIO DE AMBIENTE | 48 |
| 1. | Encuestas | 48 |
| 2. | Visitas | 52 |
| B. | CREACIÓN DE SISTEMA PARA MONITOREO DE VARIABLES | 57 |
| C. | FASE DE DISEÑO | 59 |
| 1. | Modelo ECOFRIGO17..... | 59 |
| 2. | Modelo ECOFRIGO18..... | 63 |
| D. | REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN..... | 71 |
| E. | CÁLCULO DE CARGA DE REFRIGERACIÓN NECESARIA EN EL SISTEMA..... | 74 |
| 1. | Condiciones iniciales | 74 |
| 2. | Carga por transmisión de calor en paredes | 76 |
| 3. | Carga por producto | 78 |
| 4. | Carga por infiltraciones de aire | 80 |
| 5. | Carga total de refrigeración | 81 |
| F. | DISEÑO DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN | 82 |
| 1. | Condiciones iniciales del sistema | 82 |
| 2. | Selección del compresor del sistema | 83 |
| 3. | Diseño del evaporador del sistema | 84 |
| 4. | Diseño del condensador del sistema | 87 |

| | | |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5. | Selección de dispositivo de expansión | 90 |
| G. | BÚSQUEDA DE PROVEEDORES | 91 |
| 1. | Sistema de refrigeración | 91 |
| 2. | Espacio refrigerado | 94 |
| H. | FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DEL SISTEMA INTERNO DE REFRIGERACIÓN..... | 96 |
| 1. | Componentes iniciales para el sistema interno de refrigeración | 96 |
| 2. | Proceso de fabricación general para un sistema de refrigeración por compresión de vapor | 99 |
| I. | PRUEBAS A ECOFRIGO17 | 101 |
| 1. | Pruebas de laboratorio sin carga interna..... | 102 |
| 2. | Pruebas de laboratorio con carga interna..... | 102 |
| J. | PRUEBAS A ECOFRIGO18..... | 103 |
| 1. | Pruebas de laboratorio sin carga interna..... | 104 |
| 2. | Pruebas de laboratorio con carga interna..... | 104 |
| K. | COMPARACIÓN ENTRE PROTOTIPOS | 105 |
| 1. | Temperaturas internas | 105 |
| 2. | Ciclos de encendido y descanso del sistema de refrigeración..... | 109 |
| 3. | Costos energéticos | 112 |
| 4. | Tiempo para recuperar inversión en sistema de refrigeración..... | 114 |
| L. | PRUEBAS DE CAMPO PARA ECOFRIGO18 | 115 |
| 1. | Pruebas de campo sin carga interna..... | 115 |
| 2. | Pruebas de campo con carga interna | 117 |
| M. | COMPARACIÓN DE RENDIMIENTO | 119 |
| N. | ANÁLISIS TERMODINÁMICO A ECOFRIGO18 | 120 |
| 1. | Desempeño real | 120 |
| 2. | Desempeño de Carnot..... | 125 |
| 3. | Eficiencia de la segunda ley | 126 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| VI. CONCLUSIONES | 128 |
| VII. RECOMENDACIONES | 131 |
| VIII. BIBLIOGRAFÍA | 133 |
| IX. ANEXOS | 137 |
| A. CATÁLOGO DE COMPRESORES EMBRACO A 60 HZ UTILIZANDO REFRIGERANTE R – 134A. | 137 |
| B. PRIMER ENCUESTA REALIZADA EN LA ALDEA EL PLATANAR. .. | 138 |
| C. RESPUESTAS DE PRIMER ENCUESTA REALIZADA EN LA ALDEA EL PLATANAR. | 139 |
| D. SEGUNDA ENCUESTA REALIZADA EN LA ALDEA EL PLATANAR. 142 | |
| E. RESPUESTAS DE SEGUNDA ENCUESTA REALIZADA EN LA ALDEA EL PLATANAR. | 143 |
| F. COTIZACIÓN REALIZADA EN DISTRIBUIDORA GRANADA S.A. | 145 |
| G. COTIZACIÓN REALIZADA EN UNIREFRI S.A. | 146 |
| H. COTIZACIÓN REALIZADA EN CONGELSA S.A. | 147 |
| I. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ESPACIO REFRIGERADO | 148 |
| J. RECOMENDACIONES DE USO | 154 |
| K. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR | 155 |
| 1. Fabricación y ensamble del evaporador | 155 |
| 2. Instalación del tubo capilar | 159 |
| 3. Instalación del condensador | 161 |
| 4. Instalación del filtro deshidratante | 163 |
| 5. Instalación de componentes a compresor | 165 |
| 6. Vacío y cargado de refrigerante al sistema | 167 |
| 7. Instalación de termostato | 169 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| L. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO EN ARDUINO UNO PARA EL MONITOREO DE VARIABLES. | 172 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|

LISTADO DE EXPRESIONES

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Expresión No. 1: Transferencia de calor en estado estacionario (q_t)..... | 29 |
| Expresión No. 2: Coeficiente de transferencia de calor (U). | 29 |
| Expresión No. 3: Disminución de temperatura inicial a una temperatura menor y superior la temperatura de congelación (Q_1). | 30 |
| Expresión No. 4: Carga promedio de enfriamiento de producto en un tiempo promedio (q_1). | 31 |
| Expresión No. 5: Carga promedio por respiración durante el enfriamiento del producto desde una temperatura inicial a una final en W / ton (q_2)..... | 31 |
| Expresión No. 6: Carga promedio por respiración en W (q_2)..... | 32 |
| Expresión No. 7: Potencia frigorífica de un evaporador corregida (Q_c)..... | 37 |
| Expresión No. 8: Calor extraído por el evaporador del espacio refrigerado (q_{evap})..... | 37 |
| Expresión No. 9: Salto térmico del evaporador en diseño (ΔT_E)..... | 38 |
| Expresión No. 10: Calor disipado por un condensador al sumidero (q_{cond}). | 39 |
| Expresión No. 11: Salto térmico del condensador en diseño (ΔT_C). | 39 |
| Expresión No. 12: Capacidad nominal del condensador (q_n). | 41 |
| Expresión No. 13: Eficiencia para un ciclo de refrigeración real (COP_{Real}). | 42 |
| Expresión No. 14: Eficiencia máxima para un ciclo invertido de Carnot ($\text{COP}_{\text{Carnot}}$)... | 43 |
| Expresión No. 15: Área superficial de una caja rectangular (A_s). | 75 |
| Expresión No. 16: Largo necesario para una tubería como intercambiador de calor (l_{evap}). | 86 |
| Expresión No. 17: Calor expulsado por varillas difusoras del condensador del segundo prototipo (q_{varillas})..... | 88 |
| Expresión No. 18: Longitud necesaria de tubería de acero para el condensador (l_{cond}). | 89 |
| Expresión No. 19: Capacidad de enfriamiento para un ciclo de refrigeración (Q_L).... | 123 |
| Expresión No. 20: Trabajo real realizado por un compresor bajo condiciones reales (W). | 124 |
| Expresión No. 21: Eficiencia de la segunda ley de la termodinámica para un ciclo de refrigeración (η_{II}). | 126 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla No. 1: Propiedades físicas y denominación del refrigerante R – 134 a..... | 15 |
| Tabla No. 2: Propiedades de materiales. | 20 |
| Tabla No. 3: Características de materiales aislantes..... | 27 |
| Tabla No. 4: Características de materiales estructurales | 27 |
| Tabla No. 5: Factores de corrección por refrigerante según la condición de trabajo. ... | 35 |
| Tabla No. 6: Factor de refrigerante según el tipo de refrigerante utilizado en el sistema de refrigeración. | 40 |
| Tabla No. 7: Factor de altitud según la altitud en la que se encuentre el sistema con respecto al nivel del mar. | 40 |
| Tabla No. 8: Distancia desde y hacia la Aldea El Platanar. | 46 |
| Tabla No. 9: Población y rango de edades en Aldea El Platanar. | 46 |
| Tabla No. 10: Ensamblaje del modelo implementado | 64 |
| Tabla No. 11: Requerimientos y restricciones para el sistema de refrigeración. | 71 |
| Tabla No. 12: Requerimientos y restricciones para el compresor. | 72 |
| Tabla No. 13: Requerimientos y restricciones para el evaporador. | 72 |
| Tabla No. 14: Requerimientos y restricciones para condensador. | 73 |
| Tabla No. 15: Requerimientos y restricciones para el dispositivo de expansión. | 73 |
| Tabla No. 16: Requerimientos y restricciones para el termostato. | 73 |
| Tabla No. 17: Dimensiones internas y externas del espacio refrigerado del segundo prototipo..... | 74 |
| Tabla No. 18: Áreas superficiales del espacio refrigerado diseñado por Rubén Barillas. | 75 |
| Tabla No. 19: Temperaturas teóricas a alcanzar dentro y fuera del espacio refrigerado. | 75 |
| Tabla No. 20: Conductancias, conductividades térmicas y espesores de materiales en el espacio refrigerado..... | 76 |
| Tabla No. 21: Coeficientes de transferencia de calor en las superficies del espacio refrigerado..... | 77 |
| Tabla No. 22: Cargas individuales y total por transmisión de calor por medio de las superficies | 77 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla No. 23: Calores específicos y coeficientes a y b de los alimentos dentro del espacio refrigerado..... | 78 |
| Tabla No. 24: Cargas individuales y total por almacenamiento de producto y carga por respiración de producto..... | 79 |
| Tabla No. 25: Valores utilizados en la interfaz del software de HeatCraft Proselect. .. | 80 |
| Tabla No. 26: Carga total a suplir por el sistema de refrigeración. | 82 |
| Tabla No. 27: Condiciones iniciales del sistema de refrigeración..... | 82 |
| Tabla No. 28: Condiciones iniciales de diseño del evaporador del sistema de refrigeración..... | 84 |
| Tabla No. 29: Capacidad de refrigeración para el compresor EMI 45HER según las temperaturas de evaporación y condensación..... | 84 |
| Tabla No. 30: Factores y coeficientes para el diseño del evaporador del sistema de refrigeración..... | 85 |
| Tabla No. 31: Capacidad nominal de refrigeración del compresor y capacidad de refrigeración del evaporador en condiciones de trabajo. | 85 |
| Tabla No. 32: Datos técnicos para el diseño del evaporador del sistema de refrigeración del segundo prototipo. | 86 |
| Tabla No. 33: Condiciones iniciales del compresor en el sistema de refrigeración del segundo prototipo. | 87 |
| Tabla No. 34: Calor expulsado por condensador al ambiente en el sistema de refrigeración del segundo prototipo. | 88 |
| Tabla No. 35: Calor expulsado por varillas difusoras del condensador al sumidero del segundo prototipo. | 89 |
| Tabla No. 36: Calor expulsado por la tubería de acero del condensador del segundo prototipo..... | 89 |
| Tabla No. 37: Longitud necesaria para la tubería del condensador del segundo sistema de refrigeración. | 90 |
| Tabla No. 38: Opciones para elección de tubo capilar para el compresor Embraco EMI 45HER. | 91 |
| Tabla No. 39: Proveedores cotizados en Guatemala. | 91 |
| Tabla No. 40: Cuadro comparativo de costos de componentes entre proveedores. | 92 |
| Tabla No. 41: Costo de accesorios para el segundo prototipo con IVA incluido. | 92 |
| Tabla No. 42: Costo final del segundo prototipo del sistema de refrigeración. | 93 |
| Tabla No. 43: Análisis de costos para el espacio refrigerado. | 94 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla No. 44: Proceso de fabricación para un sistema de refrigeración por compresión de vapor. | 99 |
| Tabla No. 45: Diferencias de temperaturas en datos estadísticos en las pruebas sin carga para el primer y segundo prototipo. | 106 |
| Tabla No. 46: Diferencias de temperaturas en datos estadísticos en las pruebas con carga para el primer y segundo prototipo. | 108 |
| Tabla No. 47: Cantidad de ciclos de ascenso, descenso y totales y sus respectivos tiempos para el segundo prototipo según el nivel en el termostato. | 110 |
| Tabla No. 48: Costo energético mensual según el nivel en el termostato del segundo prototipo. | 112 |
| Tabla No. 49: Consumo energético mensual para dos casos distintos para el primer prototipo. | 112 |
| Tabla No. 50: Porcentaje de error en cálculo de consumo energético en el mes de pruebas para el segundo prototipo en comparación a consumos energéticos antiguos de la familia Puac. | 114 |
| Tabla No. 51: Cálculo de meses para recuperar la diferencia en el costo de fabricación del sistema de refrigeración al ahorrar en consumo energético. | 114 |
| Tabla No. 52: Datos estadísticos de prueba de campo sin carga interna del segundo prototipo. | 116 |
| Tabla No. 53: Datos estadísticos de prueba de campo con carga interna del segundo prototipo. | 118 |
| Tabla No. 54: Suposiciones a tomar en el ciclo de refrigeración sin irreversibilidades. | 121 |
| Tabla No. 55: Suposiciones a tomar en el ciclo de refrigeración con irreversibilidades. | 122 |
| Tabla No. 56: Estados del ciclo de refrigeración definidos, definiendo al estado 1 como vapor saturado. | 122 |
| Tabla No. 57: Estados del ciclo de refrigeración definidos, definiendo al estado 1 con la presión interna de 5 psi. | 122 |
| Tabla No. 58: Capacidad de enfriamiento para el ciclo de refrigeración del segundo prototipo. | 123 |
| Tabla No. 59: Trabajo real realizado por el compresor bajo condiciones reales. | 124 |
| Tabla No. 60: COP real para el segundo prototipo. | 125 |
| Tabla No. 61: Desempeño de Carnot para un ciclo totalmente reversible. | 126 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla No. 62: Eficiencia de la segunda ley de la termodinámica para el segundo prototipo. | 127 |
| Tabla No. 63: Proceso de fabricación del modelo implementado | 149 |

LISTADO DE ILUSTRACIONES

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración No. 1: Esquema de ciclo de refrigeración por compresión de vapor. | 8 |
| Ilustración No. 2: Compresor del sistema de refrigeración. | 9 |
| Ilustración No. 3: Condensador del sistema de refrigeración. | 9 |
| Ilustración No. 4: Válvula de expansión del sistema de refrigeración. | 10 |
| Ilustración No. 5: Evaporador del sistema de refrigeración. | 10 |
| Ilustración No. 6: Diagrama T-s para ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor. | 11 |
| Ilustración No. 7: Nevera casera hecha a base de una hielera y una base de madera. | 12 |
| Ilustración No. 8: Heatcraft ProSelect Software y THE HUB. | 33 |
| Ilustración No. 9: Compresor hermético utilizado para refrigeración. | 34 |
| Ilustración No. 10: Gráfico para obtener nuevo salto térmico DT_1 , según las humedades relativas. | 36 |
| Ilustración No. 11: Gráfica para obtención del factor de corrección por condición de cálculo según la temperatura de la cámara, DT_1 y condición. | 36 |
| Ilustración No. 12: Condensador de convección natural con varillas difusoras desacoplado de un sistema de refrigeración. | 38 |
| Ilustración No. 13: Factor de corrección por compresión según las temperaturas de evaporación y temperaturas de condensación. | 40 |
| Ilustración No. 14: Diagrama T – s para un ciclo reversible de Carnot. | 42 |
| Ilustración No. 15: Vista en planta sin escala de la Aldea El Platanar. | 47 |
| Ilustración No. 16: Familia Puac en el área de la cocina. | 53 |
| Ilustración No. 17: Plano de la cocina. | 54 |
| Ilustración No. 18: Condición inicial de los interruptores. | 55 |
| Ilustración No. 19: Condición inicial de empalmes. | 55 |
| Ilustración No. 20: Condición final de interruptores. | 55 |
| Ilustración No. 21: Condición final de empalmes. | 56 |
| Ilustración No. 22: Condición final de acometida eléctrica. | 56 |
| Ilustración No. 23: Componentes iniciales para el sistema de Arduino: Tarjeta Arduino UNO, Cable para conexión entre Arduino UNO y PC, Sensores de temperatura y Protoboard. | 57 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ilustración No. 24: Sistema para monitoreo de variables. Donde 1: Sensores de temperatura, 2: Modulo tarjeta MicroSD, 3: Switch para iniciar sistema y 4: Indicador de funcionamiento. | 58 |
| Ilustración No. 25: Sistema de monitoreo de variables dentro del contenedor plástico. | 58 |
| Ilustración No. 26: Exterior del primer modelo. | 60 |
| Ilustración No. 27: Bisagras instaladas. | 61 |
| Ilustración No. 28: Ganchos de cierre. | 61 |
| Ilustración No. 29: Interior del primer modelo. | 62 |
| Ilustración No. 30: Diseño del ensamblaje propuesto. | 64 |
| Ilustración No. 31: Diseño del cuerpo interior del espacio refrigerado. | 65 |
| Ilustración No. 32: Vista ortogonal 1 del cuerpo interior. | 66 |
| Ilustración No. 33: Vista ortogonal 2 del cuerpo interior. | 66 |
| Ilustración No. 34: Diseño de base para evaporador. | 67 |
| Ilustración No. 35: Vista ortogonal 1 de base del serpentín. | 67 |
| Ilustración No. 36: Vista ortogonal 2 de base del serpentín. | 67 |
| Ilustración No. 37: Diseño del cuerpo exterior del espacio refrigerado. | 68 |
| Ilustración No. 38: Vista ortogonal 1 del cuerpo exterior. | 69 |
| Ilustración No. 39: Vista ortogonal 2 del cuerpo exterior. | 69 |
| Ilustración No. 40: Puerta del modelo implementado. | 70 |
| Ilustración No. 41: Vista ortogonal 1 de la puerta. | 70 |
| Ilustración No. 42: Vista ortogonal 2 de la puerta. | 70 |
| Ilustración No. 43: Interfaz para el cálculo de carga por infiltraciones de aire por método de la velocidad del aire en HeatCraft Proselect. | 81 |
| Ilustración No. 44: Información técnica del compresor EMI 45HER de marca Embraco. | 83 |
| Ilustración No. 45: Condensador con varillas difusoras y compresor Embraco EMI 45HER en su caja. | 97 |
| Ilustración No. 46: Filtro deshidratante (Superior), válvula soldable (Izquierda), tubo capilar (Centro) y termostato (Derecha). | 97 |
| Ilustración No. 47: Tubería de cobre para evaporador del sistema de refrigeración. | 98 |
| Ilustración No. 48: Compresor Embraco EMI 45HER para el sistema de refrigeración fuera de la caja. | 98 |
| Ilustración No. 49: Posición del sensor para temperatura interna dentro del espacio refrigerado del primer prototipo. | 101 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ilustración No. 50: Posición del sensor de temperatura interna dentro del espacio refrigerado del segundo prototipo..... | 103 |
| Ilustración No. 51: Gráfico con la temperatura interna del segundo prototipo y primer prototipo durante la prueba sin carga interna. | 105 |
| Ilustración No. 52: Gráfico con la temperatura interna del segundo prototipo y primer prototipo durante la prueba con carga interna. | 107 |
| Ilustración No. 53: Gráfico de ciclo de encendido y descanso para el compresor en el segundo prototipo en un nivel 7 de termostato. | 110 |
| Ilustración No. 54: Gráfico de ciclo de encendido y descanso para el compresor en el primer prototipo. | 111 |
| Ilustración No. 55: Gráfica de consumos energéticos de la familia Puac. | 113 |
| Ilustración No. 56: Segundo prototipo siendo entregada a la familia Puac para realizar pruebas de campo. | 115 |
| Ilustración No. 57: Gráfico de prueba de campo sin carga interna del segundo prototipo. | 116 |
| Ilustración No. 58: Gráfico de prueba de campo con carga interna del segundo prototipo. | 117 |
| Ilustración No. 59: Comparación de pruebas de rendimiento. | 119 |
| Ilustración No. 60: Ciclo termodinámico T – s para un ciclo de refrigeración sin irreversibilidades..... | 120 |
| Ilustración No. 61: Ciclo termodinámico T – s para un ciclo de refrigeración real. ... | 121 |
| Ilustración No. 62: Respuestas para primera pregunta de la primera encuesta. | 139 |
| Ilustración No. 63: Respuestas para la décima pregunta de la primera encuesta. | 140 |
| Ilustración No. 64: Respuestas para la catorceava pregunta de la primera encuesta. .. | 141 |
| Ilustración No. 65: Dobladora de tubos manual acoplado a la tubería de cobre realizando un doblado a 90°. | 155 |
| Ilustración No. 66: Espacio para evaporador diseñado por Rubén Barillas y primer evaporador fabricado para sistema de refrigeración. | 156 |
| Ilustración No. 67: Imperfecciones comunes en el primer evaporador para el segundo prototipo..... | 157 |
| Ilustración No. 68: Segundo intento de fabricación del evaporador para el segundo prototipo..... | 158 |
| Ilustración No. 69: Evaporador con separadores y acople al cajón del espacio refrigerado. | 158 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ilustración No. 70: Soldadura del tubo capilar al evaporador del segundo prototipo. | 159 |
| Ilustración No. 71: Eliminación de sector del evaporador y capilar debido a obstrucción por soldadura. | 160 |
| Ilustración No. 72: Aplicación de soldadura nuevamente al evaporador y al tubo capilar del sistema de refrigeración. | 160 |
| Ilustración No. 73: Tubo capilar enrollado en las afueras del espacio refrigerado, en la parte inferior de la refrigeradora. | 161 |
| Ilustración No. 74: Condensador original adquirido para el sistema (Izquierda) y condensador luego de eliminarle el exceso de tubería (Derecha). | 162 |
| Ilustración No. 75: Pernos utilizados para la fijación del condensador a la refrigeradora. | 162 |
| Ilustración No. 76: Filtro deshidratante indicando la dirección en la cual debe de ser instalado. | 163 |
| Ilustración No. 77: Unión entre filtro y condensador y la sujeción del extremo que será soldado al tubo capilar. | 164 |
| Ilustración No. 78: Soldaduras y uniones realizadas al filtro deshidratante con extremo adicional para vacío. | 164 |
| Ilustración No. 79: Abocardador manual para tuberías. | 165 |
| Ilustración No. 80: Abocardado aplicado al extremo del evaporador del sistema de refrigeración. | 165 |
| Ilustración No. 81: Soldadura del evaporador y compresor para realizar su unión. | 166 |
| Ilustración No. 82: Soldadura del condensador y compresor para realizar su unión. | 166 |
| Ilustración No. 83: Proceso de vaciado durante 30 minutos al sistema para obtener una presión de -20 psia en el sistema. | 168 |
| Ilustración No. 84: Presión dentro del sistema luego de esperar un lapso de 1 hora luego del vacío. | 168 |
| Ilustración No. 85: Inicio de proceso de carga de refrigerante al sistema de refrigeración desde -20 psi hasta 5 psi. | 169 |
| Ilustración No. 86: Termostato de tipo ambiental instalado dentro del espacio refrigerado. | 170 |
| Ilustración No. 87: Sistema de refrigeración completamente instalado en el espacio refrigerado. | 170 |
| Ilustración No. 88: Producto final del segundo prototipo de refrigeradora económica. | 171 |

RESUMEN

El tema de investigación propuesto surge de la idea de adaptar a condiciones reales el trabajo de graduación de los graduados de Ingeniería Mecánica, *Enrique Juárez y Alfonso Martínez*, de la *Universidad del Valle de Guatemala*. Dicho trabajo de graduación, denominado ECOFRIGO17, consistió en el diseño y manufactura de un aparato de refrigeración. Este aparato fue fabricado con materiales reciclados y de bajo costo tomando en cuenta que se deseaba obtener un bajo consumo eléctrico del aparato y orientarlo a un mercado de consumo con precios de compra más accesibles.

Para el presente trabajo se analizó este aparato en condiciones reales. Adicionalmente, se retoma la idea de rediseñar el dispositivo con bajo costo de fabricación y bajo consumo eléctrico. Se tomó esta decisión debido a que se detectan inconvenientes sanitarios y operacionales con el aparato de refrigeración de nuestros compañeros. En esta ocasión se tomaron en cuenta las necesidades de los usuarios objetivos. Para esto, se seleccionó a un grupo de personas para analizar sus necesidades de refrigeración mediante encuestas. Con base en los resultados se diseñó un prototipo adecuado al estilo de vida y hábitos alimenticios de las personas.

En cuanto al espacio refrigerado se refiere, se rediseñó y fabricó tomando en cuenta el consumo de alimentos de las personas de la aldea “El Platanar”. Esto con el fin de satisfacer las necesidades de refrigeración de alimentos que estas personas consumen normalmente. Una vez establecido el nuevo diseño, se llevó el modelo original (fabricado por Juárez y Martínez) a una vivienda en El Platanar para evaluar su desempeño bajo condiciones reales. Posteriormente se llevó el segundo prototipo y se evaluó su desempeño en las mismas condiciones. Los resultados de ambos prototipos se analizaron y compararon posteriormente.

Los resultados de consumo eléctrico del modelo ECOFRIGO17 presenta un registro de 52.62 kWh en un período de 31 días. El modelo implementado tuvo un consumo eléctrico de 19.87 kWh en el mismo período de operación. Obteniendo una reducción total de consumo de 32.75 kWh en un período de 31 días de operación por parte del nuevo modelo. En cuanto a los costos de fabricación del espacio refrigerado, se registra un costo de Q 928.35. En comparación con el costo de fabricación de ECOFRIGO17 el cual fue de Q. 390.00. Se obtiene una diferencia de fabricación de Q 538.35. Y una diferencia de Q 128.35 en comparación con el objetivo planteado de Q 800.00.

Mientras que para el sistema de refrigeración se centró en el diseño y manufactura de éste. El diseño se realizó tomando en consideración los alimentos del grupo de personas objetivo y las condiciones del área donde estas personas se encuentran. Además, este sistema de refrigeración mantiene el espacio refrigerado a 4.94°C para asegurar la inocuidad dentro del espacio, con un consumo energético mensual de 19.87 kWh. El sistema fabricado presenta un costo de fabricación de Q1304.25.

Por otro lado, se presenta un manual de construcción del sistema refrigerado y un manual de uso para el operador. Por último, se realizaron pruebas de laboratorio al primer y segundo prototipo de refrigeradora en funcionamiento sin carga interna y en funcionamiento con carga interna. Para una demostración del funcionamiento de los prototipos, se evaluaron en condiciones reales de trabajo en la aldea de estudio El Platanar.

I. INTRODUCCIÓN

La constante mejora, diseño y creación de nuevos sistemas y componentes es el objetivo principal de la ingeniería. A través de conceptos termodinámicos, se analizó un sistema de refrigeración por medio de la compresión de vapor y se procedió a diseñar un nuevo sistema.

Se hizo un estudio y análisis general al primer prototipo realizado por Luis Alfonso Solís y Enrique Juárez, ex alumnos de la Universidad del Valle. Luego de este estudio se llegó a la conclusión de que era necesario hacer un segundo prototipo de refrigeradora. Dicho prototipo está enfocado en las necesidades y deseos de un grupo reducido de personas en una aldea del país de Guatemala llamada El Platanar.

El diseño propuesto se elaboró tomando en consideración la reducción de recursos, costos de fabricación, cumpliendo los lineamientos básicos para una refrigeración inocua y necesidades promedio de un hogar. El prototipo propuesto y diseñado, está realizado con base en compras locales, con el propósito de demostrar la posibilidad de producción de un sistema de refrigeración con la utilización componentes del mercado local.

Por lo tanto, el objetivo general de este proyecto es diseñar y fabricar un prototipo de refrigeradora de bajo costo y bajo consumo eléctrico que se adapte a las condiciones de comunidades de escasos recursos. Con esto se pretende que estas personas que cuentan con acceso a energía eléctrica tengan la oportunidad de adquirir un aparato de refrigeración a un precio accesible. Los beneficios principales que obtendrán estas personas al poseer un aparato de refrigeración es prolongar la vida de los alimentos lo cual previene la ingesta de alimentos en mal estado que puedan provocar enfermedades.

Otro beneficio que obtienen las personas es el almacenamiento de medicinas que necesiten refrigeración para no perder sus propiedades. Además, se adaptará el diseño de nuestro prototipo a las condiciones generales de los hogares del grupo de estudio para que cuenten con las características ideales para el almacenamiento de los recipientes en los cuales se almacenan los alimentos.

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO DEL MEGAPROYECTO

- Diseñar y fabricar un modelo de refrigeración de bajo costo y bajo consumo eléctrico que se adapte a las necesidades de las personas de la aldea “*El Platanar*”.

B. OBJETIVOS DEL MÓDULO DE ESPACIO REFRIGERADO

1. Objetivo general

- Fabricar un espacio refrigerado para suplir la necesidad de refrigeración de alimentos de las personas de la aldea “El Platanar”.

2. Objetivos específicos

- Diseñar un modelo de refrigeración que utilice materiales reciclados o reutilizados para obtener un costo de fabricación que se adapte al ingreso promedio de Q. 1,800.00 mensuales de las personas de las comunidades de la aldea “El Platanar”.
- Seleccionar materiales de origen reciclado o reutilizado que cumplan con las características necesarias para la fabricación del prototipo de refrigeración basado en cargas estipuladas para las personas de la comunidad seleccionada.
- Diseñar el espacio interno del espacio refrigerado en conjunto con las necesidades de las personas de la comunidad seleccionada.
- Manufacturar el espacio refrigerado con un costo promedio de Q500.00 a Q800.00.
- El modelo implementado debe consumir menos de 52.62 kWh durante el período de análisis establecido de 31 días.

- El modelo final tiene que tener dimensiones menores al modelo anterior, que son 59 centímetros de ancho, 65 centímetros de profundidad y 125 centímetros de alto.

C. OBJETIVOS DEL MÓDULO DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

1. Objetivo general

- Diseñar y manufacturar un sistema de refrigeración para un espacio refrigerado enfocado en las necesidades de la comunidad “*El Platanar*”.

2. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de refrigeración que mantenga el espacio refrigerado debajo de los 5 grados centígrados.
- Adaptar el sistema de refrigeración con una carga de refrigeración enfocada en los alimentos comunes de la comunidad “*El Platanar*”.
- Elaborar un manual de diseño del sistema de refrigeración.
- Elaborar un manual del usuario del sistema de refrigeración.
- Realizar pruebas de temperatura, consumo energético y carga al primer y segundo prototipo del sistema de refrigeración en condiciones reales dentro de la comunidad “*El Platanar*”.
- Obtener realimentación por parte de las familias de la comunidad acerca de la refrigeradora para la futura iteración del prototipo.

III. JUSTIFICACIÓN

El costo de los aparatos de refrigeración es la principal causa de que las personas de las comunidades de la aldea “El Platanar” no cuenten con la posibilidad de adquirir una refrigeradora. El 80% de las familias de estas comunidades no cuentan con aparatos de refrigeración ya que los costos de estos se encuentran por encima de su presupuesto.

Según la organización comercial “Alimentación Sana”, almacenar alimentos a temperatura ambiente produce la descomposición de los mismos de una forma acelerada, a diferencia de si estos llevan un proceso de refrigeración. Esto se debe a que microorganismos y hongos degradan los productos orgánicos. Cuando esto ocurre y los humanos consumimos alimentos en este estado, se producen enfermedades causadas por los hongos y bacterias que consumimos. La refrigeración por otra parte reduce considerablemente el tiempo de formación de hongos y microorganismos que descomponen los alimentos. (Organización Alimentación Sana, 2018)

El prototipo de la fase anterior pretendía lograr una refrigeración de bajo consumo eléctrico y un diseño de precio accesible para personas de escasos recursos. Sin embargo, el modelo no toma en cuenta las necesidades de este segmento económico. Esto se debe a que el prototipo anterior fue diseñado con base en la canasta básica de Guatemala. Por lo cual, no se tomaron en cuenta consideraciones como la cantidad y tipo de comida que consumen las personas, el área de cocina de personas de escasos recursos, la economía de las personas a las cuales está dirigida la refrigeradora, entre otras.

La importancia de tomar en cuenta estas consideraciones nos permiten diseñar un modelo que sea del agrado de las personas de la aldea “*El Platanar*”. Se toma la idea de este modelo para poder dar la oportunidad a personas de escasos recursos de adquirir un aparato que se adecúe a su economía. De esta forma podrán gozar de las comodidades y beneficios que ofrece un aparato de refrigeración.

Con las encuestas realizadas en septiembre de 2017, se encontró que las personas del El Platanar no tienen acceso a aparatos de refrigeración debido a los altos costos de estos. Esto se debe a que el ingreso promedio de las personas económicamente activas de la aldea es de Q 1,800.00 mensuales. Por otro lado, el consumo energético es otro aspecto que las personas toman en cuenta. Por lo que el propósito de este proyecto es fabricar un prototipo de refrigeradora de bajo costo y bajo consumo eléctrico usando materiales reutilizados y reciclados junto con una propuesta de diseño eficiente. El bajo consumo eléctrico se pretende lograr mediante el diseño del espacio refrigerado adecuado a las necesidades de las personas y la manufactura adecuada para evitar consumos eléctricos mayores a los del modelo anterior.

IV. MARCO TEÓRICO

A. REFRIGERACIÓN ACTUAL

1. Refrigeradores

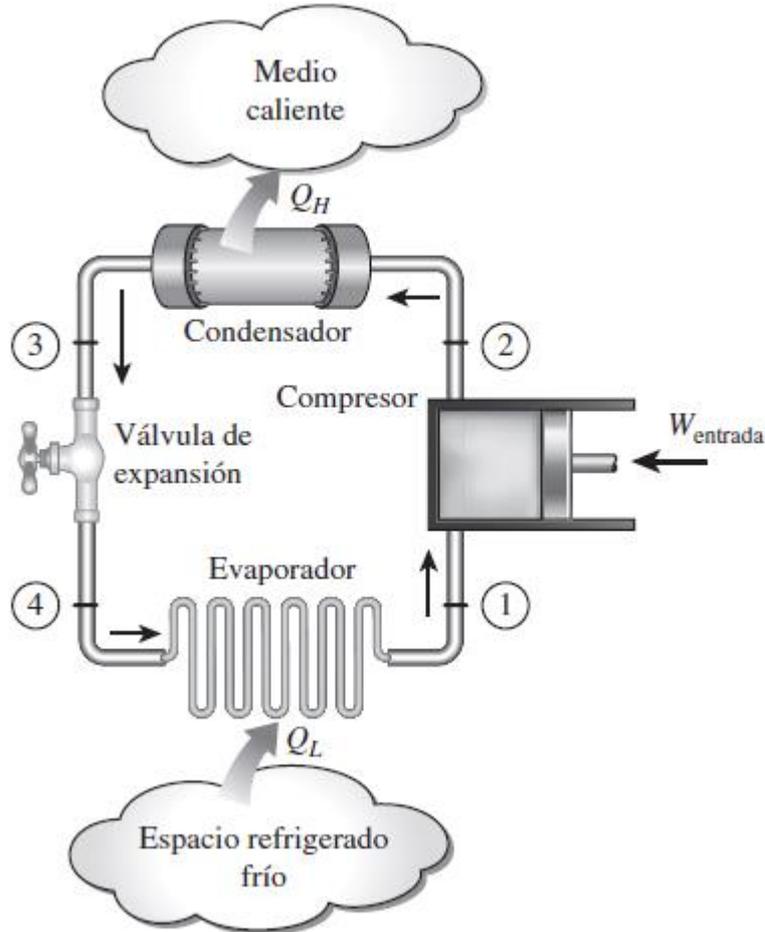
Para lograr entender el funcionamiento de un refrigerador, es importante conocer el ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Este es el ciclo que comúnmente se utiliza para aplicaciones de refrigeradores domésticos a nivel mundial y es este ciclo el que se utilizará para llevar a cabo el modelo de la refrigeradora de bajo costo y bajo consumo. Además, es importante conocer el fluido de trabajo del sistema cíclico de refrigeración el cual se conoce como refrigerante. Este fluido es el que transmite la energía térmica en el sistema como se verá más adelante.

Además del sistema de refrigeración, el cuerpo de una máquina frigorífica es de suma importancia para poder lograr el objetivo del sistema. El diseño de ambos está directamente relacionado el uno del otro ya que sus características y especificaciones de funcionamiento son dependientes. El espacio refrigerado debe diseñarse de la mejor forma posible para lograr extraer el calor necesario para la refrigeración de productos que se encuentren dentro de este. También debe diseñarse un sistema que permita que el refrigerante realice su función de forma eficiente y segura.

Debido al principio de funcionamiento que el sistema de refrigeración necesita, es necesario transformar energía eléctrica en trabajo de compresión. Esto se logra cuando la energía eléctrica se obtiene de las conexiones de 110V de los hogares y se utiliza para transformarse en trabajo mediante el accionamiento de un compresor. El compresor aprovecha esta energía y la transforma en trabajo que posteriormente requiere el refrigerante para la transformación de energía térmica.

a. **Ciclo de refrigeración por compresión de vapor**

Ilustración No. 1: Esquema de ciclo de refrigeración por compresión de vapor.



(Boles & Cengel, 2011)

Los principales componentes del ciclo de refrigeración por compresor de vapor son:

- **Compresor:** En esta etapa comienza el ciclo de refrigeración mediante el funcionamiento del compresor por energía eléctrica. El refrigerante entra al compresor en estado de vapor saturado (idealmente). En este dispositivo se comprime el gas hasta la presión de trabajo del condensador. Además, aumenta la temperatura del refrigerante.

Ilustración No. 2: Compresor del sistema de refrigeración.



(Elaboración propia, 2018)

- Condensador: En este dispositivo ocurre la transferencia de calor del refrigerante a una temperatura alta hacia el medio circundante que, en este caso, es la cocina donde se ubicará la refrigeradora. El refrigerante sale de este dispositivo con una temperatura menor y con una presión igual a la que ingresó a este (en un ciclo idealizado sin contar pérdidas). La pérdida de calor del refrigerante se da debido a que el condensador es un intercambiador de calor mediante dos fluidos. El aire circundante de la cocina es el fluido que permite extraer del refrigerante que yace en el interior del condensador.

Ilustración No. 3: Condensador del sistema de refrigeración.



(Elaboración propia, 2018)

- Válvula de expansión: Este dispositivo recibe el refrigerante que sale del condensador y lo estrangula de forma en que el refrigerante disminuye considerablemente su presión y temperatura. Condiciones que definirán la temperatura del espacio refrigerado.

Ilustración No. 4: Válvula de expansión del sistema de refrigeración.



(Elaboración propia, 2018)

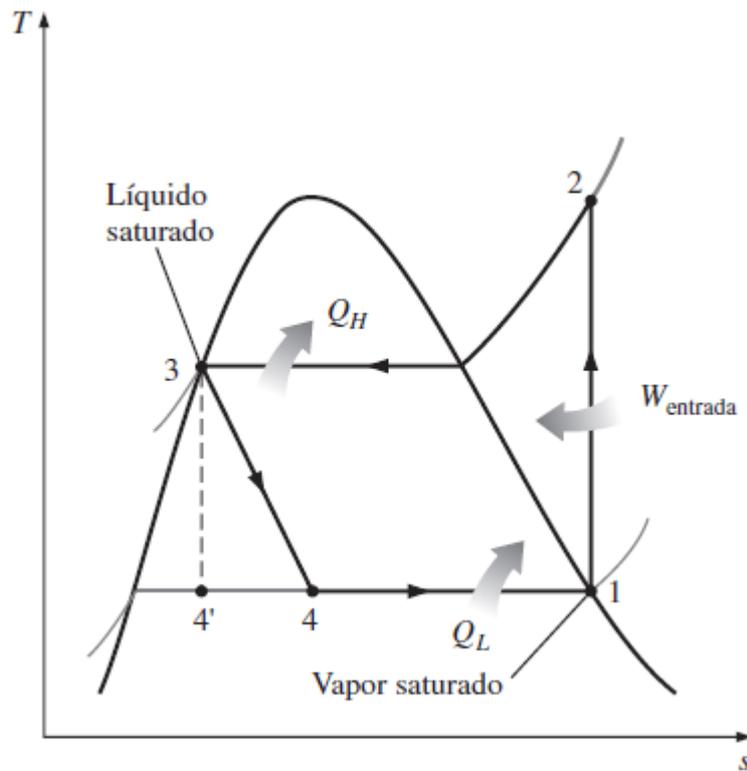
- Evaporador: El refrigerante que sale de la válvula de expansión entra a este intercambiador en el cual se absorbe el calor y de esta forma se evapora el refrigerante. Esto resulta en la disminución de la temperatura dentro del espacio refrigerado.

Ilustración No. 5: Evaporador del sistema de refrigeración.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 6: Diagrama T-s para ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.



(Boles & Cengel, 2011)

2. Refrigeradoras reciclables

Las refrigeradoras enfocadas en materiales reciclables o de fácil acceso están fabricadas a base de poliestireno expandido. El problema de utilizar materiales reciclados es que existe el riesgo de que estos se encuentren contaminados y dañen los alimentos refrigerados. La mayoría de dichos materiales están contaminados por algún agente dañino que podría traspasarse a los alimentos. Por otro lado, las refrigeradoras más económicas son de un tamaño extremadamente pequeño.

Ilustración No. 7: Nevera casera hecha a base de una hielera y una base de madera.



(Tutéate, 2018)

3. Refrigeradoras de uso doméstico

La función de una máquina de refrigeración es el tomar el calor del interior del refrigerador y expulsarla al exterior, empleando una fuente de energía externa para mantener el proceso. Un refrigerador técnicamente hablando, es una bomba de calor impulsada generalmente por un motor eléctrico. (NER, Cómo funciona un refrigerador, s.f.)

Para que la eficiencia sea máxima, la diferencia de temperatura entre el condensador, que contiene el calor absorbido por el refrigerante en el evaporador, y el aire ambiente debe ser máxima. Por lo tanto, mientras más diferencia de temperatura exista más eficiente será el intercambio de calor. (NER, Cómo funciona un refrigerador, s.f.)

Por otro lado, son más eficientes aquellos que disponen de dos compresores, uno para cada compartimento de la refrigeradora: refrigeración y congelación. Esto se debe a que si se abre constantemente la puerta del refrigerador, se pondrá en funcionamiento solamente uno de los dos compresores, sin extraer calor al compartimento que no está siendo afectado en este caso el del congelador.

4. Fallas comunes de refrigeradoras

Entre las fallas más comunes de refrigeradoras se encuentran la falta de enfriamiento general, la cual se puede atribuir al mal funcionamiento del compresor o la ausencia de gas para enfriamiento. Otra falla común es la falla del compresor del congelador, el cual puede ser por fallas en el termostato, ya que este es el que energiza directamente a dicho compresor. (Luis, s.f.)

Otra de las fallas comunes es el de la ausencia de refrigeración en partes bajas del sistema, puede ser por termostato, resistencia de deshielo, ventilador o bimetálico. (Luis, s.f.)

B. REFRIGERANTES

Para el diseño y fabricación de refrigeradores de hogares, es de suma importancia conocer los efectos que tienen los refrigerantes en los alimentos y el contacto con los humanos en caso de fugas o imprevistos que puedan ocurrir. Por lo tanto, es prudente mencionar los refrigerantes que se han utilizado desde la primera aplicación de estos en una refrigeradora y como han evolucionado y cambiado con el paso de los años hasta hoy en día. El éter etílico fue el primer refrigerante en ser utilizado para la aplicación de espacios refrigerados que funcionaban con el ciclo de compresión de vapor. Luego de éste se utilizaron refrigerantes como amoníaco, dióxido de carbono, cloruro metílico, dióxido de azufre, butano, propano, entre otros.

Los refrigerantes antes mencionados fueron forzados a ser reemplazados en el uso de refrigeración doméstica debido a que sus niveles de toxicidad son muy altos y ocasionaron múltiples lesiones e incluso muertes debido a sus efectos tóxicos. Uno de los refrigerantes más utilizados fue el amoníaco. Esto se debía a su bajo costo y a los altos rendimientos o "COP" (Coefficient of Performance, por sus siglas en inglés). Dados estos problemas se encuentra la necesidad de desarrollar refrigerantes que sean seguros para el uso doméstico. Debido a esto surgieron múltiples refrigerantes artificiales. Actualmente se utiliza el refrigerante R-134a que es un refrigerante desarrollado que contiene un nivel de toxicidad muy bajo y que además no contiene cloro.

C. RIESGOS DE SALUD CON EL MANEJO DE REFRIGERANTES FLUORO CARBONADOS (R – 134 A)

Aunque este refrigerante contribuye ligeramente al efecto invernadero, este refrigerante se sigue utilizando actualmente entre los técnicos de HVACR. Este refrigerante pertenece a la rama de los hidro fluoro carbonos (HFC), los cuales no destruyen la capa de ozono, pero si contribuyen, aunque en menor medida que el R – 22, al efecto invernadero. (Grados, Gas R - 134a: Seguridad, 2014)

Tabla No. 1: Propiedades físicas y denominación del refrigerante R – 134 a.

| Propiedad | Valor |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Nombre químico | 1,1,1,2-tetrafluoroetano |
| Fórmula química | CF ₃ – CH ₂ F |
| Número CAS | 811 – 97 – 2 |
| Masa molecular (Kg / kmol) | 102.0 |
| Temperatura de ebullición @ 1 atm (°C) | 26.3 |
| Punto de fusión @ 1 atm (°C) | -101 |
| Temperatura crítica (°C) | 101.1 |
| Presión crítica (bar) | 40.6 |
| Densidad del líquido @ -15 °C (g / cm ³) | 1.343 |
| Densidad del líquido @ 30 °C (g / cm ³) | 1.188 |
| Calor latente de evaporación @ 15 °C (kJ / kg) | 206.8 |
| Calor específico líquido saturado @ 30 °C (kJ / kg K) | 1.440 |
| Calor específico vapor saturado @ 30 °C (kJ / kg K) | 1.104 |
| Inflamabilidad | No inflamable |
| Grupo de clasificación de seguridad | A1 |

(Revista Cero Grados Celsius, 2018)

Debido a que la toxicidad de los refrigerantes fluoro carbonados es baja, las posibilidades de un accidente menor o muerte son de probabilidades bajas. Sin embargo, no está de más el evitar trabajarlos en áreas cerradas, ya que, en caso de fugas o derrames de gas, se inhibirá la presencia de oxígeno. (Grados, Gas R - 134a: Seguridad, 2014)

Existen ciertas medidas de seguridad a tomar o acciones correctivas en caso de accidentes y así mejorar las condiciones del afectado. Se explicarán los dos casos más posibles con sus síntomas y formas de contrarrestar dichos síntomas.

1. Inhalación

En estos casos el inhalar grandes cantidades de vapores es peligroso y puede llegar a ser mortal. Exponerse a niveles elevados puede provocar síntomas de asfixia, pérdida de coordinación psicomotriz, aumento del pulso cardíaco, sensibilización cardíaca o inconsciencia. En caso de tener estos síntomas se deben de alejar del área contaminada y dirigirse a un área con aire fresco y flujo constante de este. (Grados, Refrigerantes manejo y seguridad, 2014)

2. Contacto

El contacto directo con el refrigerante líquido sobre la piel puede causar quemaduras por congelación. Los síntomas son palidez o enrojecimiento, pérdida de sensibilidad o hinchazón. En caso de tener estos descritos se debe de lavar la parte afectada con abundancia de agua durante 15 minutos. (Grados, Gas R - 134a: Seguridad, 2014)

D. TRANSFERENCIA DE CALOR

Para comprender la transferencia de calor en el espacio refrigerado, es prudente mencionar que el calor es la energía que se transmite en virtud de una diferencia de temperaturas. La transferencia de calor puede ocurrir mediante tres procesos los cuales son:

- **Conducción:** Este método de transferencia de calor ocurre de las partículas más energéticas de una sustancia hacia partículas adyacentes menos energéticas como resultado de las interacciones entre las partículas. Este tipo de transferencia de calor puede tener lugar en sólidos, líquidos y gases. La conducción en los líquidos y gases se debe a las colisiones y difusiones entre moléculas que ocurre mediante el movimiento aleatorio de las mismas. En los sólidos ocurre mediante la combinación de vibraciones de moléculas y el transporte de energía de los electrones libres. (Cengel & Ghajar, 2011)
- **Convección:** Este tipo de transferencia de calor es la que se genera entre una superficie sólida y un líquido o gas adyacente que está en movimiento y que comprende la combinación de convección y movimiento de fluidos. (Cengel & Ghajar, 2011)
- **Radiación:** Es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la transferencia de calor por conducción y convección, este tipo de transferencia de calor no necesita de un medio intervector. (Cengel & Ghajar, 2011)

La extracción de calor del espacio refrigerado ocurre por medio del evaporador. El evaporador es un dispositivo de transferencia de calor. En este dispositivo, ingresa refrigerante a bajas temperaturas y presiones debido al proceso anterior de estrangulamiento. Esto permite que el evaporador absorba el calor del espacio refrigerado y lo conduzca fuera de él en la siguiente etapa.

E. AISLANTES

Los materiales aislantes, son aquellos materiales cuyas propiedades fisicoquímicas, permiten resistencia a la transferencia de calor a través de ellos. Se consideran materiales aislantes aquellos cuyos valores de conductividad térmica son bajos. En la industria se utilizan materiales aislantes como la fibra de vidrio y espuma rígida de uretano debido a sus conductividades térmicas bajas. (Cengel & Ghajar, 2011)

Para aplicaciones de refrigeración, es importante la selección adecuada de un aislante térmico. Debido a la existencia de transferencia de calor por convección entre el aire refrigerado y las paredes del espacio refrigerado. Los materiales aislantes permiten que la transferencia de calor por este medio sea mínima. Esto se debe a que se desea mantener una temperatura baja en un espacio. De esta forma conservamos las temperaturas bajas y requerimos de menos trabajo para mantener el espacio en estas condiciones.

1. Materiales de una refrigeradora doméstica

Las refrigeradoras convencionales cuentan con una carcasa interna de plástico y una carcasa externa de metal o polimérica (depende de los modelos). Entre ambas carcazas existe un relleno de espuma de poliuretano. Este material reduce la transferencia de calor del espacio refrigerado hacia el exterior de este.

a. Espuma de poliuretano

Este material permite que la cantidad de energía necesaria para mantener un espacio refrigerado se reduzca considerablemente debido a sus propiedades termodinámicas. Además, provee soporte y es capaz de adaptarse a la geometría de la estructura de la refrigeradora. Esto se logra en el proceso de ensamblaje mediante la aplicación del poliuretano en estado de espuma. La espuma se expande hasta alcanzar todos los espacios internos y por último se endurece.

b. Acero galvanizado

En la mayoría de las refrigeradoras de media y baja gama, su cuerpo externo se compone de lámina de acero dulce y en algunos casos galvanizado. Estas láminas se recubren con pintura para prevenir el óxido y mejorar la apariencia final. El cuerpo externo, provee el diseño exterior y permite definir el espesor del aislante térmico en relación con el espacio interior.

Se selecciona el acero galvanizado para la fabricación de los cuerpos del modelo debido a su bajo costo comparado con el acero inoxidable, que comúnmente se utiliza para refrigeradoras de alta gama. Además de sus propiedades químicas para evitar la corrosión.

A continuación, se presenta una tabla con información necesaria para los cálculos posteriores de transferencia de calor. Esta contiene los materiales principales involucrados en la transferencia de calor del espacio interno refrigerado con el medio circundante. Se emplean los datos de acero dulce tomados del apéndice 1, Tabla A-5: propiedades de materiales de construcción del texto *Transferencia de calor y masa de Cengel & Ghajar*, debido a la falta de datos del acero inoxidable de las fuentes consultadas. Debido a que el acero galvanizado es una aleación de este acero con zinc, no se espera tener una alteración de datos significativa.

Tabla No. 2: Propiedades de materiales.

| Material | Densidad, ρ kg/m³ | Conductividad térmica, k W/m*K | Calor específico, C_p kJ/kg*K |
|------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Espuma rígida de poliuretano | 70 | 0.026 | 1.045 |
| Acero Dulce | 7833 | 45.3 | 0.502 |

(Cengel & Ghajar, 2011)

F. SYSTEMS ENGINEERING

1. Proceso de diseño Space Systems Engineering

Esta metodología de investigación se basa en la ejecución disciplinada y estandarizada del desarrollo de un proyecto en la industria aeroespacial. Esta metodología permite ser una herramienta de desarrollo de proyectos efectiva para llevar a cabo cualquier proyecto de forma eficiente. Tomando en cuenta los tres factores fundamentales para la ejecución de cualquier proyecto los cuales son las personas, los procesos y productos. En este proceso de desarrollo se plantea una serie de pasos para la elaboración de un proyecto. Además, se debe realizar un análisis de las amenazas que pueda enfrentar un proyecto a lo largo de su desarrollo. A continuación, se presentan los factores indispensables para el desarrollo de un proyecto anteriormente mencionados.

a. Personas

Las personas involucradas en el desarrollo de un proyecto tienen un impacto fundamental para los resultados del mismo. Esto se debe a que las ideas de cada persona son únicas e intervienen en el proceso y producto final. Es importante aprender a colaborar con las personas adecuadas y que cuenten con habilidades destacadas en las características del proyecto que se desea llevar a cabo.

b. Procesos

Los diferentes procesos que se llevan a cabo durante el ciclo de vida de un proyecto tienen un impacto proporcional al tiempo, dinero y demás recursos que se emplean en un proyecto. Es importante aprender a organizar los procesos de manera adecuada para que el proceso se culmine en la menor cantidad de tiempo posible y utilizando la menor cantidad de recursos. De esta forma los procesos son más eficientes.

c. Producto

El producto final depende totalmente de la administración de los factores anteriormente mencionados. Los resultados finales y el éxito de los proyectos dependen de la selección de personas adecuadas y de los procesos correctos para la elaboración de este.

2. Aspectos de Space Systems Engineering

a. Trabajo en equipo

En esta unidad del proceso de diseño, se mencionan las cualidades individuales de cada integrante de un equipo. El aporte de las cualidades individuales de los diferentes integrantes permite que el producto final sea único. Es importante asignar tareas y responsabilidades individuales a los integrantes del grupo para que la organización sea efectiva. El tener un trabajo en equipo exitoso es crítico para llevar a cabo el proceso.

En el caso del presente proyecto, se decide realizar un análisis de las características que componen a cada módulo del proyecto. Los módulos del proyecto son el sistema de refrigeración por compresión de vapor y el espacio refrigerado correspondientemente. Luego de analizar los desafíos de cada módulo se decide asignar el sistema de refrigeración a Luis Alfonso Martínez Valdez y el espacio refrigerado a mi persona. Esto se decide debido a las habilidades particulares de nuestras personas y a los desafíos que cada módulo representaba.

b. Ciclo de vida del proyecto

El proyecto se dividió en distintas fases durante su ciclo de vida. Estas fases se separan mediante puntos clave de decisión. Las fases que comprenden el ciclo de vida del presente proyecto son:

- **Pre-fase A: Estudio de conceptos.**

Para comprender sobre la refrigeración, se tuvo que realizar un estudio amplio de conceptos sobre el tema y componentes. Los conceptos claves del proyecto fueron materiales aislantes y materiales de fabricación ya que de estos dependen los objetivos del módulo. Adicional a esto, se toma en cuenta un enfoque re-reutilización y reciclaje de materiales para la búsqueda de información de estos.

- **Fase A: Desarrollo de conceptos y tecnología.**

Los conceptos que se analizan para el proceso de diseño de la presente investigación fueron económico, reciclable, reutilizable y enfocado. De estos conceptos se desarrolla el proceso de diseño y fabricación del espacio refrigerado. La tecnología que se analizó para el desarrollo del proyecto fue la tecnología de manufactura. Esta tecnología debe cumplir con bajo costo y alta calidad para que los propósitos del proyecto puedan ser alcanzados.

- **Fase B: Diseño preliminar y terminación de tecnología.**

La primera intención del proyecto era conservar la idea de la fabricación de una refrigeradora a partir de un barril metálico reutilizado. Esta intención se vio revocada debido a la amenaza de daños a la salud de las personas mediante la toxicidad del producto que alguna vez se contuvo en los barriles metálicos. Debido a este inconveniente se decide tomar la decisión de renovar el diseño de la refrigeradora y optar por un modelo rectangular. Este diseño nos permite utilizar tecnología accesible para la fabricación. Esta tecnología se refiere a máquinas convencionales de herrería como cortadoras de disco, soldadoras de arco eléctrico y dobladoras de láminas metálicas.

- **Fase C: Diseño final y fabricación.**

Como se menciona en la fase anterior, el diseño final se obtiene del análisis de diferentes modelos y el costo y proceso de fabricación. Dicho modelo cuenta con un proceso de fabricación más sencillo que el modelo a mejorar. Esto se debe a la geometría rectangular la cual representa herramientas convencionales de fabricación anteriormente mencionadas.

- **Fase D: Ensamblaje del sistema, implementación y pruebas.**

Para el ensamblaje final del sistema se utilizan remaches para unir las láminas a la estructura de perfil angular respectivamente. Al mismo tiempo, espuma de poliuretano además de ser el aislante determinado para

el modelo, cumple con la función de fijar el cuerpo interno al cuerpo externo de la refrigeradora. Este proceso se vuelve conveniente debido a que no existen puentes térmicos que transmitan la energía térmica interna a la estructura externa del modelo.

En cuanto a las pruebas de lanzamiento, se decide realizar pruebas de 48 horas en cada uno de los dos modelos. Se deciden 48 horas para analizar el rendimiento de las refrigeradoras durante 24 horas sin carga y 24 horas con carga respectivamente. Se decide el análisis de 24 horas por carga debido a las temperaturas externas que puedan afectar a las refrigeradoras a lo largo del día y noche. Posteriormente se analizan los resultados de ambas refrigeradoras.

- **Fase E: Operaciones y sostenimientos.**

Lo que comprende el presente proyecto como operaciones son todas aquellas acciones auxiliares que permiten llevar a cabo la fabricación, pruebas y entrega del modelo. Estas acciones son la selección y compra de materiales necesarios para la fabricación del modelo, transporte, reuniones con técnicos que realizarán trabajos específicos, preparativos de actividades, entre otras.

- **Fase F: Cierre.**

El cierre del proyecto consiste en la entrega del modelo final a la familia Puac y la recolección de datos de funcionamiento en campo. Luego se analizan los datos recopilados para obtener realimentación y poder concluir los objetivos planteados previamente.

c. Alcance y conceptos de operación

El alcance del proyecto fue lograr el diseño y manufactura del espacio refrigerado. El diseño se enfocó en las necesidades de los habitantes de la aldea El Platanar. Para lograr realizar los alcances del proyecto se tomaron en cuenta ocho aspectos que plantea el sistema los cuales son:

- Necesidades
- Metas
- Objetivos
- Misiones
- Conceptos operacionales
- Suposiciones
- Misiones
- Restricciones

d. Requerimientos

El autor del programa de *Systems Engineering*, principalmente declara los requerimientos como declaraciones contractualmente vinculantes. Esto significa que la relación de los requerimientos se encuentra directamente vinculado con resultados que se obtienen en la finalización del proyecto. Los requerimientos se basan en lo que se desea realizar en un proyecto. En el caso del módulo se desea proveer de un aparato de refrigeración para una comunidad específica y satisfacer las necesidades de refrigeración de las personas que habitan en la comunidad seleccionada.

e. Estudios de comercio

Este tipo de estudios nos brinda información valiosa en cuanto a la selección de alternativas. El principal objetivo de los estudios de comercio es ayudar a tomar decisiones para un proyecto. Mediante la comparación de alternativas generadas por los estudios de comercio, se puede elegir mediante el análisis de rendimiento, costo, calendario y riesgo. Con esta información se puede generar una lista de prioridades que permite una toma de decisiones respaldada y eficaz para el proyecto. (SaylorAcademy, 2018)

Para el proyecto, se utilizaron las encuestas como estudio de comercio. Esto nos brindó información necesaria sobre el diseño que las personas querían, volumen del espacio refrigerado, y costo que están dispuestos a pagar. Con las características encuestadas se realizó el diseño y fabricación del modelo. Por último, se obtuvo realimentación por parte de los usuarios del modelo para conocer su satisfacción con el modelo fabricado.

Además de las encuestas, se realiza una comparación de materiales para la selección de estos para el modelo a fabricar. Los materiales que se toman en cuenta son materiales aislantes y metales que puedan formar la parte estructural del modelo. A continuación, se presentan las tablas asociadas a los materiales y diversos criterios a tomar en cuenta.

Tabla No. 3: Características de materiales aislantes

| Material | Conductividad térmica, k (W/m*K) | Presentación comercial | Precio unitario |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Fibra de vidrio | 0.036 | Rollos de tela | Q 25.00 / yarda |
| Espuma de poliestireno | 0.040 | Planchas | Q. 8.00 |
| Espuma de poliuretano | 0.026 | Lata de 500 ml | Q. 109.00 |

(Cengel & Ghajar, 2011)

Para seleccionar el material aislante adecuado para el modelo a fabricar se tomó en cuenta tres características. La conductividad térmica, el precio y la estructura que brinda al modelo. Se tomó la decisión de fabricar el modelo con espuma de poliuretano debido a que este material aislante cuenta con el menor valor de conductividad térmica, esto permitirá una menor pérdida de calor a través del material. Además, este material se adapta a las formas complejas de diseño y al secarse brinda soporte estructural al modelo. El único inconveniente es el precio de este material. Característica que se justifica por sus aspectos positivos para el modelo.

Tabla No. 4: Características de materiales estructurales

| Material | Conductividad térmica, k (W/m*K) | Presentación comercial | Precio unitario |
|----------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Acero | 45.3 | Lámina 4X8 ft cal. 26 | Q 150.00 |
| Acero galvanizado | 45.3 | Lámina 3X8 ft cal. 28 | Q 91.15 |
| Acero inoxidable | 15.6 | Lámina 1X2 m cal. 1/32" | Q 300.00 |

(Cengel & Ghajar, 2011)

Para la selección del material estructural se toma en cuenta dos características principales. La primera es el precio, ya que el propósito del modelo es que debe ser de bajo costo. La segunda característica es la oxidación del material. Se descartó el acero convencional ya que este material es propenso a la oxidación. Se selecciona el acero galvanizado ya que este metal no se oxida debido a las propiedades que aporta el zinc. Además, tiene un precio accesible para mantener moderado el costo de fabricación.

G. CARGA DE REFRIGERACIÓN

La carga de refrigeración se debe de calcular tomando en cuenta tres aspectos definidos por el espacio refrigerado que sustentará. El primero siendo la carga por transmisión de calor en estado estacionario, también conocido como pérdidas por transmisión de calor. El segundo aspecto es la carga por los alimentos o productos almacenados y su carga secundaria siendo por el calor de respiración. Por último, el tercer aspecto siendo la carga por infiltraciones de aire al espacio en los momentos que se abra la puerta.

1. Carga por transmisión de calor en paredes

El primer aspecto por analizar es la carga que se realiza por transmisión de calor a través de paredes, suelo y techo. En este caso, la refrigeradora se tomará como estado estacionario ya que el interior ni el exterior tendrán una exposición a flujos de aire a altas velocidades. El calor sensible se puede calcular por medio de la siguiente expresión:

Expresión No. 1: Transferencia de calor en estado estacionario (q_t).

$$q_t = UA\Delta T$$

Donde:

q_t : Es la ganancia de calor por transferencia (W ó BTU/h).

U : Es el coeficiente de transferencia de calor (W / m² K).

A : Es el área superficial externa (m²).

ΔT : Es la diferencia de temperatura externa e interna (K).

El valor U es el coeficiente de transferencia de calor de las paredes, suelo y techo del espacio refrigerado. Este valor depende directamente del material utilizado para aislarlo:

Expresión No. 2: Coeficiente de transferencia de calor (U).

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}}$$

Donde:

U : Es el coeficiente de transferencia de calor (W / m² K).

h_i : Es la conductancia de la superficie interna (W / m² K).

x : Es el espesor del aislante térmico (m).

k : Es la conductividad térmica del aislante de la pared (W / m K).

h_o : Es la conductancia de la superficie externa (W / m² K).

2. Carga del producto

El propósito de un espacio refrigerado es el de almacenar alimentos o productos y así mantenerse por debajo de una temperatura deseada. Sin embargo, por lo regular estos productos no entra al espacio refrigerado con la temperatura necesaria, por lo cual el sistema de refrigeración se ve implicado en extraer el calor que estos transmiten. Lo anterior se le define como una carga de refrigeración por producto.

Para este análisis solo se tomará en cuenta el caso donde el producto inicia desde su temperatura inicial y se disminuye a una temperatura menor pero superior a la de la temperatura de congelación.

Expresión No. 3: Disminución de temperatura inicial a una temperatura menor y superior la temperatura de congelación (Q_1).

$$Q_1 = mc(T_1 - T_2)$$

Donde:

Q_1 : Es el calor removido del producto (kJ).

m : Es la masa del alimento (kg).

c : Es el calor específico del producto arriba del punto de congelación (kJ / kg K).

T_1 : Es la temperatura inicial del alimento (K).

T_2 : Es la temperatura final objetivo del alimento (K).

Una vez calculado el calor removido del producto, se procede a obtener la carga total de refrigeración del producto asumiendo un tiempo promedio. En dicho tiempo promedio se asume que los alimentos llegarán a la temperatura deseada desde la temperatura inicial.

Expresión No. 4: Carga promedio de enfriamiento de producto en un tiempo promedio (q_1).

$$q_1 = \frac{Q_1}{3600n} \times 1000$$

Donde:

q_1 : Es la carga promedio por enfriamiento de productos (W).

Q_1 : Es el calor removido para llevar el producto de una temperatura inicial a una temperatura menor y superior al punto de congelación (kJ).

n : Es el tiempo de almacenamiento promedio para la temperatura deseada (h).

1000: Es la conversión de kW a W.

Con esto se obtiene la carga promedio por enfriamiento del producto en un tiempo estimado. Sin embargo, ciertos alimentos como las frutas y verduras aún se mantienen con vida dentro del espacio refrigerado. Dichos alimentos con vida transmiten calor al ambiente y esto es conocido como una carga por respiración y esta carga se debe de tomar en cuenta. (Orrego, Calor de respiración de frutas y vegetales, 2001)

Expresión No. 5: Carga promedio por respiración durante el enfriamiento del producto desde una temperatura inicial a una final en W / ton (q_2).

$$q_2 = \frac{a \text{Exp}(bT_1)}{b(T_1 - T_2)} [1 - \text{Exp}(-b(T_1 - T_2))]$$

Donde:

q_2 : Es la carga promedio por respiración durante el enfriamiento de productos desde una temperatura inicial a una final (W / ton).

a : Es el coeficiente a (Adimensional).

b : Es el coeficiente b (Adimensional).

T_1 : Es la temperatura inicial del alimento ($^{\circ}\text{C}$).

T_2 : Es la temperatura final objetivo del alimento ($^{\circ}\text{C}$).

Ahora bien, la carga promedio encontrada debe de ser convertida a las dimensiones de kW para ser trabajado igual que el resto de cargas.

Expresión No. 6: Carga promedio por respiración en W (q_2).

$$q_2 = \frac{q_2}{1000} \times m$$

Donde:

q_2 : Es la carga promedio por respiración durante el enfriamiento de productos desde una temperatura inicial a una final (W).

m : Es la masa del producto o alimento (kg).

1000: Es la tasa de conversión de 1 tonelada métrica a kilogramos.

3. Carga por infiltraciones de aire

Por último, se debe de calcular la ganancia de calor por infiltraciones de aire y es de las cargas que más influye en análisis de espacios refrigerados. Esto sucede cada vez que las puertas se abren y cierran, lo que provoca las infiltraciones. Para este cálculo se utilizará la asistencia del software *HeatCraft ProSelect Software* con el uso de la licencia gratuita.

H. HEATCRAFT PROSELECT SOFTWARE

Este es un software utilizado por una gran variedad de ingenieros para facilitar el cálculo de cargas de refrigeración con mayor facilidad. Este programa tiene la ventaja que utiliza ecuaciones propuestas por la misma ASHRAE para así obtener los resultados. Dicho software se encuentra en una migración de sistema a uno llamado *THE HUB* y *HeatCraft Proselect Software* será descontinuado a partir del 31 de diciembre del 2018.

Ilustración No. 8: Heatcraft ProSelect Software y THE HUB.



(Heatcraft Worldwide Refrigeration, 2018).

Por fortuna, aún existe una versión en línea gratuita de este software con propiedades bloqueadas y solamente disponibles en la versión oficial. Este software será utilizado para el cálculo de carga por infiltraciones de aire dentro del espacio refrigerado.

I. COMPRESORES HERMÉTICOS

1. Definición general

Un compresor consiste en forzar mecánicamente la circulación de un fluido en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba el calor en un lugar y lo disipe en otro sitio. Por lo cual, el proceso requiere de un circuito cerrado y así el refrigerante no se expanda al aire libre. Dicho compresor se encarga de realizar vacío al evaporador y enviar el flujo hacia el condensador del sistema de refrigeración. (Vega, s.f.)

Existen varios tipos de compresores utilizados para refrigeración, los más utilizados son: los compresores reciprocantes, los compresores herméticos, los compresores semi herméticos y los compresores abiertos. (Vega, s.f.)

Para este sistema de refrigeración nos es de relevancia únicamente el compresor hermético. Dicho compresor es diseñado para ser utilizado en ciclos de refrigeración por compresión de vapor y se clasifican de acuerdo con la presión correspondiente a la gama de temperaturas de evaporación. (Vega, s.f.)

2. Selección de compresor

Para una selección correcta de compresor para un sistema de refrigeración se debe de conocer o calcular la carga de refrigeración necesaria. Con este dato se puede cotizar o comparar compresores según su capacidad de refrigeración. Cabe destacar que su carga de refrigeración varía según las condiciones en las que se encuentre y los componentes que se utilicen en el sistema.

Ilustración No. 9: Compresor hermético utilizado para refrigeración.



(Direct Industry, 2018).

J. EVAPORADORES DE CONVECCIÓN NATURAL

En los evaporadores de refrigeración el evaporador es el intercambiador de calor fundamental para poder extraer el calor de un espacio refrigerado. Este debe de ser de un material con alta conductividad térmica para obtener el máximo beneficio. Es decir, un evaporador es el sumidero del espacio refrigerado.

1. Capacidad de un evaporador

El tamaño de un evaporador está definido por el espacio que se tenga en el espacio refrigerado, por la capacidad de extracción de calor o por el enfriamiento que tendrá la refrigeradora gracias a la potencia del compresor. Además, está limitado por las diferencias de temperatura que se tengan en el espacio refrigerado y el evaporador y por el costo del material del evaporador.

2. Diseño de un evaporador

Para el diseño correcto de un evaporador se debe de tomar en consideración la potencia que puede proporcionar un compresor en condiciones de trabajo. A esta carga de refrigeración se le debe de aplicar unos coeficientes o factores de corrección según sean las condiciones de trabajo. Para esto lo más recomendable es el utilizar métodos de cálculo según proveedores o diseñadores. En este caso se utilizarán dos factores: El factor de corrección por refrigerante (FR) y el factor de corrección de la condición de cálculo (FT). (INTARCON)

Primero se debe de definir la condición según la temperatura deseada en el espacio refrigerado y así obtener el factor de corrección por refrigerante.

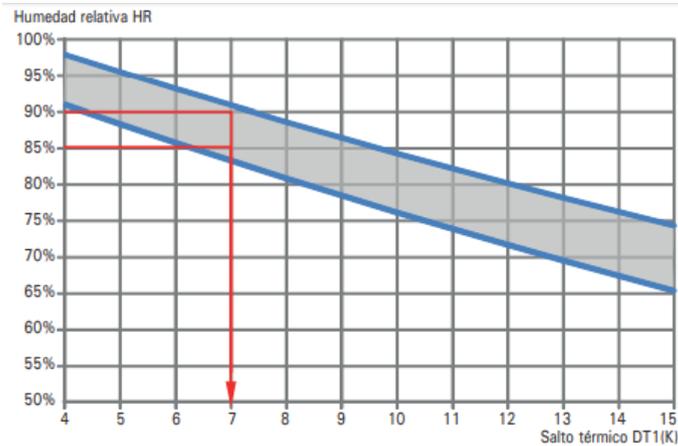
Tabla No. 5: Factores de corrección por refrigerante según la condición de trabajo.

| Condición | Temperatura de cámara | R404A | R134A | R507 | R22 | R407* |
|-----------|-----------------------|-------|-------|------|------|-------|
| SC1 | 10°C | 1 | 0,93 | 1 | 0,99 | 1,10 |
| SC2 | 0°C | 1 | 0,91 | 1 | 0,98 | 1,06 |
| SC3 | -18°C | 1 | 0,89 | 1 | 0,97 | 1,00 |
| SC4 | -25°C | 1 | - | 1 | 0,97 | 0,97 |

(INTARCON, 2018)

Con estos datos se procede a utilizar la siguiente gráfica según las humedades relativas deseadas en el espacio refrigerado y así obtener el salto térmico teórico.

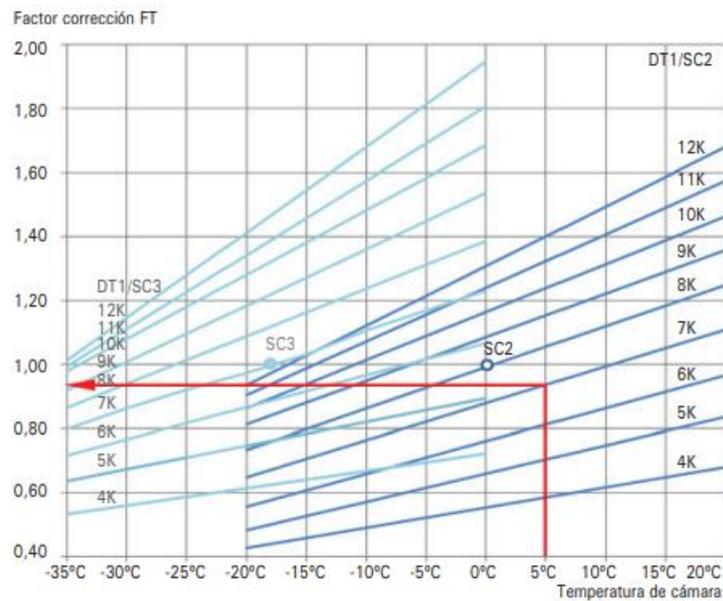
Ilustración No. 10: Gráfico para obtener nuevo salto térmico DT1, según las humedades relativas.



(INTARCON, 2018)

Una vez obtenidos estos datos se procede a utilizar ésta última gráfica y así obtener el factor de corrección por condición de cálculo.

Ilustración No. 11: Gráfica para obtención del factor de corrección por condición de cálculo según la temperatura de la cámara, DT1 y condición.



(INTARCON, 2018)

Con esto último ya se puede calcular la potencia frigorífica que puede poseer el evaporador en diseño con la siguiente expresión.

Expresión No. 7: Potencia frigorífica de un evaporador corregida (Q_c).

$$q_c = \frac{q_0}{FT \cdot FR}$$

Donde:

q_c : Es la potencia frigorífica corregida para un evaporador en diseño (W).

q_0 : Es la potencia de refrigeración que proporciona el compresor hermético (W).

FT : Es el factor de corrección de la condición de cálculo (Adimensional).

FR : Es el factor de corrección del refrigerante (Adimensional).

Además, se necesita de una expresión que sea dependiente del área transversal para así poder calcular la longitud necesaria del evaporador.

Expresión No. 8: Calor extraído por el evaporador del espacio refrigerado (q_{evap}).

$$q_{evap} = Ak\Delta T_E$$

Donde:

q_{evap} : Es el calor extraído por el evaporador (W).

A : Es el área de contacto del evaporador con el espacio refrigerado (m^2).

k : Es el coeficiente de transferencia de calor del material por metro ($W / m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).

ΔT_E : Es el salto térmico del evaporador ($^\circ\text{C}$).

Para este último cálculo se necesita el calcular el salto térmico de evaporación para el diseño del evaporador.

Expresión No. 9: Salto térmico del evaporador en diseño (ΔT_E).

$$\Delta T_E = T_{Ref} - T_{Evap}$$

Donde:

ΔT_E : Es el salto térmico del evaporador ($^{\circ}\text{C}$).

T_{Ref} : Es la temperatura del espacio refrigerado ($^{\circ}\text{C}$).

T_{Evap} : Es la temperatura de evaporación necesaria ($^{\circ}\text{C}$).

K. CONDENSADORES DE CONVECCIÓN NATURAL

En los sistemas de refrigeración el condensador es el encargado de condensar el refrigerante luego de su salida del compresor a una elevada temperatura y presión. Este es un intercambiador de calor que se encuentra en la parte exterior del refrigerador y se encuentra en contacto con el sumidero. Este intercambia calor a través de la tubería y sus varillas difusoras y así obtener una mayor área de contacto.

Ilustración No. 12: Condensador de convección natural con varillas difusoras desacoplado de un sistema de refrigeración.



(RSilvera, 2015)

1. Capacidad de un condensador

La capacidad de un condensador está restringida por el área de transmisión y contacto, por el material y por la temperatura del sumidero. Según la norma ENV 327, el salto térmico ideal para un condensador por convección natural debe de ser de 15°C.

Expresión No. 10: Calor disipado por un condensador al sumidero (q_{cond}).

$$q_{cond} = Ak\Delta T_c$$

Donde:

q_{cond} : Es el calor expulsado por el condensador (W).

A : Es el área de contacto del condensador con el sumidero (m^2).

k : Es el coeficiente de transferencia de calor del material por metro ($W / m^2 \text{ } ^\circ C$).

ΔT_c : Es el salto térmico del condensador ($^\circ C$).

Para este último cálculo se necesita el calcular el salto térmico de condensación para el diseño del condensador.

Expresión No. 11: Salto térmico del condensador en diseño (ΔT_c).

$$\Delta T_c = T_{Sum} - T_{Con}$$

Donde:

ΔT_c : Es el salto térmico del condensador ($^\circ C$).

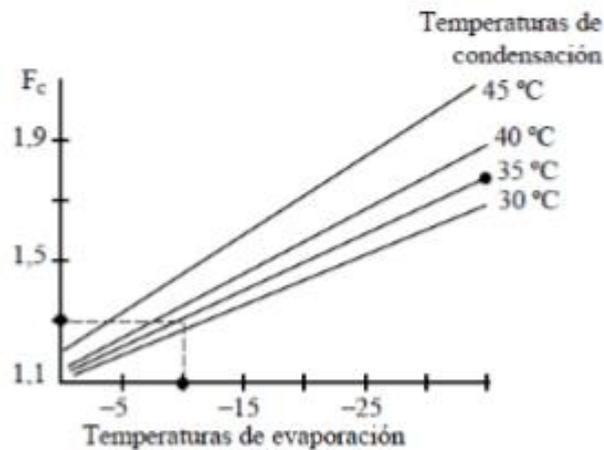
T_{Sum} : Es la temperatura del sumidero o del ambiente ($^\circ C$).

T_{Con} : Es la temperatura de condensación necesaria ($^\circ C$).

2. Diseño de un condensador

Para diseñar un condensador se necesita el saber qué capacidad de rechazo de calor es necesaria. Para esto se debe de obtener varios factores de corrección según el refrigerante, la compresión y la altitud.

Ilustración No. 13: Factor de corrección por compresión según las temperaturas de evaporación y temperaturas de condensación.



(Lijo, 2012)

Tabla No. 6: Factor de refrigerante según el tipo de refrigerante utilizado en el sistema de refrigeración.

| Refrigerante | Factor del refrigerante (Fr) | | | |
|----------------------|------------------------------|---------|---------|-------|
| | R-22 | R 134 a | R 404 A | R 507 |
| Factor de corrección | 1,04 | 1,06 | 1 | 0,97 |

(Lijo, 2012)

Tabla No. 7: Factor de altitud según la altitud en la que se encuentre el sistema con respecto al nivel del mar.

| Altitud del nivel del mar | Factor de altitud (Fa) | | |
|---------------------------|------------------------|------|------|
| | 0 | 500 | 1000 |
| Fa | 1 | 1,01 | 1,06 |

(Lijo, 2012)

Con estos datos se procede a calcular la capacidad nominal del condensador a diseñar.

Expresión No. 12: Capacidad nominal del condensador (q_n).

$$q_n = q_e F_c F_r F_a \frac{15}{\Delta T}$$

Donde:

q_n : Es la capacidad nominal del condensador (W).

q_e : Es la capacidad del evaporador (W).

F_c : Es el factor de corrección por compresión (Adimensional).

F_r : Es el factor de corrección por refrigerante (Adimensional).

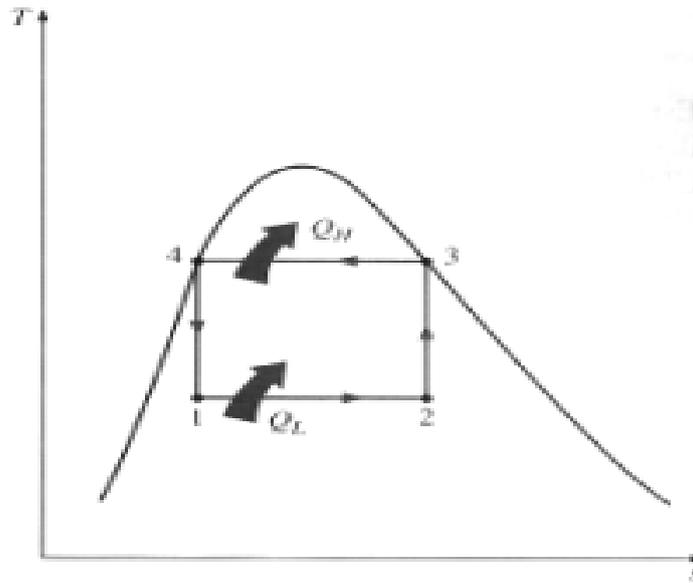
F_a : Es el factor de corrección por altitud (Adimensional).

ΔT : Es el salto térmico de condensación (°C).

L. CICLO INVERTIDO DE CARNOT

El ciclo de Carnot es el ciclo totalmente reversible y es un modelo de refrigeración perfecto. Dicho modelo brinda la mayor eficiencia térmica posible entre dos límites de temperatura. Este coeficiente de desempeño de Carnot es utilizado como punto de comparación con cualquier ciclo de potencia o refrigeración real. Con este coeficiente se puede obtener una visión sobre las irreversibilidades que se tiene en un sistema y mejorarlas.

Ilustración No. 14: Diagrama T – s para un ciclo reversible de Carnot.



(Google Images, 2013)

El reducir la diferencia entre un coeficiente de desempeño real y un coeficiente de desempeño de Carnot es uno de los principales objetivos cuando se desea realizar un sistema de refrigeración más eficiente.

Expresión No. 13: Eficiencia para un ciclo de refrigeración real (COP_{Real}).

$$COP_{Real} = \frac{Q_L}{W}$$

Donde:

COP_{Real} : Es la eficiencia para un ciclo de refrigeración real (Adimensional).

Q_L : Es la capacidad de enfriamiento en condiciones reales (kW).

W : Es el trabajo real realizado por el compresor en condiciones reales (kW).

Expresión No. 14: Eficiencia máxima para un ciclo invertido de Carnot (COP_{Carnot}).

$$COP_{Carnot} = \frac{T_R}{T_o - T_R}$$

Donde:

COP_{Carnot} : Es la eficiencia máxima para un ciclo de refrigeración invertido de Carnot (Adimensional).

T_R : Es la temperatura del espacio refrigerado (K).

T_o : Es la temperatura del sumidero (K).

M. INFORMACIÓN ACERCA DE LA ALDEA EL PLATANAR

Esta comunidad se encuentra a 24 kilómetros de la ciudad de Guatemala y se ubica al nororiente del municipio de San José Pinula. Cuenta con mucha flora y su clima la mayor parte del año es templado. En esta comunidad residen 293 personas siendo la mayoría menores de edad de entre 7 y 14 años, según estudios realizados por estudiantes de la Universidad San Carlos de Guatemala en el año 2017. La principal actividad económica de los residentes de la comunidad es la agricultura y los ingresos promedios de los agricultores son de Q. 1,800.00 mensuales. (Municipalidad de San José Pinula, 2017)

El ambiente de los alrededores de la aldea cuenta con muchos bosques. Los caminos de acceso son dos, el principal mediante el pueblo de San José Pinula y un camino alternativo ingresando mediante el pueblo El Pajón. Ambas rutas de acceso son de tierra y se encuentran en mal estado, por lo que se requieren de vehículos con tracción en las cuatro ruedas. Existe transporte público de autobuses extraurbanos. La principal actividad económica del sector es agricultura y la mayoría de las personas que residen en la aldea trabajan para las fincas vecinas que producen vegetales, lácteos y carnes. (Rubén, 2018)

La mayoría de las viviendas del sector están construidas de pilotes de madera, lámina como techo y piso de tierra, aunque se pudo observar una pequeña cantidad de viviendas totalmente construidas de block y piso de cemento. A pesar de las condiciones descritas anteriormente, se realizó un estimado de que 90% de viviendas cuentan con energía eléctrica. Esto se debe a que muchas de las familias que residen en el sector son guardianes de fincas cuyos propietarios les proveen de energía eléctrica. (Rubén, 2018)

La dieta de los pobladores de la aldea se basa principalmente en granos como frijol, maíz y arroz. También consumen productos lácteos como queso y leche de su propia producción. El consumo de carnes es limitado de 1 o 2 veces por semana. El consumo de frutas y verduras es considerable debido a que la mayoría de las familias, cuentan con sus propios cultivos. (Rubén, 2018)

1. Localización y extensión

Al Nororiente del municipio, Se encuentra ubicada a 24 km de la ciudad de Guatemala y a 2 km del casco municipal y su extensión es de 3804.562 m².

2. Clima

Templado.

3. Aspectos culturales

Benigno García, maratonista reconocido a nivel internacional, su fiesta patronal es el 8 de diciembre en honor a la Virgen de Concepción.

4. Recursos naturales

Recursos hídricos, cuenta con tres cuencas y nacimientos naturales.

Recursos forestales, sus bosques son húmedos y la mayoría de sus arboledas predomina el ciprés y el pino.

Suelos C1 y franco arcilloso.

Fauna, cuenta con toda clase de aves y reptiles.

5. Población

Su población es de 293 habitantes.

6. Cantidad de viviendas

2000 viviendas.

7. Ocupación y salarios

Ocupación primaria: Agricultura

Salario Minimo: Q.1, 800.00.

8. Servicios básicos

Cuenta con una escuela de primaria y un Instituto Nacional de Educación Básica.

No cuenta con centro de salud.

Cuenta con agua potable y red de drenajes, energía eléctrica y alumbrado público y recolección de basura municipal.

9. Infraestructura productiva

Vías de acceso, Ciénaga, Zapotillo, Ciudad de los niños y por la iglesia antigua, telecomunicaciones, cuenta con telefonía y acceso a internet y cable hay 2 kilómetros de calle pavimentada, transporte cuenta con transporte público (buses) y rastros.

10. Entidades de apoyo a la aldea

Dicha aldea recibe únicamente el apoyo de la Municipalidad de San José Pinula.

Tabla No. 8: Distancia desde y hacia la Aldea El Platanar.

| Destino | | Distancia (km) |
|-------------------|-----------------|----------------|
| <i>Desde</i> | <i>Hacia</i> | |
| Aldea El Platanar | Ciudad Capital | 24 |
| Aldea El Platanar | San José Pínula | 2 |

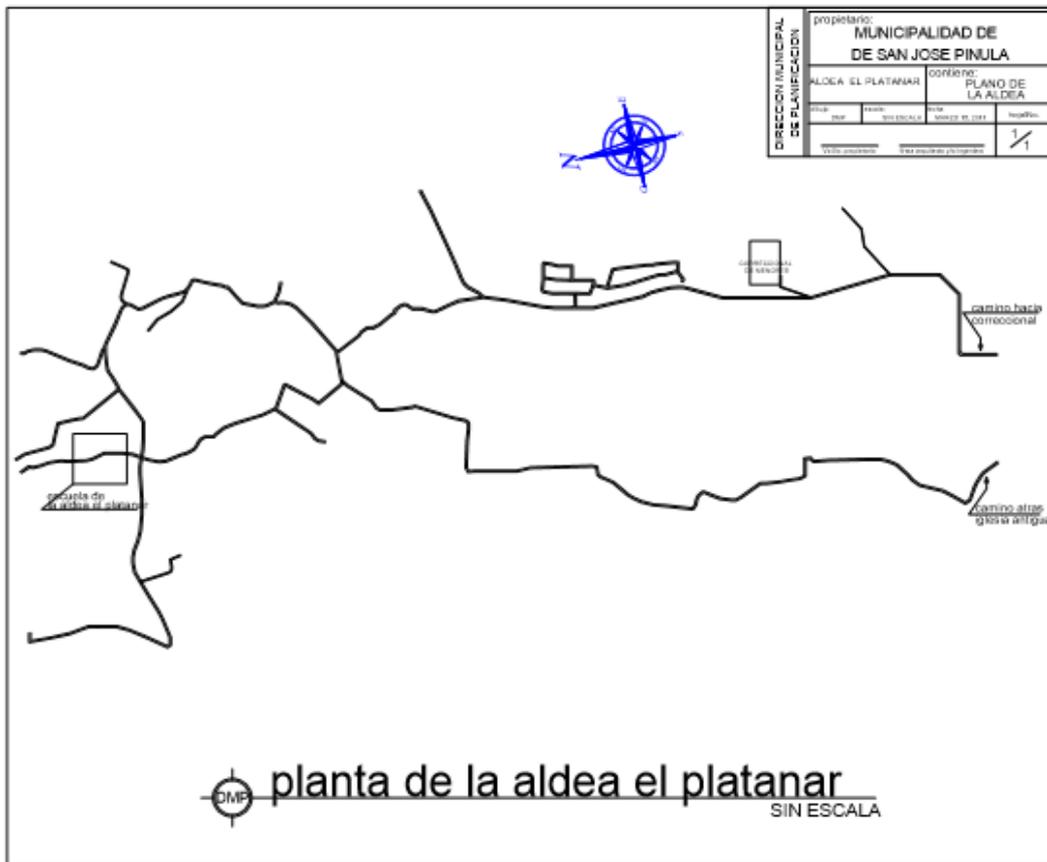
(Municipalidad San José Pinula, 2017)

Tabla No. 9: Población y rango de edades en Aldea El Platanar.

| Población Aldea El Platanar | |
|-----------------------------|------------|
| Rango edades | Habitantes |
| 0 – 6 | 102 |
| 7 – 14 | 136 |
| 15 – 64 | 36 |
| > 65 | 19 |
| Total | 293 |

(Municipalidad San José Pinula, 2017).

Ilustración No. 15: Vista en planta sin escala de la Aldea El Platanar.



(Municipalidad San José Pinula, 2017).

V. METODOLOGÍA

A. ESTUDIO DE AMBIENTE

1. Encuestas

Para obtener información sobre las necesidades y recursos de las personas de las comunidades de la aldea el platanar se decidió realizar una encuesta general para entrevistar a una selección de familias de este poblado. Dicha encuesta se realizó en el mes de septiembre del año 2017. Se entrevistó un total de 10 familias. Todas las familias se conformaban por padre, madre e hijos.

El promedio de hijos por familia es de 4. La familia más numerosa se conformaba de 8 personas. Previamente se definieron requisitos para filtrar a las familias las cuales pudiesen ser candidatos al estudio que se deseaba realizar. Posteriormente se plantearon preguntas las cuales nos brindaron información necesaria para conocer las necesidades y entender el tipo de vida cotidiana que las familias de estas comunidades llevan.

a. Requisitos para selección de familias

- Tener acceso a energía eléctrica: Este requisito es indispensable para la selección de las familias con las cuales se pretende realizar el estudio debido a la naturaleza del funcionamiento de la refrigeradora que se está diseñando. Sin este recurso no se podría llevar a cabo el funcionamiento del modelo de refrigeración.
- No tener refrigeradora: Lo que se pretende con este requisito es analizar los cambios del comportamiento de las familias con un aparato de refrigeración y el cambio del consumo eléctrico en la vivienda.

b. Preguntas de encuesta

Las preguntas que se plantearon para conocer información sobre las familias fueron las siguientes:

- 1) ¿Por qué no tienen refrigeradora?
- 2) ¿Les gustaría tener una refrigeradora? ¿Por qué?
- 3) ¿Conocen personas que tienen refrigeradoras? ¿Qué les han comentado?
- 4) ¿Cuánto creen que cuesta una refrigeradora mediana?
- 5) ¿Cuánto dinero estarían dispuestos a pagar por una refrigeradora mediana?
- 6) ¿De qué forma almacenan su comida actualmente?
- 7) ¿La comida que almacenan, cuanto tiempo les dura en buen estado?
- 8) ¿Cuánto pagan en su factura eléctrica mensualmente?
- 9) ¿Tienen un espacio adecuado para una refrigeradora?
- 10) ¿Cómo es la superficie dentro del hogar y de la cocina?
- 11) ¿Cuántas personas habitan en su casa?

c. Resumen de las respuestas a la encuesta

- 1) Siete de cada diez familias entrevistadas respondieron que no cuentan con aparatos de refrigeración debido al alto costo de compra de estos.
- 2) A ocho de las diez familias encuestadas les gustaría tener una refrigeradora. Las dos familias que respondieron negativamente se deben a que ya contaban con aparatos de refrigeración. El motivo del resto de familias se debe a que desean refrigerar alimentos para poder conservarlos en buen estado durante un mayor período de tiempo.

- 3) Cinco familias respondieron afirmativamente a esta pregunta. Una de las familias comentó negativamente la pregunta debido al alto costo de energía eléctrica que representaba el aparato de refrigeración de sus conocidos.
- 4) El valor mínimo que estimaron las familias encuestadas fue de Q. 1,000.00 y el valor máximo de Q. 6,000.00. Esto es un indicador que nos permite conocer la falta de información que tienen las personas de la comunidad con base en precios de electrodomésticos.
- 5) Esta pregunta tuvo valores muy cercanos. Las familias de la aldea El Platanar están dispuestas a pagar un precio de Q. 500.00 a Q. 800.00 por un electrodoméstico de refrigeración.
- 6) Sin tomar en cuenta a las familias que ya cuentan con aparatos de refrigeración, se da a conocer que ninguna de las familias almacena comida. Las personas de la comunidad cocinan frecuentemente y consumen todos los alimentos preparados. Las sobras las dan a sus mascotas debido a la falta de un proceso de almacenamiento no perecedero de alimentos.
- 7) En los casos de las siete familias que no cuentan con aparatos de refrigeración, la respuesta es la misma. No almacenan los alimentos, por lo tanto, no tienen un estimado.
- 8) Cinco de las diez familias encuestadas pagan la energía eléctrica que consumen. Las otras cinco familias son dependientes de sus empleadores para obtener energía eléctrica. Los rangos de consumo monetariamente son de Q. 50.00 a Q. 180.00 mensualmente.

- 9) Todas las familias cuentan con un espacio adecuado ya que los aparatos de refrigeración no requieren de condiciones especiales. Las características esenciales para un espacio adecuado son: conexión a energía eléctrica de 110 voltios y estar aislado de la intemperie.
- 10) Seis de las familias cuentan con piso de tierra y una superficie dispareja, tres cuentan con torta de cemento como piso y una familia con piso cerámico.
- 11) En promedio, habitan seis personas por hogar en la aldea El Platanar.

d. Análisis de respuestas

Con base en las respuestas de las encuestas se conocen las características de las familias pobladoras de la aldea El Platanar. Los padres de familia y los hijos varones adolescentes forman parte del 28% de la población que trabaja en el sector agrícola. Esto significa que en promedio, sus ingresos mensuales como jornaleros son de Q. 1,168.00. Este ingreso justifica la decisión de no adquirir aparatos de refrigeración debido al costo de los mismos. (Ortíz, 2018)

El deseo de las familias por contar con aparatos de refrigeración es definitivo. Todas las familias están familiarizadas con estos aparatos ya que conocen personas que cuentan con ellos y les comparten sus experiencias. A pesar del costo de consumo energético que los aparatos representan, las familias se encuentran dispuestas a costearlo. Tienen conocimientos del costo que representa un aparato de refrigeración debido a sus amigos y familiares que cuentan con ellos. Lo que no tiene claro las familias, son los costos de los aparatos. Esto se debe a que las personas que conocen que cuentan con aparatos los han adquirido mediante donaciones, o los adquieren de segunda mano. Mediante las encuestas se logra concluir que el precio de un aparato de refrigeración no está definido. Esto se sabe por el amplio rango de respuestas obtenidas por las familias entrevistadas.

En cuanto a un espacio adecuado para ubicar un aparato de refrigeración, todas las familias cuentan con condiciones satisfactorias. La mayoría de las viviendas cuentan con inconvenientes de superficies irregulares. Por lo que se toma en cuenta para el diseño. Para solucionar este inconveniente, se decidió adaptar bases ajustables para las superficies irregulares. De esta forma, el modelo fabricado se adapta a irregularidades superficiales de hasta 5 centímetros.

El consumo de alimentos de las familias es particular. Las familias no acostumbran a almacenar los alimentos debido al perecimiento de los mismos. Por el mismo motivo, las mujeres y niños de las familias acostumbran a comprar los alimentos periódicamente. Esto significa que requieren de un promedio de 2 horas diarias para adquirir los alimentos que consumen cada día.

2. Visitas

a. Visitas de entrevistas

Se realizaron dos visitas confinadas a entrevistar distintas familias mediante las cuales se entrevistaron un total de doce familias. Ambas visitas se realizaron en el mes de septiembre del año 2017. En cada visita se interactuó con la mayor cantidad de habitantes de cada vivienda para construir un lazo de confianza y conocer un poco más del comportamiento de los integrantes.

b. Visita de selección

Se realizó una visita para la selección de una posible familia de estudio. Esta visita se realizó en el mes de agosto del año 2018. En esta visita se seleccionó la familia de estudio que contaba con todos los requisitos y cualidades necesarias para llevar a cabo el estudio correspondiente. Además, se logró confirmar de manera hablada con la familia su colaboración y compromiso con el estudio.

c. Familia de estudio

La familia que se selecciona está conformada por cuatro personas. El señor Elías Puac, su esposa y dos hijos. El señor Elías es el único proveedor económicamente de la familia. Se dedica a la agricultura en una finca vecina de la aldea. La vivienda de la familia está construida de block, torta de cemento como piso y techo de lámina. Esta se distribuye en dos habitaciones. La primera es el dormitorio en el que todos los miembros de la familia ocupan y la otra habitación está destinada para la cocina. La familia cuenta con un teléfono celular mediante el cual se mantiene comunicación frecuente.

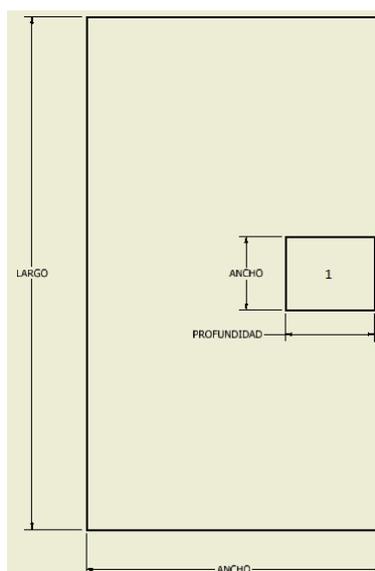
Ilustración No. 16: Familia Puac en el área de la cocina.



(Elaboración propia, 2018)

Como se observa en la figura anterior, el espacio confinado para la cocina cuenta con piso de cemento y paredes de block. Las dimensiones de esta habitación son de 3.5 metros de largo por 2.0 metros de ancho. El modelo de refrigeración se colocó como se muestra en la siguiente figura (marcador “1”).

Ilustración No. 17: Plano de la cocina.



(Elaboración propia, 2018)

d. Visita de reconocimiento

Esta visita se realiza con el fin de conocer a la familia completa y las condiciones de vivienda más a detalle. Esta visita se llevó a cabo durante el mes de septiembre del año 2018. También se analiza la acometida de energía eléctrica y la calidad de esta. Esto se realiza con el fin de certificar que las condiciones de operación de los modelos que se pondrán a prueba sean ideales. Se observa que serán necesarios unas modificaciones a la instalación eléctrica de la vivienda.

Se decide realizar el análisis de la acometida eléctrica debido a que el señor Elías comentó que la corriente eléctrica es inestable. Luego de observar las condiciones del suministro eléctrico, se decidió llamar a un electricista para comprobar la calidad de la misma. El electricista dio sugerencias de cambiar la caja de interruptores, los interruptores y el cableado general que ingresa a la vivienda. Esto debido a la mala condición en la que se encontraban. Posteriormente se procedió a la compra de materiales eléctricos necesarios y al remplazo de estos mediante la notificación a EEGSA por parte del electricista consultado. El costo total de la remodelación del sistema eléctrico del hogar fue de Q 1,790.00.

Ilustración No. 18: Condición inicial de los interruptores.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 19: Condición inicial de empalmes.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 20: Condición final de interruptores.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 21: Condición final de empalmes.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 22: Condición final de acometida eléctrica.



(Elaboración propia, 2018)

e. Visita de suministro

Mediante esta visita se hace entrega de material necesario para la instalación correcta de energía eléctrica de la vivienda. Esta visita se llevó a cabo durante el mes de septiembre del año 2018. Esto se debe a la necesidad de un cable de mayor calibre para el correcto funcionamiento de los aparatos eléctricos dentro de la vivienda. Además de otros materiales eléctricos para la remodelación de la acometida de electricidad debido al mal estado del equipo presente, anteriormente mencionados.

B. CREACIÓN DE SISTEMA PARA MONITOREO DE VARIABLES

Para llevar a cabo las pruebas necesarias para la evaluación de los prototipos se necesitaba de un sistema, accesorio o herramienta para monitorear las variables. Para esto se realizó un sistema o código programado en el Software de Arduino que se encargara de monitorear las variables. Las variables a monitorear son las de temperatura interna del espacio refrigerado y la temperatura externa o del sumidero.

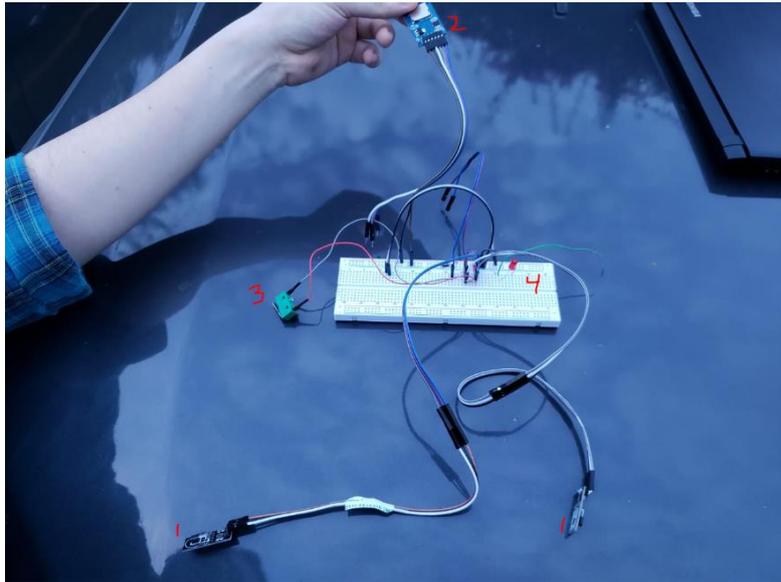
Ilustración No. 23: Componentes iniciales para el sistema de Arduino: Tarjeta Arduino UNO, Cable para conexión entre Arduino UNO y PC, Sensores de temperatura y Protoboard.



(Elaboración propia, 2018)

Sin embargo, con este sistema no era posible el dejar el programa en funcionamiento durante periodos prolongados de tiempo sin el soporte de una computadora. Por lo cual, se procedió a adaptar el sistema a un módulo de tarjeta Micro SD donde se almacenarían los datos de temperatura y así obtener un muestreo durante días y no solo durante minutos.

Ilustración No. 24: Sistema para monitoreo de variables. Donde 1: Sensores de temperatura, 2: Modulo tarjeta MicroSD, 3: Switch para iniciar sistema y 4: Indicador de funcionamiento.



(Elaboración propia, 2018)

Una vez realizado el sistema de monitoreo de variables, se procedió a incorporarlo a las refrigeradoras. Por lo cual, se decidió proteger el sistema dentro de un contenedor plástico que estaría posicionado sobre la refrigeradora.

Ilustración No. 25: Sistema de monitoreo de variables dentro del contenedor plástico.



(Elaboración propia, 2018)

C. FASE DE DISEÑO

1. Modelo ECOFRIGO17

El modelo del cual surge la idea de una refrigeradora de bajo costo para las personas de escasos recursos se basa en el primer prototipo, el ECOFRIGO17. Este consta de un barril metálico al cual se le realizan modificaciones para acondicionarlo como un espacio refrigerado. Sin embargo, se cuentan con múltiples inconvenientes sobre este modelo tanto de manufactura como inconvenientes sanitarios. Los inconvenientes principales por los cuales se descartó el diseño de un barril reutilizado fueron los problemas de salud que representa la toxicidad de cualquier contenido original del barril. Además, la exposición del evaporador en el espacio interno ya que representa un peligro para el contacto con los usuarios. Adicionalmente, el modelo presentó múltiples fugas en los empaques magnéticos. Este inconveniente se debe al diseño cilíndrico. Por último, el diseño poco ergonómico del mecanismo de cierre de la puerta del modelo.

Luego de analizar e investigar este modelo, se detectó que el contenido original de aceite automotriz que se almacenaba en el barril no pudo ser eliminado por completo. Además de esto, debido a que el barril está fabricado de un metal ferroso, existe la posibilidad de aparición de óxido. El óxido es una reacción química que resulta tóxica para la ingestión de las personas. Esto representa un peligro para la salud de los posibles usuarios de este modelo. Este es el motivo principal por el cual se descarta el uso de barriles reutilizados para la manufactura de un nuevo modelo.

a. Exterior de ECOFRIGO17

Este modelo se fabricó a partir de un barril de metal normado UNE-EN 12711:2001. Se hizo un corte longitudinal al barril para generar la compuerta del modelo. Esta compuerta se ensambló mediante la soldadura de dos bisagras que permiten la apertura y el cierre de la misma. Como mecanismo de cierre, se emplearon dos ganchos que permiten que la compuerta permanezca cerrada en todo momento. Se decidió emplear estos componentes debido a que además de este mecanismo de cierre, se emplean empaques magnéticos que, debido a su incorrecta instalación, no permiten un cierre hermético.

Adicionalmente, se agregó una estructura de perfil angular de 1 x 1/8 de pulgada y perfil hembra de 1/2 pulgada que permitió posicionar el cuerpo del modelo a 30 centímetros del suelo. En el área existente entre el suelo y la base del modelo se instalaron los componentes de refrigeración como lo son el compresor, filtro de humedad, y válvula de expansión. Como último aspecto se encuentra la manecilla de la compuerta la cual se instaló en el costado derecho y altura media de la misma.

Ilustración No. 26: Exterior del primer modelo.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 27: Bisagras instaladas.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 28: Ganchos de cierre.



(Elaboración propia, 2018)

b. Interior de ECOFRIGO17

El interior de este modelo cuenta con la estructura interna del barril metálico antes mencionado. Se pintó el interior del barril con pintura anticorrosiva. Luego se adhieren planchas de poliestireno expandido en el interior del modelo y en el interior de la puerta fabricada. Posteriormente se realizó la instalación del evaporador para lograr la transferencia de calor correspondiente. Por último, se instaló el termostato para regular la temperatura interna del espacio refrigerado.

Como se puede observar en la siguiente figura, el modelo cuenta con una malla de acero galvanizado. Esta adaptación se realizó con el fin de realizar pruebas de funcionamiento de una forma segura. Esto se debe a que anteriormente el evaporador se encontraba expuesto al contacto con alimentos y recipientes que se colocaran dentro del espacio refrigerado.

Ilustración No. 29: Interior del primer modelo.



(Elaboración propia, 2018)

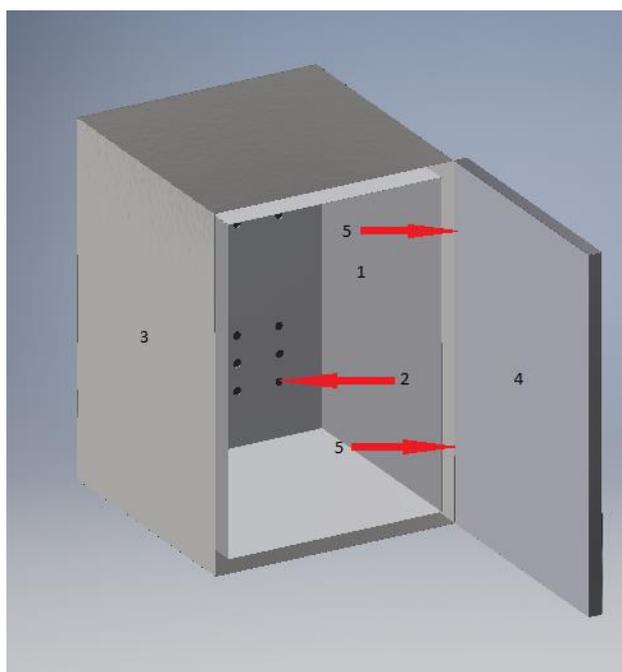
Las pruebas de funcionamiento consistieron en pruebas en un ambiente controlado (Laboratorio) y pruebas de campo (posteriormente se describen los detalles de ambas pruebas). Las pruebas de campo para el modelo ECOFRIGO17 tuvieron que ser descartadas luego de analizar las pruebas de laboratorio. Esto se debe a que el modelo reportó una temperatura interior mínima de 9.0 grados centígrados (posteriormente se muestran los resultados). La temperatura mínima reportada en el interior del modelo no es adecuada para pruebas de campo debido a que pone en riesgo la integridad de los alimentos en refrigeración.

Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio mostraron un rendimiento pobre del modelo ECOFRIGO17. Se puede concluir esto debido a las temperaturas insatisfactorias que reportó el modelo. El compresor estuvo en funcionamiento continuo durante el período de prueba de 48 horas. Esto significa que el termostato no alcanzó una temperatura suficientemente baja para interrumpir la carga eléctrica al compresor.

2. Modelo ECOFRIGO18

Debido a que el objetivo del espacio refrigerado es el uso por personas de la aldea El Platanar, se opta por utilizar materiales completamente nuevos y se hace un cambio drástico en la geometría, materiales a utilizar y estructura del espacio refrigerado. Esto con el fin de resolver el problema de sanidad que presenta utilizar un barril metálico reutilizado. Se decide diseñar un modelo rectangular lo cual facilita la manufactura y al mismo tiempo amplifica la cantidad de productos almacenables dentro del mismo. La estructura completa consiste en cinco cuerpos los cuales son: la base exterior, la base interior, la base del serpentín, la puerta y la estructura de perfil angular. Mediante la estructura de perfil angular logramos capturar la forma externa e interna del espacio refrigerado y al mismo tiempo nos permite rigidez para contener todos los elementos. La base exterior consiste en lámina de acero galvanizado que se moldea a la estructura principal. La base interior, también de acero galvanizado cuenta con agujeros en una de sus secciones que permiten que se transmita el calor del serpentín hacia el interior del espacio refrigerado. La base para el serpentín se coloca detrás de la base interior y alojará el serpentín. Por último, la puerta que nos permitirá el acceso al interior del espacio refrigerado.

Ilustración No. 30: Diseño del ensamblaje propuesto.



(Elaboración propia, 2018)

Tabla No. 10: Ensamblaje del modelo implementado

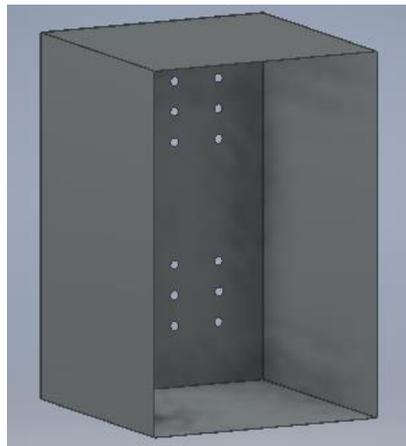
| Marcador | Descripción |
|-----------------|--------------------|
| 1 | Cuerpo interior |
| 2 | Base del serpiente |
| 3 | Cuerpo exterior |
| 4 | Puerta |
| 5 | Bisagras |

(Elaboración propia, 2018)

a. Interior de ECOFRIGO18

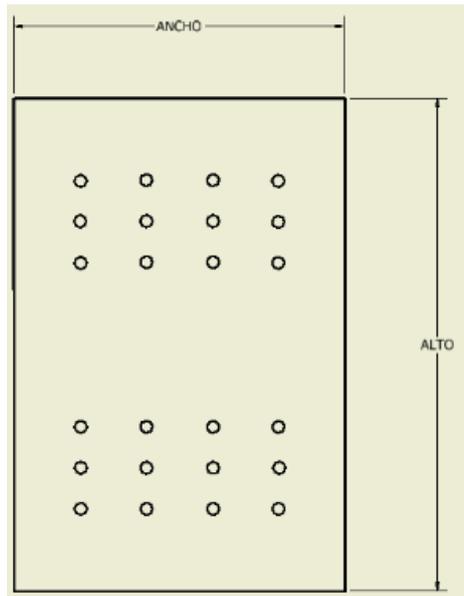
El diseño del nuevo modelo se empezó desde cero. Se tomó en cuenta la entrevista realizada a la familia Puac con el fin de conocer sus necesidades de refrigeración. Con base en estas necesidades se decidió diseñar el modelo. El diseño parte del volumen interior de almacenamiento de 96 litros. Este volumen se decidió con base en la cantidad de alimentos máximo que ingresen los ocupantes. El volumen del cuerpo interior del espacio refrigerado se distribuye en 40 centímetros de ancho, 60 centímetros de alto y 40 centímetros de profundidad. Posteriormente se colocará una bandeja a media altura del cuerpo para una mejor distribución de los alimentos.

Ilustración No. 31: Diseño del cuerpo interior del espacio refrigerado.



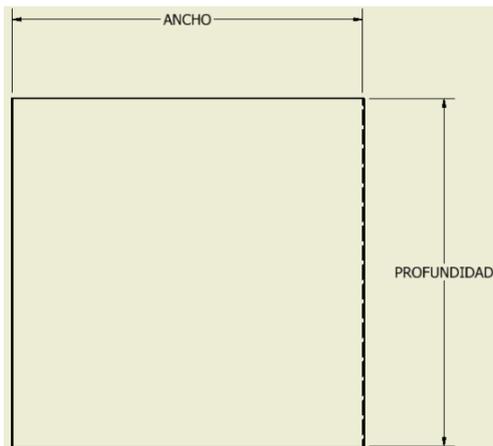
(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 32: Vista ortogonal 1 del cuerpo interior.



(Elaboración propia, 2018)

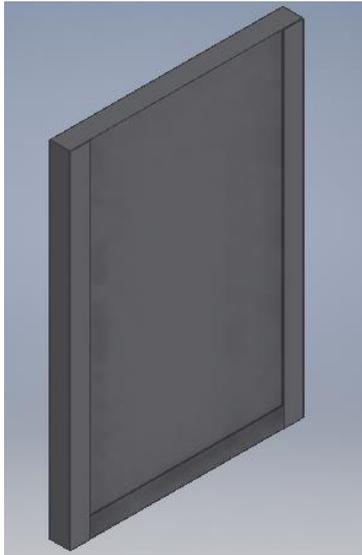
Ilustración No. 33: Vista ortogonal 2 del cuerpo interior.



(Elaboración propia, 2018)

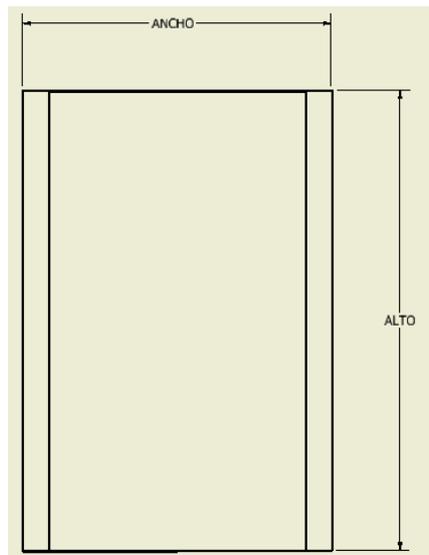
La base interior consiste en una lámina de acero galvanizado doblada para generar la forma que se muestra en las tres figuras anteriores. Se puede observar que la cara posterior contiene agujeros, estos permitirán que el calor sea retirado de los alimentos dentro del espacio refrigerado. Las medidas de las demás piezas dependen de las dimensiones del cuerpo interior antes mencionadas (40x60x40 centímetros).

Ilustración No. 34: Diseño de base para evaporador.



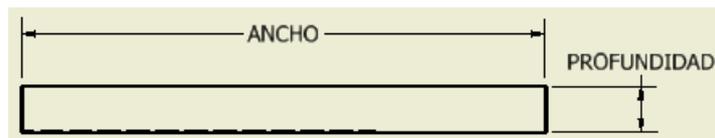
(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 35: Vista ortogonal 1 de base del serpentín.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 36: Vista ortogonal 2 de base del serpentín.



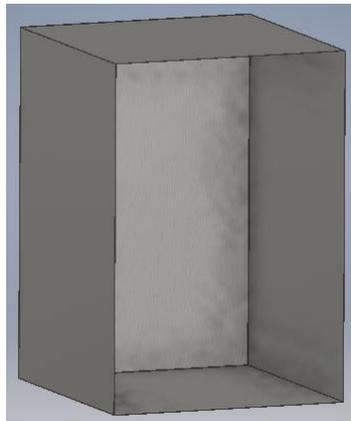
(Elaboración propia, 2018)

La base para el evaporador consiste en lámina de acero galvanizado doblada en la geometría presentada en las tres figuras anteriores. Esta base alojará el serpentín que retira el calor del espacio interior. Se ubicará en la parte posterior de la base interna. Las pestañas que se muestran serán el soporte hacia la cara de la base interior que contiene los agujeros de transferencia.

b. Exterior de ECOFRIGO18

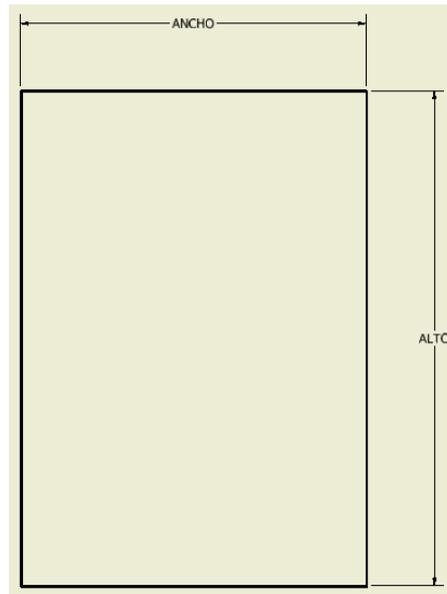
Fabricado del mismo material que el cuerpo interno, el exterior del modelo sigue el mismo principio de fabricación. Las dimensiones de este cuerpo dependen de las dimensiones del perfil angular que se decide seleccionar para la fabricación del modelo. El perfil angular seleccionado es 3/4" X 1/8". La decisión de este perfil se debe al espesor del aislante deseado. Adicionalmente del cuerpo externo, se agrega un espacio en el inferior del cuerpo externo. Este espacio alberga los componentes de refrigeración y además provee de altura al modelo.

Ilustración No. 37: Diseño del cuerpo exterior del espacio refrigerado.



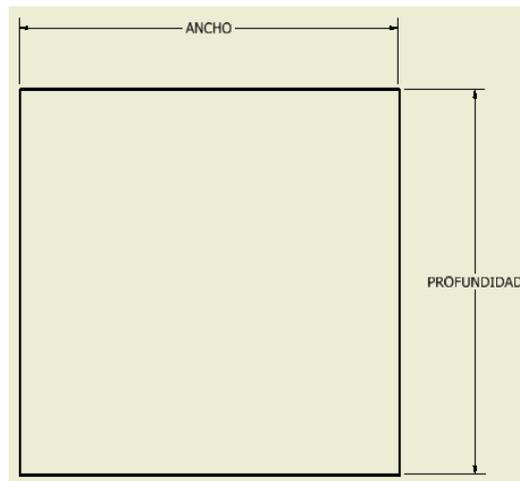
(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 38: Vista ortogonal 1 del cuerpo exterior.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 39: Vista ortogonal 2 del cuerpo exterior.



(Elaboración propia, 2018)

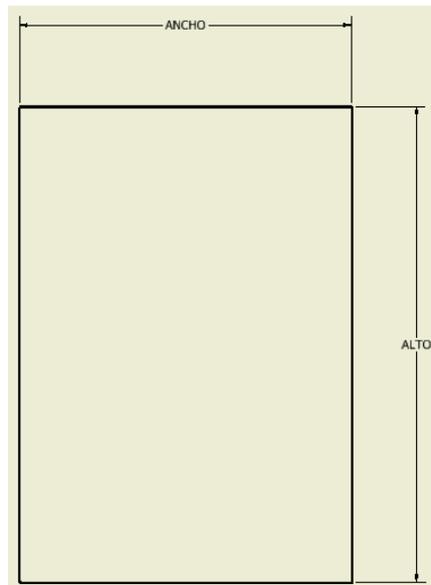
Por último, la puerta se fabricó de dos marcos de perfil angular, lámina de acero galvanizado y una manecilla para facilitar la apertura y cierre de la misma. Esta fue instalada posteriormente mediante dos bisagras. Una vez fabricadas todas las piezas se procedió con el ensamblaje de las mismas.

Ilustración No. 40: Puerta del modelo implementado.



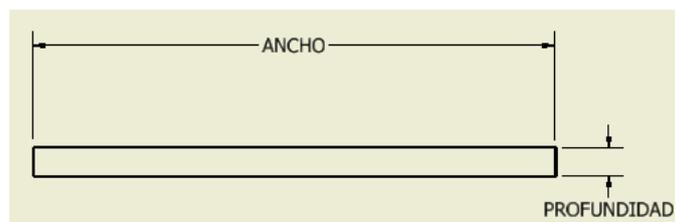
(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 41: Vista ortogonal 1 de la puerta.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 42: Vista ortogonal 2 de la puerta.



(Elaboración propia, 2018)

D. REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El diseño de este sistema de refrigeración está enfocado en un espacio refrigerado diseñado para hogares sin refrigeradora y con acceso a energía eléctrica. Normalmente, no poseen refrigeradora debido a los altos costos de estos productos. Estos requerimientos serán obtenidos con base en la observación de sistemas de refrigeración ya existentes. Se iniciará el proceso identificando los requerimientos del sistema de refrigeración y sus restricciones para dicho sistema.

Tabla No. 11: Requerimientos y restricciones para el sistema de refrigeración.

| Código | Requerimiento | Restricción | Fuente |
|---------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| RSR – 1 | Tipo de uso de sistema | Doméstico | Propia |
| RSR – 2 | Tipos de secciones internas | Refrigerador | Propia |
| RSR – 3 | Tipo de sistema | Compresión de vapor | Propia |
| RSR – 4 | Volumen de refrigeración | 108 litros ó 0.108 m ³ | Diseño realizado por Rubén Barillas. |
| RSR – 5 | Temperatura de espacio refrigerado | 4.5°C ó menor | (USDA, 2015) |
| RSR - 7 | Temperatura de sumidero | 30°C | Propia |
| RSR – 6 | Tipo de ensamblaje | Replicable | Propia |

(Elaboración propia, 2018)

De la misma manera, se procederá a realizar el mismo análisis de forma individual a cada uno de los componentes que se planean implementar en el sistema. Se espera obtener un mínimo de tres requerimientos para cada uno de ellos.

Tabla No. 12: Requerimientos y restricciones para el compresor.

| Código | Requerimiento | Restricción | Fuente |
|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|
| RCM – 1 | Volumen de espacio de refrigerado | 108 litros ó 0.108 m ³ | Diseño realizado por Rubén Barillas. |
| RCM – 2 | Frecuencia de trabajo | 60 Hz | Frecuencia en Guatemala |
| RCM – 3 | Voltaje de alimentación | 110 voltios | Voltaje doméstico en Guatemala |
| RCM – 4 | Potencia | Inferior a ½ hp | Compresores convencionales para refrigeración doméstica |
| RCM – 5 | Refrigerante | R – 134a | ASHRAE |
| RCM – 6 | Temperaturas de evaporación | -5°C a -30°C | Propia |
| RCM – 7 | Tipo de compresor | Hermético recíprocante | Compresores convencionales para refrigeración doméstica |
| RCM – 8 | Fijación | Pernación | Propia |

(Elaboración propia, 2018)

Tabla No. 13: Requerimientos y restricciones para el evaporador.

| Código | Requerimiento | Restricción | Fuente |
|---------|-------------------------|--------------------|---------------------------|
| REV – 1 | Material del evaporador | Cobre | Propio |
| REV – 2 | Diámetro | 0.25 pulgadas | Diámetro común en mercado |
| REV – 3 | Tipo de evaporador | Convección natural | Propio |
| REV – 4 | Salto térmico | 8°C a 12°C | |
| REV – 5 | Tipo de dobleces | Tipo arco | Propio |
| REV – 6 | Método de ensamble | Soldadura | Método común |

(Elaboración propia, 2018)

Tabla No. 14: Requerimientos y restricciones para condensador.

| Código | Requerimiento | Restricción | Fuente |
|---------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| RCN – 1 | Material del condensador | Acero | Propio |
| RCN – 2 | Diámetro | 0.25 pulgadas | Diámetro común en mercado |
| RCN – 3 | Tipo de condensador | Tipo convección natural | Propio |
| RCN – 4 | Salto térmico | 15°C | Norma ENV 327 |
| RCN – 5 | Tipo de dobleces | Tipo arco | Propio |
| RCN – 6 | Método de ensamble | Soldadura | Método común |

(Elaboración propia, 2018)

Tabla No. 15: Requerimientos y restricciones para el dispositivo de expansión.

| Código | Requerimiento | Restricción | Fuente |
|---------|--------------------------|--------------|------------------------------------------------|
| REX – 1 | Dispositivo de expansión | Tubo capilar | Dispositivo común en refrigeradoras domésticas |
| REX – 2 | Material | Cobre | Material común en tubos capilares |
| REX – 3 | Método de ensamble | Soldadura | Método común |

(Elaboración propia, 2018)

Tabla No. 16: Requerimientos y restricciones para el termostato.

| Código | Requerimiento | Restricción | Fuente |
|---------|--------------------|--------------|--------|
| RTS – 1 | Tipo de termostato | Ambiental | Propia |
| RTS – 2 | Tipo de sensor | Bulbo sensor | Propia |
| RTS – 3 | Fijación | Pernación | Propia |

(Elaboración propia, 2018)

E. CÁLCULO DE CARGA DE REFRIGERACIÓN NECESARIA EN EL SISTEMA

Inicialmente se debe calcular la carga de refrigeración que estará presente dentro del espacio refrigerado. Esto se debe a que con base en este dato se diseñará el sistema de refrigeración. Como se mencionó anteriormente, se dividirá el cálculo de la carga de refrigeración en tres puntos: Carga por transmisión en paredes, carga por producto y carga por infiltraciones.

1. Condiciones iniciales

Para esto se debe conocer las dimensiones y condiciones en las que estará el sistema de refrigeración dentro del espacio refrigerado.

Tabla No. 17: Dimensiones internas y externas del espacio refrigerado del segundo prototipo.

| Dimensión | Interior (m) | Exterior (m) |
|---------------------------|--------------|--------------|
| Altura | 0.60 | 0.68 |
| Ancho | 0.40 | 0.48 |
| Profundidad | 0.45 | 0.53 |
| Volumen (m ³) | 0.108 | 0.173 |

(Elaboración propia, 2018)

Conociendo estos datos se puede proceder a realizar los cálculos de áreas superficiales internas y externas con el uso de la siguiente expresión.

Expresión No. 15: Área superficial de una caja rectangular (A_s).

$$A_s = 2lp + 2pa + 2al$$

Donde:

l : Es el largo del espacio refrigerado (m).

p : Es la profundidad del espacio refrigerado (m).

a : Es el ancho del espacio refrigerado (m).

De esta forma se obtienen los siguientes datos.

Tabla No. 18: Áreas superficiales del espacio refrigerado diseñado por Rubén Barillas.

| Área superficial | Dimensión (m ²) |
|------------------------|-----------------------------|
| Interior | 1.02 |
| Exterior | 1.37 |
| Techo y suelo interior | 0.18 |
| Techo y suelo exterior | 0.25 |

(Elaboración propia, 2018)

Por último, se definen nuevamente las temperaturas teóricas a alcanzar en el sistema.

Tabla No. 19: Temperaturas teóricas a alcanzar dentro y fuera del espacio refrigerado.

| Ubicación | Temperatura (°C) |
|-----------|------------------|
| Interior | 4 |
| Ambiente | 30 |

(Elaboración propia, 2018)

2. Carga por transmisión de calor en paredes

Una vez con los valores definidos en los últimos dos cuadros, se procede a definir las conductancias y conductividades térmicas de los materiales utilizados en el espacio refrigerado. Donde el material del espacio interior y exterior es de acero inoxidable y el material del aislante es de poliuretano en espuma.

Tabla No. 20: Conductancias, conductividades térmicas y espesores de materiales en el espacio refrigerado.

| Medida | Variable | Valor | Dimensión |
|-------------------------------------------|----------|----------|-------------|
| Conductancia del espacio interior | h_1 | 1.46 | $W / m^2 K$ |
| Conductancia del espacio exterior | h_2 | 1.46 | $W / m^2 K$ |
| Conductividad térmica de espacio interior | k_1 | 45.3 | $W / m K$ |
| Conductividad térmica de espacio exterior | k_2 | 45.3 | $W / m K$ |
| Conductividad térmica de aislante | k_3 | 0.026 | $W / m K$ |
| Espesor espacio interno | x_1 | 0.000417 | m |
| Espesor espacio externo | x_2 | 0.000417 | m |
| Espesor aislante | x_3 | 0.035 | m |

(Elaboración propia, 2018)

Las conductancias utilizadas se definen según ASHRAE para una superficie de aire en estado estacionario de forma vertical, con un flujo de calor con dirección horizontal. Este valor se reduce a 1.46 al utilizar una emitancia superficial de 0.9 ya que las superficies estarán recubiertas con pintura no reflectiva. Con estos últimos valores definidos, se procede a utilizar la Expresión No. 2 para calcular los coeficientes de transferencia de calor en las superficies.

Tabla No. 21: Coeficientes de transferencia de calor en las superficies del espacio refrigerado.

| Medida | Variable | Valor | Dimensión |
|--------|--------------------|-------|-------------|
| Pared | U_{pared} | 0.368 | $W / m^2 K$ |
| Suelo | U_{suelo} | 0.368 | $W / m^2 K$ |
| Techo | U_{techo} | 0.368 | $W / m^2 K$ |

(Elaboración propia, 2018)

Como es de esperarse, los valores son iguales para las superficies ya que todas poseen las mismas capas de materiales en el mismo orden. Ahora bien, con estos valores se calculan las cargas por transmisión por medio de las superficies con la Expresión No. 1.

Tabla No. 22: Cargas individuales y total por transmisión de calor por medio de las superficies

| Medida | Variable | Valor | Dimensión |
|--------|--------------------|--------|-----------|
| Pared | q_{pared} | 13.149 | W |
| Suelo | q_{suelo} | 2.435 | W |
| Techo | q_{techo} | 2.435 | W |
| TOTAL | | 18.020 | W |

(Elaboración propia, 2018)

Esto da un total de 18.020 Watts por carga por transferencia de calor a través de las superficies. Esto se puede reducir a valores menores utilizando un mayor espesor de aislante o utilizando una emitanancia superficial de menor valor numérico.

3. Carga por producto

Todos los productos que se ingresan a un espacio refrigerado afectan a la carga de refrigeración que el sistema debe de suplir. Además, como se mencionó en el marco teórico los productos vivos como vegetales y frutas producen calor extra durante la respiración. Por lo cual, se procede a obtener los calores específicos de los productos que estarán dentro del espacio refrigerado. Además de los coeficientes a y b para el cálculo de calor emitido durante la respiración. Estos alimentos investigados son los que la familia del estudio de ambiente mencionó que utilizarían. Para dichos alimentos se usará un estimado de 0.7 kg de masa para cada uno de ellos.

Tabla No. 23: Calores específicos y coeficientes a y b de los alimentos dentro del espacio refrigerado.

| Alimento | Calor específico (kJ / kg K) | Masa (kg) | Calor de respiración | |
|----------|---------------------------------|-----------|----------------------|-----------------|
| | | | Coeficiente a | Coeficiente b |
| Tomate | 3.99 | 0.7 | 13.2 | 0.103 |
| Cebolla | 3.82 | 0.7 | 6.92 | 0.099 |
| Brócoli | 3.86 | 0.7 | 97.7 | 0.121 |
| Plátano | 3.35 | 0.7 | 59.1 | 0.074 |
| Rábano | 3.35 | 0.7 | 25.89 | 0.083 |
| Perejil | 3.69 | 0.7 | 38.1 | 0.056 |
| Coliflor | 3.92 | 0.7 | 0 | 0.108 |
| Leche | 3.79 | 0.7 | - | - |
| Embutido | 2.11 | 0.7 | - | - |
| Pollo | 3.32 | 0.7 | - | - |
| Res | 3.08 | 0.7 | - | - |
| Cerdo | 2.08 | 0.7 | - | - |
| Frijol | 3.82 | 0.7 | 86.1 | 0.115 |
| Elote | 3.62 | 0.7 | 131.00 | 0.08 |
| TOTAL | | 9.8 | | |

(Elaboración propia, 2018)

Con estos valores obtenidos, se procede a calcular la carga por transferencia de calor por producto y sus respectivas respiraciones. Para esto, se definirá que el tiempo para enfriar toda la carga desde una temperatura ambiente a la temperatura objetivo será de 8 horas o de 480 minutos en total.

Tabla No. 24: Cargas individuales y total por almacenamiento de producto y carga por respiración de producto.

| Alimento | Carga por almacenamiento (W) | Carga por respiración (W) | Total (W) |
|--------------|---------------------------------|------------------------------|---------------|
| Tomate | 2.521 | 0.071 | 2.592 |
| Cebolla | 2.414 | 0.034 | 2.448 |
| Brócoli | 2.439 | 0.785 | 3.224 |
| Plátano | 2.117 | 0.169 | 2.286 |
| Rábano | 2.117 | 0.090 | 2.207 |
| Perejil | 2.332 | 0.075 | 2.407 |
| Coliflor | 2.477 | 0.000 | 2.477 |
| Leche | 2.395 | 0.000 | 2.395 |
| Embutidos | 1.333 | 0.000 | 1.333 |
| Pollo | 2.098 | 0.000 | 2.098 |
| Res | 1.946 | 0.000 | 1.946 |
| Cerdo | 1.314 | 0.000 | 1.314 |
| Frijol | 2.414 | 0.603 | 3.017 |
| Elote | 2.288 | 0.399 | 2.687 |
| TOTAL | | | 32.432 |

(Elaboración propia, 2018)

Las cargas individuales por almacenamiento se calculan utilizando las Expresiones No. 3 y 4. Mientras que las cargas individuales por respiración se calculan utilizando las Expresiones No. 5 y 6. Con esto se logra obtener una carga total de 32.432 W.

4. Carga por infiltraciones de aire

Para finalizar los cálculos de carga, se utilizará el sistema de HeatCraft Proselect Software para calcular la carga por infiltraciones de aire. Para esto, se utilizará la versión gratuita en línea que permite los cálculos de infiltraciones para espacios definidos. Las dimensiones mínimas permitidas en el software son de 1 metro para el espacio interno del espacio refrigerado. A continuación, se presentan los valores ingresados en la interfaz.

Tabla No. 25: Valores utilizados en la interfaz del software de HeatCraft Proselect.

| Variable | Valor | Dimensión |
|---------------------------------|-------|-----------|
| Temperatura espacio refrigerado | 4 | °C |
| Temperatura ambiente | 30 | °C |
| Altura espacio refrigerado | 1 | m |
| Ancho espacio refrigerado | 1 | m |
| Profundidad espacio refrigerado | 1 | m |
| Altura puerta | 0.7 | m |
| Ancho puerta | 0.5 | m |
| Tiempo de apertura | 1 | min |

(Elaboración propia, 2018)

Se procede a utilizar el método de la velocidad del aire para el cálculo de la carga. Dicho valor será obtenido en BTU / h, por lo cual se convertirá a Watts.

Ilustración No. 43: Interfaz para el cálculo de carga por infiltraciones de aire por método de la velocidad del aire en HeatCraft Proselect.

Guidelines...

Room Temp: Dry Bulb 4.00, % R.H. 90.0, Wet Bulb 3.3

Ambient Temp: 30.00 °C, 50.0, 22.1 °C

Special door type: None

Special door quantity: 0

Special door load: 0 BTU/day

Air Change Method

Air Velocity Method

| | | | | |
|------|------|------|------|-----------------------------|
| 30 | 30 | 30 | 30 | Entering Dry Bulb |
| 49 | 50 | 50 | 50 | Entering % RH |
| 22 | 22 | 22 | 22 | Entering Wet Bulb |
| 1 | 1 | 0 | 0 | Door Quantity |
| 0.7 | 2.1 | 0.7 | 0.7 | Door Height |
| 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.9 | Door Width |
| 1 | 1 | 2 | 2 | Openings per hour |
| 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Opening time |
| 0 | 0 | 0 | 0 | Strip curtain effectiveness |

3787 0 0 0 0 BTU/day Daily infiltration Load

237 0 0 0 0 BTU/H Hourly air velocity load

Air load
237 BTU/H

Summary To Wall Load To Product Load To Misc Load

Language: English Units: Standard Date 1/1/01 OK

(Elaboración propia, 2018)

En total se obtienen 237 BTU/h o 69.26 W de calor al espacio refrigerado debido a las infiltraciones de aire. Lo cual es extremadamente superior a las otras cargas calculadas. Esta se puede reducir con una puerta de menor tamaño o utilizando una cortina que impida el flujo.

5. Carga total de refrigeración

Con estas tres cargas calculadas ya se posee todos los factores que afectarán al sistema de refrigeración. Ahora bien, como se acostumbra en todo proceso de la ingeniería, a esta carga total se le debe de efectuar un factor de seguridad. En este proyecto se empleará un factor de seguridad de 1.2 siendo el factor recomendado para cálculos de refrigeración según *Bohn y The Engineering Mindset*.

Tabla No. 26: Carga total a suplir por el sistema de refrigeración.

| Carga | Valor | Dimensión |
|----------------------------------|----------------|-----------|
| Carga por transmisión de paredes | 18.020 | W |
| Carga por producto | 32.432 | W |
| Carga por infiltraciones | 69.460 | W |
| Total de cargas sin seguridad | 119.912 | W |
| Factor de seguridad | 1.2 | - |
| TOTAL | 143.894 | W |

(Elaboración propia, 2018)

F. DISEÑO DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

1. Condiciones iniciales del sistema

Para obtener los resultados correctos se debe de definir las condiciones en las cuales se desea diseñar el sistema de refrigeración.

Tabla No. 27: Condiciones iniciales del sistema de refrigeración.

| Variable | Valor | Dimensión |
|----------------------------------------------|---------|-----------|
| Volumen del espacio refrigerado | 108 | L |
| Temperatura objetivo del espacio refrigerado | 4.0 | °C |
| Temperatura ambiente (sumidero) | 30.0 | °C |
| Salto térmico en condensador | 15.0 | °C |
| Salto térmico en evaporador | 10.0 | °C |
| Carga de refrigeración | 143.894 | W |

(Elaboración propia, 2018)

2. Selección del compresor del sistema

Según los requerimientos del compresor mencionados en el Cuadro No. 8, se procede a buscar un compresor que cumpla dichos requerimientos. En el mercado existen variedad de elecciones para un compresor. Entre las opciones destacan los compresores de marca Embraco, los cuales poseen un gran respaldo técnico para el diseño de sistemas de refrigeración. Por lo cual, para unos cálculos correctos se utilizarán los respaldos y documentación técnica de Embraco y sus compresores.

Observando el Anexo No. 1 y utilizando los datos obtenidos de carga de refrigeración y el volumen del espacio refrigerado se puede utilizar un compresor de 1 /10 de hp de potencia. Sin embargo, comercialmente en Guatemala se utilizan mayormente los compresores de 1 / 8 hp o superiores. Por lo cual, se tomó la decisión de utilizar un compresor de 1 / 8 hp de potencia para el sistema de refrigeración.

Entre las opciones del Anexo No. 1 se escogió el compresor Embraco EMI 45HER ya que cumple con todos los requerimientos y sus restricciones planteados en el Cuadro No. 8. Por lo cual se diseñará el sistema en torno a dicho compresor.

Ilustración No. 44: Información técnica del compresor EMI 45HER de marca Embraco.

General Data

| | |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Type: | Hermetic reciprocating |
| Refrigerant: | R134a |
| Application: | LBP |
| Evaporating Temperature Range: | -35°C to -10°C |
| Voltage/Frequency: | 115-127V 60Hz 1~ |
| Displacement: | 3.77cm ³ |
| Compressor Cooling: | Static |
| Maximum Condensing Pressure - Operating: | 13.92 bar (rel) |
| Maximum Condensing Pressure - Peak: | 15.62 bar (rel) |
| Technology Type: | On-Off |
| Expansion Device: | Capillary Tube |
| Horse Power: | 1/8 hp |
| Approvals: | CE  |

(Embraco, 2018)

3. Diseño del evaporador del sistema

Con un compresor definido, se procede a diseñar el evaporador que se utilizará en el sistema de refrigeración. Para esto se utilizará la Expresión No. 9 y se despejará para calcular la temperatura de evaporación. Para el cálculo se utilizará un valor de 0°C de temperatura objetivo y no una temperatura de 4°C. De esta forma se asegura un espacio refrigerado seguro y evitando ser un congelador.

Tabla No. 28: Condiciones iniciales de diseño del evaporador del sistema de refrigeración.

| Variable | Valor | Dimensión |
|----------------------------------------------|-------|-----------|
| Salto térmico evaporador | 10.0 | °C |
| Temperatura objetivo del espacio refrigerado | 4.0 | °C |
| Temperatura objetivo por seguridad | 0.0 | °C |
| Temperatura de evaporación | -10.0 | °C |

(Elaboración propia, 2018)

Con una temperatura de evaporación definida, se utilizará el siguiente cuadro para obtener la capacidad de refrigeración para el compresor EMI 45HER.

Tabla No. 29: Capacidad de refrigeración para el compresor EMI 45HER según las temperaturas de evaporación y condensación.

| Condensing Temperature °C | Evaporating Temperature °C | Cooling Capacity W | Power Consumption W | Current Consumption A | Gas Flow Rate kg/h | Efficiency W/W |
|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|
| 45°C | -10 | 262 | 126 | 1.49 | 5.13 | 2.08 |
| | -15 | 211 | 114 | 1.41 | 4.11 | 1.85 |
| | -20 | 165 | 103 | 1.33 | 3.20 | 1.61 |
| | -25 | 125 | 92 | 1.25 | 2.41 | 1.36 |
| | -30 | 90 | 82 | 1.19 | 1.74 | 1.11 |
| | -35 | 62 | 73 | 1.13 | 1.20 | 0.85 |

(Embraco, 2018)

El compresor EMI 45HER podrá suplir una carga de refrigeración de 262 Watts con una temperatura de evaporación de -10°C y una temperatura de condensación de 45°C . Estos datos nos aseguran que en nuestras condiciones el sistema podría llegar a entregar su carga total. Dicha carga total es mayor a la carga necesitada de 144 Watts. Esto quiere decir que el compresor trabajará a un 55% de su capacidad máxima, evitando que este se vea sobrecargado. Los resultados de las condiciones iniciales del evaporador se presentan a continuación.

Ahora se procede a calcular la capacidad de extracción del evaporador corregida, utilizando la Expresión No. 7. Para esto primero se utilizará el Cuadro No. 2 para obtener las condiciones de trabajo y el factor FR. Luego se utiliza la Figura No. 4 y obtener el nuevo salto térmico DT1. Por último, se utiliza la Figura No. 5 y así obtener el factor de corrección de la condición de cálculo (FT) utilizando.

Tabla No. 30: Factores y coeficientes para el diseño del evaporador del sistema de refrigeración.

| Variable | Valor | Dimensión |
|------------------------------------------------------|-------|-----------|
| Condición | SC2 | - |
| Factor de corrección por refrigerante (FR) | 0.91 | - |
| Salto térmico para cálculo (DT1) | 7.0 | - |
| Factor de corrección de la condición de cálculo (FT) | 0.90 | - |

(Elaboración propia, 2018)

Una vez conocidos los factores se realiza el cálculo de la extracción del evaporador corregida utilizando la Expresión No. 7.

Tabla No. 31: Capacidad nominal de refrigeración del compresor y capacidad de refrigeración del evaporador en condiciones de trabajo.

| Variable | Valor | Dimensión |
|----------------------------------------------------|-------|-----------|
| Capacidad nominal de refrigeración del compresor | 262.0 | W |
| Capacidad en condiciones de trabajo del evaporador | 319.9 | W |

(Elaboración propia, 2018)

Para terminar el diseño del evaporador se debe de conocer la longitud necesaria de tubería de cobre que se utilizará. Para esto se utiliza la Expresión No. 8 y se despeja hacia la longitud en el área superficial.

Expresión No. 16: Largo necesario para una tubería como intercambiador de calor (l_{evap}).

$$l_{evap} = \frac{q_{evap}}{2\pi r_{prom} k \Delta T_E}$$

Donde:

l_{evap} : Es la longitud necesaria de tubería de cobre (m).

q_{evap} : Es el calor extraído por el evaporador (W).

r_{prom} : Es el radio promedio de la tubería de cobre (m).

k : Es el coeficiente de transferencia de calor del material por metro (W / m² °C).

ΔT_E : Es el salto térmico del evaporador (°C).

Para este cálculo se utiliza un radio promedio ya que es una geometría circular y por lo cual se utilizará un radio equivalente de 0.0287 m. Este radio equivalente es obtenido del promedio de los radios externos e internos, siendo de 0.003175 m y 0.002565 m, respectivamente.

Tabla No. 32: Datos técnicos para el diseño del evaporador del sistema de refrigeración del segundo prototipo.

| Variable | Valor | Dimensión |
|----------------------------------------------------|---------|----------------------|
| Material del evaporador | Cobre | - |
| Diámetro de tubería | 0.25 | pulg |
| Radio promedio de la tubería | 0.00287 | m |
| Conductividad térmica del cobre por metro | 380.0 | W / m ² K |
| Salto térmico en evaporador | 10.0 | K |
| Capacidad en condiciones de trabajo del evaporador | 319.9 | W |
| Longitud evaporador | 4.67 | m |

(Elaboración propia, 2018)

4. Diseño del condensador del sistema

El condensador de un sistema de refrigeración es el otro intercambiador de calor aparte del evaporador. El condensador se encarga de expulsar el calor al sumidero que fue extraído en el espacio refrigerado por el evaporador. Se especifican las condiciones iniciales en las que se encontrará el condensador.

Tabla No. 33: Condiciones iniciales del compresor en el sistema de refrigeración del segundo prototipo.

| Variable | Valor | Dimensión |
|-------------------------------|-------|-----------|
| Salto térmico en condensador | 15.0 | °C |
| Temperatura del sumidero | 30.0 | °C |
| Calor removido por evaporador | 319.9 | W |

(Elaboración propia, 2018)

Para diseñar el condensador se utilizará la Expresión No. 12 para calcular la capacidad nominal del condensador que se necesitará para el sistema. Para esto se debe de utilizar la Figura No. 7 y obtener el factor de corrección por compresión utilizando -10°C como temperatura de evaporación y 45°C como temperatura de condensación.

Luego se utiliza el Cuadro No. 3 para obtener el factor de corrección por refrigerante utilizando R – 134a. Por último, se utiliza el Cuadro No. 4 para obtener el factor de corrección por altitud utilizando la altitud promedio en San José Pínula y extrapolando el factor con la altitud.

Tabla No. 34: Calor expulsado por condensador al ambiente en el sistema de refrigeración del segundo prototipo.

| Variable | Valor | Dimensión |
|--------------------------------------------|---------|-----------|
| Temperatura de evaporación | -10.0 | °C |
| Temperatura de condensación | 45 | °C |
| Factor de corrección por compresión (Fc) | 1.46 | - |
| Factor de corrección por refrigerante (Fr) | 1.06 | - |
| Altura del nivel del mar | 1740.00 | m |
| Factor de corrección por altura (Fa) | 1.134 | - |
| Calor expulsado por condensador | 561.422 | W |

(Elaboración propia, 2018)

Ahora bien, comercialmente en Guatemala se encuentran únicamente condensadores para compresores de 1 / 4 de hp de potencia. Dichos condensadores son fabricados con tubería de acero y con varillas difusoras de hierro soldadas transversalmente para aumentar el área de contacto. Por lo cual, en caso de que la tubería sea mucho mayor al espacio refrigerado externo, se procederá a calcular la tubería necesaria. Con este dato se podrá saber cuánta tubería se puede desechar sin perjudicar al sistema de refrigeración. Para esto se utiliza la Expresión No. 8 y se desglosa para obtener el calor expulsado por las varillas difusoras.

Expresión No. 17: Calor expulsado por varillas difusoras del condensador del segundo prototipo ($q_{varillas}$).

$$q_{varillas} = n2\pi r l k_{hierro} \Delta T_{varillas}$$

Donde:

$q_{varillas}$: Es el calor expulsado por las varillas difusoras (W).

n : Es la cantidad de varillas difusoras en el condensador (Adimensional).

l : Es la longitud necesaria de las varillas difusoras (m).

r : Es el radio de las varillas difusoras (m).

k : Es el coeficiente de transferencia de calor del hierro por metro ($W / m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).

$\Delta T_{varillas}$: Es el salto térmico de las varillas difusoras ($^\circ\text{C}$).

Tabla No. 35: Calor expulsado por varillas difusoras del condensador al sumidero del segundo prototipo.

| Variable | Valor | Dimensión |
|-----------------------------------------------------------|--------|-----------|
| Radio de varillas difusoras | 0.0007 | m |
| Largo de varillas difusoras | 0.98 | m |
| Número de varillas difusoras | 154 | - |
| Coficiente de transferencia de calor del hierro por metro | 79 | W / m °C |
| Salto térmico en varillas difusoras | 5 | °C |
| Calor expulsado por varillas difusoras | 262 | W |

(Elaboración propia, 2018)

Con el calor expulsado por las varillas difusoras del condensador se debe de calcular cuánto calor expulsaría la tubería de acero. Para este cálculo se le puede restar el calor expulsado por las varillas difusoras al calor expulsado por el condensador.

Tabla No. 36: Calor expulsado por la tubería de acero del condensador del segundo prototipo.

| Variable | Valor | Dimensión |
|----------------------------------------|-------|-----------|
| Calor expulsado por varillas difusoras | 262 | W |
| Calor expulsado por condensador | 561 | W |
| Calor expulsado por tubería de acero | 299 | W |

(Elaboración propia, 2018)

Para finalizar el diseño del condensador se debe de calcular la longitud necesaria de tubería de acero para el condensador. Para esto se utiliza la Expresión No. 16 y se adecua para el cálculo de la tubería de acero del condensador. Obteniendo así la siguiente expresión.

Expresión No. 18: Longitud necesaria de tubería de acero para el condensador (l_{cond}).

$$l_{cond} = \frac{q_{cond}}{2\pi r_{prom} k \Delta T_C}$$

Donde:

l_{cond} : Es la longitud necesaria de tubería de acero necesaria (m).

q_{cond} : Es el calor extraído por el condensador (W).

r_{prom} : Es el radio promedio de la tubería de acero (m).

k : Es el coeficiente de transferencia de calor del material por metro ($W / m^2 \text{ } ^\circ C$).

ΔT_c : Es el salto térmico del condensador ($^\circ C$).

Tabla No. 37: Longitud necesaria para la tubería del condensador del segundo sistema de refrigeración.

| Variable | Valor | Dimensión |
|-------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------|
| Material del condensador | Acero | - |
| Diámetro de tubería | 0.25 | pulg |
| Radio promedio de tubería de acero | 0.00315 | m |
| Coefficiente de transferencia de calor del hierro por metro | 79 | $W / m^2 \text{ } ^\circ C$ |
| Salto térmico en condensador | 15 | $^\circ C$ |
| Calor expulsado por condensador | 561 | W |
| Largo necesario de tubería de acero | 12.75 | m |

(Elaboración propia, 2018)

5. Selección de dispositivo de expansión

Para finalizar el diseño del sistema de refrigeración se debe elegir el dispositivo de expansión. Como se especificó en los requerimientos, se utilizará un tubo capilar. Para la selección del tubo capilar y su longitud se utilizará nuevamente el Anexo No. 1. En dicho anexo se da opción a escoger entre tres diámetros y sus respectivas longitudes de tubo capilar.

Tabla No. 38: Opciones para elección de tubo capilar para el compresor Embraco EMI 45HER.

| Opciones | Diámetro interno (mm) | Longitud (mm) |
|----------|-----------------------|---------------|
| Opción 1 | 0.63 | 1150 |
| Opción 2 | 0.71 | 2000 |
| Opción 3 | 0.8 | 3550 |

(Elaboración propia, 2018)

G. BÚSQUEDA DE PROVEEDORES

1. Sistema de refrigeración

Con base en el diseño realizado para el sistema de refrigeración y los componentes necesitados y seleccionados, se cotizaron en el mercado local. Se cotizó en tres distintas empresas las cuales se especializan en estos productos.

a. Cotizaciones

Los proveedores actuales de Guatemala no están dedicados al diseño de sistemas nuevos o innovadores. Estas empresas se enfocan en la venta de accesorios de refrigeración para la reparación de estos. Para esto se buscaron las mejores ofertas por parte de éstos para la fabricación del segundo prototipo.

Tabla No. 39: Proveedores cotizados en Guatemala.

| Proveedor | Dirección | Teléfono |
|-----------------------|------------------------|-------------|
| Congelsa | 2 calle 2 – 46 Zona 10 | 2332 – 8350 |
| Unirefri | 3 calle 4 – 11 Zona 9 | 2362 – 4264 |
| Distribuidora Granada | 5 ave. 6 – 71 Zona 9 | 2332 – 1591 |

(Elaboración propia, 2018)

Los proveedores seleccionados no contaban con la totalidad de los componentes que se necesitaban. Los componentes encontrados son los siguientes.

Tabla No. 40: Cuadro comparativo de costos de componentes entre proveedores.

| Accesorio | Congelsa (Q.) | Unirefri (Q.) | Distribuidora Granada (Q.) |
|---------------------------------|---------------|---------------|----------------------------|
| Compresor 1/8 hp | 514.00 | No venden | No venden |
| 16 pies de tubería de cobre ¼ " | 48.00 | 70.00 | 69.60 |
| Condensador | 352.00 | No venden | No venden |
| Tubo capilar 0.8 mm | 20.00 | 10.00 | 9.50 |
| Filtro deshidratante | 7.00 | 10.75 | 10.75 |
| Válvula de carga | 5.00 | 4.75 | 4.75 |
| Termostato para enfriador | 59.00 | 44.00 | 44.00 |

(Elaboración propia, 2018)

Observando las cotizaciones realizadas en los tres proveedores, se determinó un cuadro comparativo de costos para el segundo prototipo. Se observó que únicamente Congelsa posee la totalidad de accesorios necesarios en Guatemala para la fabricación del prototipo.

Tabla No. 41: Costo de accesorios para el segundo prototipo con IVA incluido.

| Accesorio | Precio (Q.) | Proveedor | Modelo | Marca |
|----------------------------------------------------|---------------|-----------|-----------------|---------------|
| Compresor 1 / 8 hp | 514.00 | Congelsa | Embraco | EMI 45HER |
| 16 pies de tubería de cobre 1 / 4 " | 48.00 | Congelsa | Sin marca | Sin modelo |
| Condensador con varillas difusoras | 352.00 | Congelsa | Perseus | 200D5028P002 |
| 10 pies tubo capilar 0.8 mm | 9.50 | Granada | Sin marca | Sin modelo |
| Filtro deshidratante de carbón activo de 15 gramos | 7.00 | Congelsa | Pequeño gigante | FD10G003 |
| Válvula de carga soldable | 4.75 | Granada | Sin marca | Sin modelo |
| Termostato para enfriador | 44.00 | Granada | Ranco | K50-P1127-001 |
| TOTAL | 979.25 | | | |

(Elaboración propia, 2018)

El costo total de los accesorios y componentes necesarios para la manufactura y ensamble del sistema por compresión de vapor es de Q979.00. El mayor gasto entre los componentes es el del compresor por mucho, seguido por el condensador. Este costo se podría reducir utilizando otro compresor de menor costo. Sin embargo, Embraco posee interfaz para cálculos, respaldo técnico y documentación para diseño.

El alto costo para estos componentes es debido a que estos son vendidos como repuestos y no como accesorios con fines de diseño. Esto da lugar a que la producción del diseño final de la refrigeradora sea costosa utilizando componentes del mercado local.

b. Costo total para el sistema de refrigeración para el segundo prototipo

Con los costos totales obtenidos en el otro inciso, se deben tomar en cuenta los gastos que se presentan al cargar refrigerante R - 134a al sistema. Además del costo por ensamble e instalación del sistema a un espacio refrigerado.

Tabla No. 42: Costo final del segundo prototipo del sistema de refrigeración.

| Costo | Costo (Q.) |
|---------------------------|----------------|
| Accesorios para prototipo | 979.25 |
| Carga de refrigerante | 25 |
| Ensamble e instalación | 300 |
| TOTAL | 1304.25 |

(Elaboración propia, 2018)

2. Espacio refrigerado

a. Costos totales para ECOFRIGO18

A continuación, se presenta una tabla que contempla el precio de todos los recursos necesarios para la fabricación del modelo implementado. En esta tabla se presentan los materiales necesarios, y costo de fabricación (mano de obra) respectivamente. En esta tabla se contemplan todos los materiales adquiridos. Se omiten los costos de material sobrante, por lo que el precio será mayor al costo actual del modelo.

Tabla No. 43: Análisis de costos para el espacio refrigerado.

| CANTIDAD | DESCRIPCIÓN | DISTRIBUIDOR | PRECIO | TOTAL |
|--------------|------------------------------------------------|---------------------------------------|----------|---------------|
| 2 | Lámina lisa 3 X 8 Calibre 28 | DIVISION DMC GUATEMALA, S.A. | Q 91.15 | Q 182.30 |
| 3 | Hierro angular 3/4" X 1/8" MM C | DIVISION DMC GUATEMALA, S.A. | Q 36.90 | Q 110.70 |
| 1 | Tira de empaque magnético | Almacén de refrigeración, S.A. | Q 75.00 | Q 75.00 |
| 3 | Lata espuma poliuretano 500ML | DIVISION DMC GUATEMALA, S.A. | Q 109.00 | Q 327.00 |
| 1 | 1/8 pintura sintética blanca | MATICES SAN JOSÉ | Q 45.00 | Q 45.00 |
| 1 | Jaladera Barra 96MM | DIVISION DMC GUATEMALA, S.A. | Q 8.35 | Q 8.35 |
| 1 | Bisagra 2 unidades con tornillos | DIVISION DMC GUATEMALA, S.A. | Q 4.50 | Q 4.50 |
| 3 | Remache POP 1/8X1/2" ALA normal 50 unidades | DIVISION DMC GUATEMALA, S.A. | Q 8.50 | Q 25.50 |
| 1 | Ensamblaje del modelo | José Raúl García Lara (Particular) | Q 150.00 | Q 150.00 |
| TOTAL | | | Q | 928.35 |

(Elaboración propia, 2018)

Analizando el valor total del modelo, se pudo observar que el valor total final del costo del modelo es mayor al valor máximo planteado en los objetivos. Tomando en cuenta el valor máximo planteado de Q. 800.00, se obtiene una diferencia de Q. 128.35. Los motivos por el cual el valor final del modelo es mayor al planteado son varios. A continuación, se presenta un listado detallado de los valores que elevaron el costo del modelo significativamente.

b. Lista de costos sobresalientes

- Estructura del modelo: Principalmente se tenía contemplado el uso de un barril metálico reutilizado. Este realizaría la función del cuerpo exterior del modelo. Debido a los inconvenientes antes mencionados, se decide optar por la fabricación del cuerpo exterior con materiales nuevos. Estos materiales son los hierros angulares y láminas lisas de acero galvanizado. Tomando en cuenta el valor total de estos materiales nuevos se obtiene una diferencia de Q. 293.00 con respecto a Q. 10.00 que representa el valor del barril metálico. **Fuente especificada no válida.**
- Aislante: El aislante que se utiliza en el modelo a mejorar es espuma de poliestireno expandida. El costo de este aislante para este modelo fue de Q. 24.00. Sin embargo, como se pudo observar en las pruebas de laboratorio realizadas al modelo, las pérdidas de calor representadas por el aislante fueron muy altas. Esto representa un inconveniente para la refrigeración de alimentos. Por lo que se decide implementar un aislante adecuado para la aplicación de refrigeración. Se adquieren tres latas de espuma de poliuretano las cuales tienen un costo de Q 327.00. Esto nos genera una diferencia de Q 303.00.

Es necesario utilizar estos materiales que aumentan significativamente el costo del modelo implementado en comparación con el modelo a mejorar. De no realizar estos cambios, la integridad de la salud de las personas se vería afectada. Adicionalmente, el costo mensual de operación del modelo implementado es de Q 21.85. Este costo significa un ahorro monetario mensual de Q 36.04 en comparación con los Q 57.89 que requiere el modelo ECOFRIGO17. A largo plazo se justifica el precio inicial alto del modelo implementado. Los costos se ven reducidos debido al consumo mensual de 19.87 kWh por parte del modelo implementado. Consumo que se logró obtener por los cambios de diseño y materiales seleccionados. (Valdéz, 2018)

H. FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DEL SISTEMA INTERNO DE REFRIGERACIÓN

1. Componentes iniciales para el sistema interno de refrigeración

Una vez realizadas las cotizaciones de los materiales se procede a realizar la compra de estos mismos. Se realizaron las adquisiciones en los lugares propuestos en el Cuadro No. 37 para reducir los gastos lo más posible. Con esto, se inicia la fabricación del sistema además de la instalación conjunta al espacio refrigerado del segundo prototipo.

Ilustración No. 45: Condensador con varillas difusoras y compresor Embraco EMI 45HER en su caja.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 46: Filtro deshidratante (Superior), válvula soldable (Izquierda), tubo capilar (Centro) y termostato (Derecha).



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 47: Tubería de cobre para evaporador del sistema de refrigeración.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 48: Compresor Embraco EMI 45HER para el sistema de refrigeración fuera de la caja.



(Elaboración propia, 2018)

2. Proceso de fabricación general para un sistema de refrigeración por compresión de vapor

El proceso se inicia con la instalación del compresor en un área designada dentro de la refrigeradora de la forma que mejor se acople. Luego de esto se procede a realizar la instalación del resto de componentes según la posición del compresor y del espacio disponible en el espacio refrigerado y exteriores de la refrigeradora. A continuación, se encuentra un cuadro que describe brevemente el proceso de fabricación y de instalación de un sistema de refrigeración por compresión de vapor en un espacio refrigerado. La información detallada del proceso se encuentra descrita en los Anexos de este trabajo.

Tabla No. 44: Proceso de fabricación para un sistema de refrigeración por compresión de vapor.

| Paso | Descripción |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Instalar el compresor en un área designada en la refrigeradora, fuera del espacio refrigerado. |
| 2 | Cortar la tubería de cobre de 1 / 4 de pulgada para obtener una longitud de 4.7 metros. |
| 3 | Doblar la tubería de cobre con un doblador manual. La configuración se realiza según el espacio o área disponible para instalación. Realizar dobleces o arcos con giro continuo. |
| 4 | Instalar la tubería de cobre dentro del espacio refrigerado. Dejando un extremo cercano a la presunta ubicación del compresor y otro extremo que se quede internamente. |
| 5 | El condensador obtenido es de tamaño mayor al necesitado. Cortar exceso de tubería con pulidora, dejando una longitud de varillas difusoras de 0.98 metros y una longitud de tubería de acero de al menos 12.75 metros. |
| 6 | Instalar el condensador en la parte trasera de la refrigeradora de la forma que permita el espacio proporcionado. |
| 7 | Realizar soldadura a la tubería de capilar de 0.8 mm de diámetro con longitud de al menos 3.5 metros en el extremo de la tubería de cobre que no se encuentra fuera del espacio refrigerado. |
| 8 | Para realizar la soldadura, ingresar el capilar al menos 1 cm dentro del tubo de cobre para evitar taponamientos en el sistema. |

| Paso | Descripción |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9 | Realizar soldadura al otro extremo del tubo capilar al filtro deshidratante de 10 o 15 gramos. El filtro deshidratante debe de dirigirse o apuntar hacia la tubería de cobre del evaporador. |
| 10 | Para realizar la soldadura al capilar, ingresar al menos 1 cm dentro del filtro deshidratante para evitar taponamientos. |
| 11 | Realizar la soldadura del extremo libre del filtro deshidratante a un extremo del condensador. |
| 12 | En caso de necesitar tubería extra para que las entradas o salidas del compresor se unan al evaporador y condensador, obtener tuberías adicionales con la longitud necesaria. |
| 13 | Realizar abocardados a las tuberías adicionales para unir las con el extremo faltante del evaporador y del condensador. |
| 14 | Unir tuberías a las entradas correspondientes del compresor. Las ubicaciones u organización de tuberías varían según el compresor. |
| 15 | Untar pasta abrasiva en conexiones donde se realizarán las soldaduras en el compresor. |
| 16 | Soldar conexiones faltantes utilizando material fundente de acero y plata. |
| 17 | Presurizar el sistema a 100 psi durante un tiempo de 30 minutos a 1 hora para asegurarse que el sistema no posee fugas. |
| 18 | Realizar vacío al sistema durante un tiempo de 30 minutos a 1 hora para asegurarse el retiro total de humedad y agentes ajenos al sistema. |
| 19 | Realizar carga de refrigerante correcto según el compresor hasta una presión de 1 a 10 psi. |
| 20 | Comprobar con multímetro el amperaje necesitado de operación para asegurarse el desempeño deseado en el sistema. |

(Elaboración propia, 2018)

Nota: en caso de encontrarse taponamientos o fugas, se debe de desacoplar una parte, realizar pruebas de presión para ubicar el taponamiento. Se debe de realizar parte por parte hasta que se encuentre el área dañada. Al encontrar el sector dañado, se remueve lo menos posible de la tubería dañada y se realiza nuevamente la soldadura.

I. PRUEBAS A ECOFRIGO17

Como se especificó anteriormente, se necesitaba de un sistema que fuera capaz de monitorear las temperaturas internas y externas del espacio refrigerado. Para esto se utilizó un sistema programado en Arduino para tomar la temperatura ambiente e interna cada 5 minutos. Con esto en mente, los sensores fueron posicionados sobre la refrigeradora para tomar la temperatura ambiente y dentro del espacio refrigerado para obtener la temperatura interna.

Ilustración No. 49: Posición del sensor para temperatura interna dentro del espacio refrigerado del primer prototipo.



(Elaboración propia, 2018)

Se realizarán pruebas de laboratorio a este prototipo bajo dos distintas condiciones. La primera siendo 24 horas de funcionamiento constante sin carga dentro del espacio. Es decir, sin ningún producto alimenticio o medicinal dentro del espacio refrigerado. La segunda prueba siendo 24 horas de funcionamiento continuo con carga alimenticia dentro del espacio refrigerado. Con estas dos pruebas realizadas, se juzgará si es un prototipo apto para la utilización dentro de un hogar. El lugar donde se realizarán las pruebas será en el hogar de Rubén Barillas ubicado en San José Pínula en un espacio controlado, donde no ocurrirán aperturas de puerta, ni movimientos cercanos a la refrigeradora.

1. Pruebas de laboratorio sin carga interna

El día 28 de agosto del año 2018, se realizaron las pruebas de laboratorio para el modelo ECOFRIGO17. Las mediciones se realizaron a lo largo de 48 horas. Durante las primeras 24 horas, el modelo funcionó sin carga. Esto nos permitió tener una noción del tiempo requerido para el modelo en alcanzar la temperatura de operación deseada. Luego de las primeras 24 horas, se agregó carga controlada al modelo y se siguieron recopilando datos por las siguientes 24 horas. Se decidió controlar 24 horas con carga y 24 horas sin carga para observar el comportamiento del modelo a lo largo de las diferentes temperaturas externas.

2. Pruebas de laboratorio con carga interna

Las pruebas con carga interna se llevaron a cabo el día 29 de agosto del 2018. Durante estas 24 horas, el sistema estará funcionando con carga interna. Con esto se podrá tener otra noción del funcionamiento del sistema aparte de su funcionamiento sin carga. Además, se podrá observar cuanto tiempo tarda el sistema en alcanzar la temperatura mínima interior.

J. PRUEBAS A ECOFRIGO18

Una vez realizadas las pruebas de laboratorio al primer prototipo, se debe de analizar la utilidad del segundo prototipo. En caso de que el prototipo cumpla con una temperatura menor a 5°C, se le realizarán pruebas en condiciones reales en el hogar de la familia seleccionada con anterioridad.

Para realizar estas pruebas, se acoplarán los sensores de temperatura dentro y fuera del espacio refrigerado. Para así obtener las temperaturas internas y externas del segundo prototipo de la refrigeradora. El sensor será colocado en una posición similar a la posición del primer prototipo. De esta forma se tendrán las mismas condiciones de monitoreo de variables.

Ilustración No. 50: Posición del sensor de temperatura interna dentro del espacio refrigerado del segundo prototipo.



(Elaboración propia, 2018)

Las pruebas de laboratorio para este prototipo seguirán la misma metodología de las pruebas del primer prototipo. Ambas tendrán 24 horas de funcionamiento sin carga, luego 24 horas de funcionamiento con carga. Cabe destacar, que se ingresarán las mismas cantidades de alimentos y productos en ambos espacios refrigerados.

1. Pruebas de laboratorio sin carga interna

Esta prueba del segundo prototipo fue realizada el 25 de septiembre del 2018, durante las primeras 24 horas. En esta prueba se analizarán las temperaturas internas y externas del espacio refrigerado. Dicha prueba se realizará sin carga interna de productos dentro del espacio refrigerado. De este modo se podrá observar el tiempo promedio para alcanzar la temperatura mínima de operación.

2. Pruebas de laboratorio con carga interna

La prueba con carga interna se llevó a cabo el día 26 de septiembre del 2018. Durante estas 24 horas, el sistema estará funcionando con carga interna. Con esto se podrá tener otra noción del funcionamiento del sistema aparte de su funcionamiento sin carga. Además, se podrá observar nuevamente cuanto tiempo le toma al sistema en alcanzar la temperatura interior mínima.

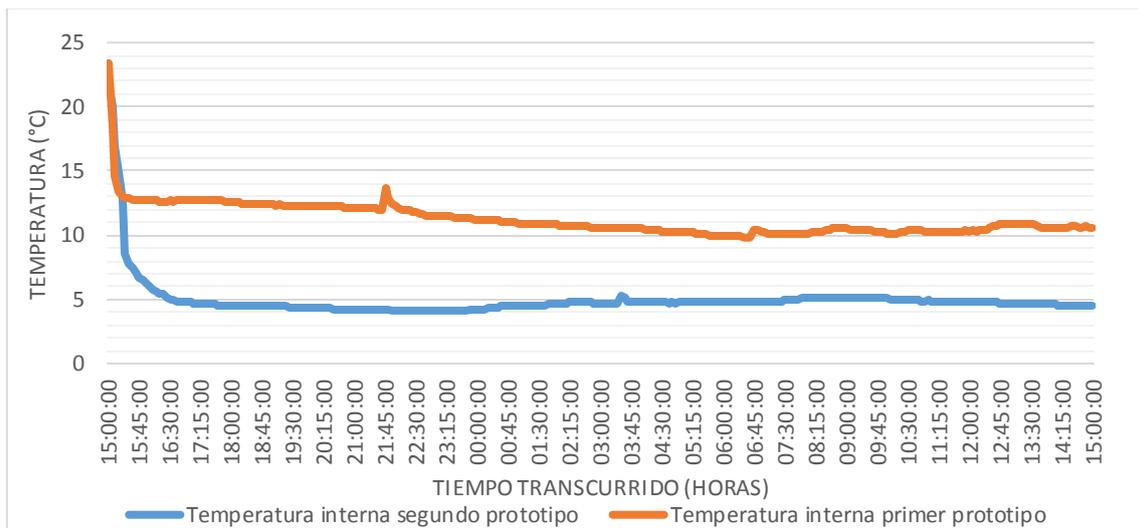
K. COMPARACIÓN ENTRE PROTOTIPOS

1. Temperaturas internas

a. Pruebas de laboratorio sin carga

Ahora bien, se compararán las temperaturas internas de los prototipos bajo condiciones de laboratorio en sus lapsos de 48 horas. De esta forma se podrán observar claramente la diferencia entre ambos prototipos.

Ilustración No. 51: Gráfico con la temperatura interna del segundo prototipo y primer prototipo durante la prueba sin carga interna.



(Elaboración propia, 2018)

Tabla No. 45: Diferencias de temperaturas en datos estadísticos en las pruebas sin carga para el primer y segundo prototipo.

| Temperatura | Segundo prototipo (°C) | Primer prototipo (°C) | Diferencia (°C) |
|-------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|
| Exterior inicial | 21.90 | 23.40 | -1.50 |
| Exterior máxima | 22.31 | 27.00 | -4.69 |
| Exterior mínima | 20.25 | 21.31 | -1.06 |
| Exterior promedio | 21.28 | 22.83 | -1.55 |
| Interior inicial | 21.90 | 23.40 | -1.50 |
| Interior máxima | 21.90 | 23.40 | -1.50 |
| Interior mínima | 4.13 | 9.81 | -5.69 |
| Interior promedio | 4.94 | 11.22 | -6.28 |

(Elaboración propia, 2018)

Para las pruebas de laboratorio realizadas sin carga, se logra observar que al primer prototipo le toma alrededor de 9 horas con 20 minutos alcanzar la temperatura interior promedio. Además, le toma aproximadamente 15 horas con 40 minutos alcanzar la temperatura interior mínima del muestreo. Siendo la mínima de 9.81°C y la promedio de 11.22°C, se decide que este prototipo no es apto para la utilización de un hogar ya que no alcanza una temperatura menor a 5°C.

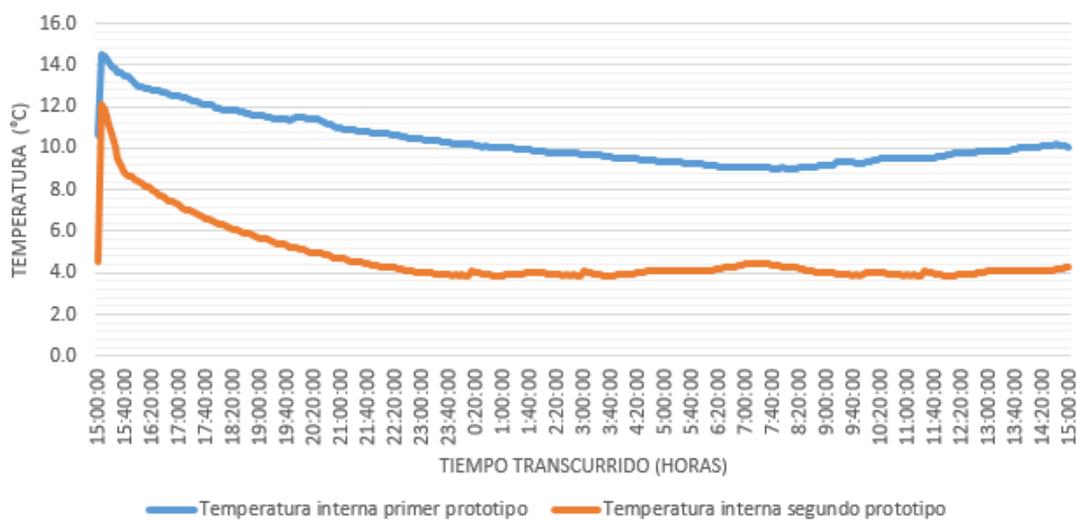
Por otro lado, se observa que al segundo prototipo le toma alrededor de 1 hora y 30 minutos en alcanzar la temperatura interior promedio de 4.94°C. Mientras que le toma aproximadamente 7 horas con 20 minutos alcanzar la temperatura interior mínima de 4.13°C. Se decide que este prototipo es apto para la utilización de un hogar, ya que alcanza una temperatura menor a 5°C. Por lo cual, se le realizarán pruebas de carga y sin carga bajo condiciones reales en el hogar de la familia seleccionada.

Ahora bien, como se logra observar en el cuadro y figura anterior, el segundo prototipo alcanzó temperaturas interiores mucho menores que el primer prototipo. Además, se tardó menos tiempo en alcanzar su temperatura mínima. Si se analiza la diferencia de $T_{\text{segundo}} - T_{\text{primero}}$ se observa que todas las temperaturas internas del primer prototipo son más elevadas con respecto al segundo prototipo. Esto deja claro que el segundo prototipo cumple con su función de refrigerar alimentos o medicinas por debajo de los 5°C, además de tener temperaturas menores con respecto al primer prototipo.

b. Pruebas de laboratorio con carga

Una vez analizadas las pruebas realizadas sin carga para el primer y segundo prototipo, se procede a analizar las pruebas realizadas con carga para ambos prototipos. En estos casos se les ingresó la misma cantidad de producto interna al espacio refrigerado.

Ilustración No. 52: Gráfico con la temperatura interna del segundo prototipo y primer prototipo durante la prueba con carga interna.



(Elaboración propia, 2018)

Tabla No. 46: Diferencias de temperaturas en datos estadísticos en las pruebas con carga para el primer y segundo prototipo.

| Temperatura | Segundo prototipo (°C) | Primer prototipo (°C) | Diferencia (°C) |
|-------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|
| Exterior inicial | 21.88 | 22.69 | -0.81 |
| Exterior máxima | 22.31 | 27.50 | -5.19 |
| Exterior mínima | 20.25 | 20.63 | -0.38 |
| Exterior promedio | 21.28 | 22.11 | -0.84 |
| Interior inicial | 4.50 | 10.63 | -6.13 |
| Interior máxima | 12.13 | 14.50 | -2.38 |
| Interior mínima | 3.88 | 9.00 | -5.13 |
| Interior promedio | 4.75 | 10.35 | -5.60 |

(Elaboración propia, 2018)

Para las pruebas de laboratorio realizadas con carga, se logra observar que al primer prototipo le toma más tiempo alcanzar la temperatura interior promedio y la temperatura interior mínima en comparación a las pruebas sin carga. Debe de notarse que, al ingresar el producto al sistema, la temperatura interna subió de 10.63°C a 14.50°C en un lapso de 5 minutos.

Luego de ingresar la carga al primer prototipo, a este le toma aproximadamente 13 horas con 25 minutos en alcanzar la temperatura interior mínima de 9.00°C. Mientras que se tarda un total de 8 horas en alcanzar la temperatura promedio interior de 10.35°C. Cabe destacar que con carga interna la temperatura interna promedio y la temperatura interna mínima fueron menores a las temperaturas sin carga. Sin embargo, al no alcanzar una temperatura menor a 5°C, nuevamente se asegura que el primer prototipo no puede ser utilizado en campo.

Por otro lado, se observa que al segundo prototipo le toma alrededor de 3 horas con 20 minutos en alcanzar la temperatura interior promedio de 4.75°C. Mientras que le toma aproximadamente 7 horas con 45 minutos el alcanzar su temperatura interior mínima de 3.88°C. Debe de notarse que la temperatura inicial era de 4.50°C y subió a 12.13°C en los primeros 5 minutos.

De la misma manera, el segundo prototipo tardó más tiempo en alcanzar su equilibrio al entrar el producto en contacto con el espacio refrigerado con respecto a sus pruebas sin carga. Además, de que también la temperatura interna mínima y la temperatura interna promedio fueron menores a las temperaturas sin carga. Con este segundo análisis se confirma que el prototipo cumple con la temperatura interior mínima para ser utilizada en un hogar.

Ahora bien, se observa que las temperaturas internas para el segundo prototipo son mucho menores a las temperaturas internas para el primer prototipo. Se nota que el segundo prototipo es más veloz en alcanzar sus temperaturas mínimas con carga interna a comparación del primer prototipo. Por otro lado, se observa que ambos prototipos presentan un equilibrio, sin embargo, el segundo prototipo se mantiene en 4°C y el primero en 10°C. Por lo tanto, se concluye nuevamente que el segundo prototipo si cumple con la funcionalidad de refrigerador para un hogar convencional.

2. Ciclos de encendido y descanso del sistema de refrigeración

Se debe monitorear los ciclos de encendido del sistema de refrigeración. Para esto se tomó el tiempo en que se mantiene el compresor funcionando luego de estar en su balance térmico y el tiempo en que tarda en volver a funcionar el compresor. El tiempo de encendido y de descanso varía según el nivel que se utilice en el termostato, ya que es este el que enciende o apaga al compresor.

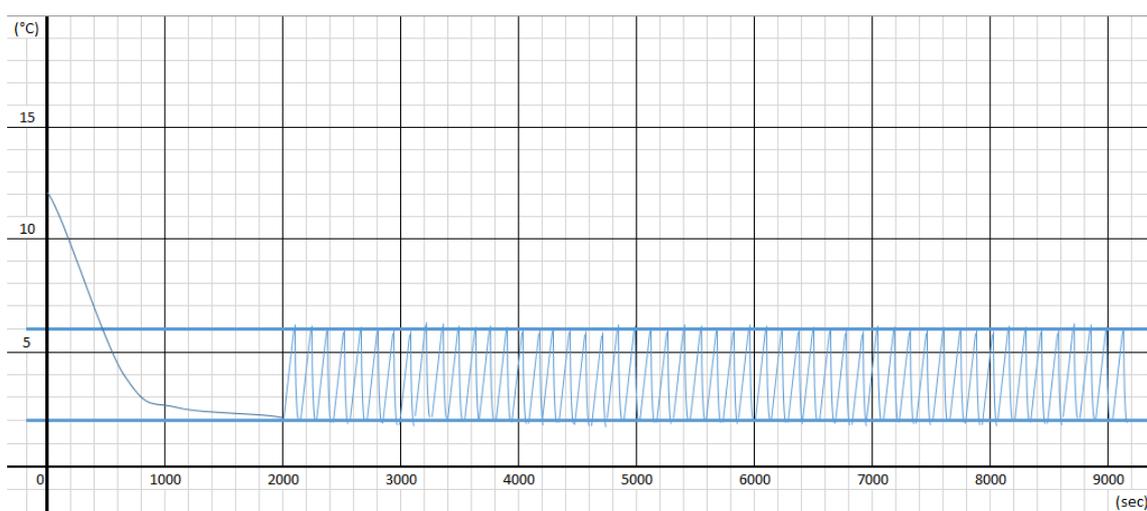
Tomando el tiempo para el arranque y descanso del compresor, se obtuvo el siguiente cuadro. Además, se utilizó el tiempo obtenido para realizar un gráfico que represente las rampas de ascenso y descenso de temperatura dentro del espacio refrigerado asumiendo un inicio de 12 grados Celsius y tomándose 2000 segundos en alcanzar la temperatura de apagado del termostato.

Tabla No. 47 Cantidad de ciclos de ascenso, descenso y totales y sus respectivos tiempos para el segundo prototipo según el nivel en el termostato.

| Variable | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 | Nivel 4 | Nivel 5 | Nivel 6 | Nivel 7 |
|--------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ciclo de ascenso (mins) | 0.29 | 0.33 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.50 |
| Ciclo de descenso (mins) | 2.34 | 2.25 | 2.16 | 2.06 | 1.97 | 1.88 | 1.78 |
| Ciclo total (mins) | 2.63 | 2.58 | 2.52 | 2.46 | 2.40 | 2.34 | 2.28 |
| Numero de ciclos totales (ciclo/hora) | 22.81 | 23.30 | 23.84 | 24.41 | 25.00 | 25.62 | 26.27 |
| Numero de ciclos totales (ciclo/día) | 547 | 559 | 572 | 586 | 600 | 615 | 631 |
| Numero de ciclos totales (ciclo/mes) | 16422 | 16773 | 17165 | 17572 | 17999 | 18447 | 18917 |
| Tiempo de ciclos de ascenso (mins/hora) | 6.63 | 7.58 | 8.59 | 9.65 | 10.76 | 11.92 | 13.14 |
| Tiempo de ciclos de ascenso (mins/día) | 159 | 182 | 206 | 232 | 258 | 286 | 315 |
| Tiempo de ciclos de ascenso (mins/mes) | 4773 | 5460 | 6188 | 6948 | 7745 | 8581 | 9461 |

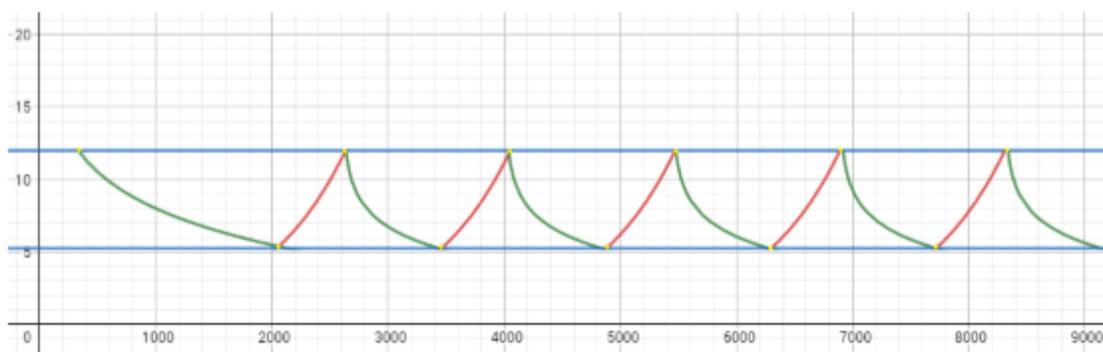
(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 53: Gráfico de ciclo de encendido y descanso para el compresor en el segundo prototipo en un nivel 7 de termostato.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 54: Gráfico de ciclo de encendido y descanso para el compresor en el primer prototipo.



(Luis Solís, 2017)

Observando la figura obtenida del trabajo de graduación de Luis Solís, se encuentra una duración promedio de funcionamiento de 600 segundos, lo que equivale a 10 minutos. Mientras que posee una duración promedio de descanso de 900 segundos, lo que equivale a 15 minutos de descanso. El primer valor de funcionamiento de 10 minutos no se acerca a ningún valor del segundo prototipo, siendo el mayor de 30 segundos. Por otro lado, el tiempo de descanso es de 15 minutos, mientras que en el segundo prototipo el mayor es de 2.63 minutos de descanso.

Esto se da debido a que en el segundo prototipo se poseen menos pérdidas en el sistema de refrigeración y espacio refrigerado. Lo anterior provoca que el tiempo de encendido del compresor sea menor. Mientras que los tiempos de descansos en este caso son mucho menores para el segundo prototipo ya que el compresor se inicia cuando la temperatura supera los 6°C, mientras que en el primer prototipo cuando alcanza una temperatura de 12°C. Esta temperatura límite elimina la funcionalidad de la refrigeradora ya que esta se debe de mantener lo más cercano posible a los 5°C.

Por otro lado, la temperatura para realizar corte en el termostato para el primer prototipo se encuentra en 5°C, mientras que para el segundo prototipo se encuentra en 1.5°C.

3. Costos energéticos

Ahora bien, con el análisis de ciclos de encendido realizado se puede realizar un cálculo del consumo energético que presentaría el segundo prototipo. Para este análisis se necesitará del tiempo de ciclos de ascenso en un mes de 31 días. Este cálculo utilizará el costo por kWh en el mercado guatemalteco de Q1.10 por kWh y se asumirá el consumo energético de 0.126 kW para un compresor EMI 45HER funcionando en condiciones reales de trabajo.

Tabla No. 48: Costo energético mensual según el nivel en el termostato del segundo prototipo.

| Variable | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 | Nivel 4 | Nivel 5 | Nivel 6 | Nivel 7 |
|-----------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Tiempo de ciclos de ascenso (horas/mes) | 79.55 | 91.01 | 103.13 | 115.80 | 129.08 | 143.02 | 157.68 |
| kWh al mes | 10.02 | 11.47 | 12.99 | 14.59 | 16.26 | 18.02 | 19.87 |
| Consumo energético (kW) | 0.126 | | | | | | |
| Costo energético mensual (Q.) | 11.03 | 12.61 | 14.29 | 16.05 | 17.89 | 19.82 | 21.85 |

(Elaboración propia, 2018)

Tabla No. 49: Consumo energético mensual para dos casos distintos para el primer prototipo.

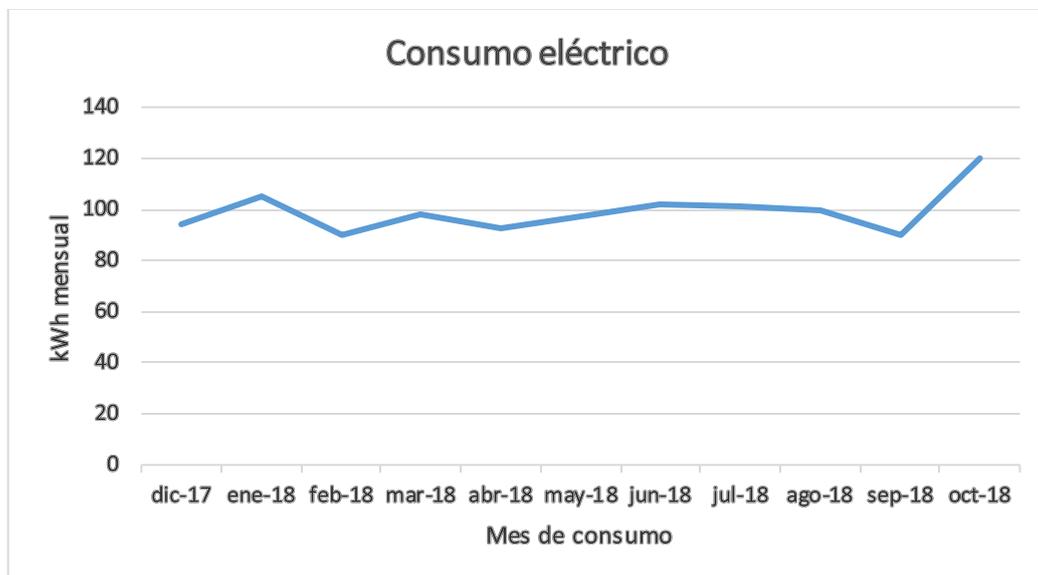
| Caso | Descripción | Horas diarias | Consumo eléctrico | Costo kWh en Quetzales | Gasto mensual (31 días) |
|------|----------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | Consumo eléctrico de 1 mes operando 24 horas al día. | 24 | 0.117 kW | Q1.10 | Q95.00 |
| 2 | Consumo eléctrico en el mejor caso, asumiendo que las puertas no se abren. | 14.51 | 0.117 kW | Q1.10 | Q57.89 |

(Luis Solís, 2017)

Como se nota en ambos cuadros, el segundo prototipo consume menos energía eléctrica a comparación del primer prototipo. Dónde el consumo eléctrico ideal para el primer prototipo es de Q57.89, mientras que para el segundo prototipo es de Q11.03. Tomando el valor más elevado del termostato, siendo el nivel 7, el consumo del segundo prototipo es Q36.04 más económico que el primer prototipo.

Estos datos de consumo energético en un periodo de 31 días se pueden comprobar con los consumos energéticos de la familia Puac durante el mes en que se realizaron las pruebas de campo. Este consumo energético se compara al historial de consumo energético de la familia en meses anteriores. Dónde el promedio de consumo mensual encontrado por Rubén Barillas, es de 97 kWh al mes y el consumo mensual del mes en donde se realizaron las pruebas es de 120 kWh. Cabe destacar que el mayor consumo que ha realizado la familia sin utilizar el segundo prototipo es de 105 kWh. Mientras que el menor consumo realizado es de 90 kWh.

Ilustración No. 55: Gráfica de consumos energéticos de la familia Puac.



(Elaboración propia, 2018)

Utilizando el menor consumo energético registrado, esto indicaría un aumento de 30 kWh por utilizar el segundo prototipo. Tomando el consumo promedio indica un aumento de 23 kWh. Por último, tomando como referencia el mayor consumo, esto indicaría un aumento de 15 kWh. Con estos datos se procede a calcular el porcentaje de error en el consumo energético calculado con respecto a los consumos energéticos realizados por la familia en meses anteriores.

Tabla No. 50: Porcentaje de error en cálculo de consumo energético en el mes de pruebas para el segundo prototipo en comparación a consumos energéticos antiguos de la familia Puac.

| Costo energético | Valor (kWh) | Consumo extra (kWh) | Porcentaje de error (%) |
|-------------------------------------|----------------|------------------------|----------------------------|
| Mayor consumo energético registrado | 105 | 15 | 24.50 |
| Menor consumo energético registrado | 90 | 30 | 51.00 |
| Consumo energético promedio | 97 | 23 | 15.77 |

(Elaboración propia, 2018)

Al ver este análisis, aunque el sistema energético consumiera 30 kWh durante el lapso de 31 días, el costo sería de aproximadamente Q33.00. Dicho consumo sigue siendo más económico que el primer prototipo por Q24.89. Con estos análisis se puede concluir con toda seguridad que el segundo prototipo es mucho más económico en su consumo energético a comparación del primer prototipo.

4. Tiempo para recuperar inversión en sistema de refrigeración

Ahora bien, comparando los costos totales de fabricación del sistema de refrigeración del segundo prototipo con el primer prototipo. Se realizará una aproximación del tiempo en meses que tomará recuperar la diferencia en costos de fabricación con la ayuda del ahorro en consumo energético. Para este cálculo se utilizará el valor de 23 kWh en 31 días para el segundo prototipo con un costo de Q25.3 y se utilizará el costo energético de Q57.89 para el primer prototipo.

Tabla No. 51: Cálculo de meses para recuperar la diferencia en el costo de fabricación del sistema de refrigeración al ahorrar en consumo energético.

| | Prototipo 2 | Prototipo 1 | Diferencia |
|------------------------------------|-------------|-------------|------------|
| Consumo energético mensual (Q/mes) | 25.3 | 57.89 | 32.59 |
| Costo sistema refrigeración (Q.) | 1304.25 | 1190.35 | 113.9 |
| Meses para recuperar diferencia | | | 3.5 |

(Elaboración propia, 2018)

L. PRUEBAS DE CAMPO PARA ECOFRIGO18

1. Pruebas de campo sin carga interna

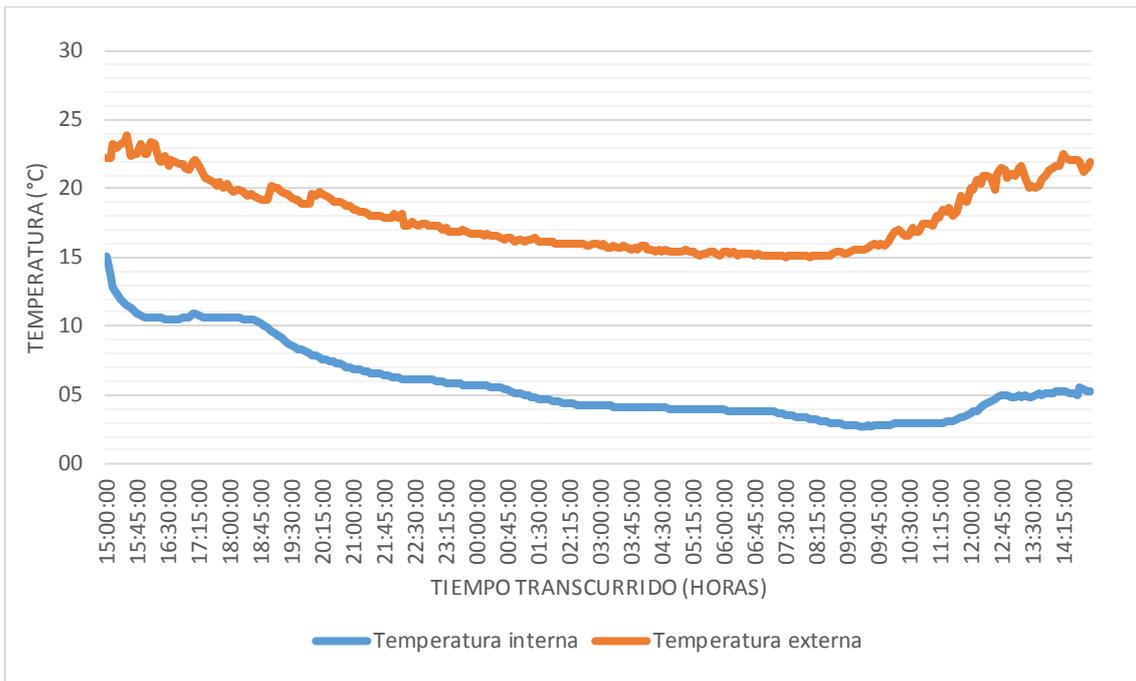
Con la confirmación de que este sistema alcanza temperaturas inferiores a 5°C, se procedió a transportar el segundo prototipo a la Aldea El Platanar. En dicha aldea, la familia Puac, se encargó de darle uso cotidiano a la refrigeradora diseñada y luego proporcionar su realimentación sobre el proyecto. De la misma manera, el prototipo ya tendrá incluido el sistema de monitoreo de variables y la metodología será igual a las anteriores: 24 horas sin carga y 24 horas con carga. Esta prueba se llevó a cabo el 11 de octubre del 2018 en el hogar de la familia Puac.

Ilustración No. 56: Segundo prototipo siendo entregada a la familia Puac para realizar pruebas de campo.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 57: Gráfico de prueba de campo sin carga interna del segundo prototipo.



(Elaboración propia, 2018)

Tabla No. 52: Datos estadísticos de prueba de campo sin carga interna del segundo prototipo.

| Temperatura | Valor (°C) |
|-------------------|------------|
| Exterior inicial | 22.20 |
| Exterior máxima | 23.88 |
| Exterior mínima | 15.00 |
| Exterior promedio | 18.00 |
| Interior inicial | 22.20 |
| Interior máxima | 22.20 |
| Interior mínima | 2.69 |
| Interior promedio | 5.86 |

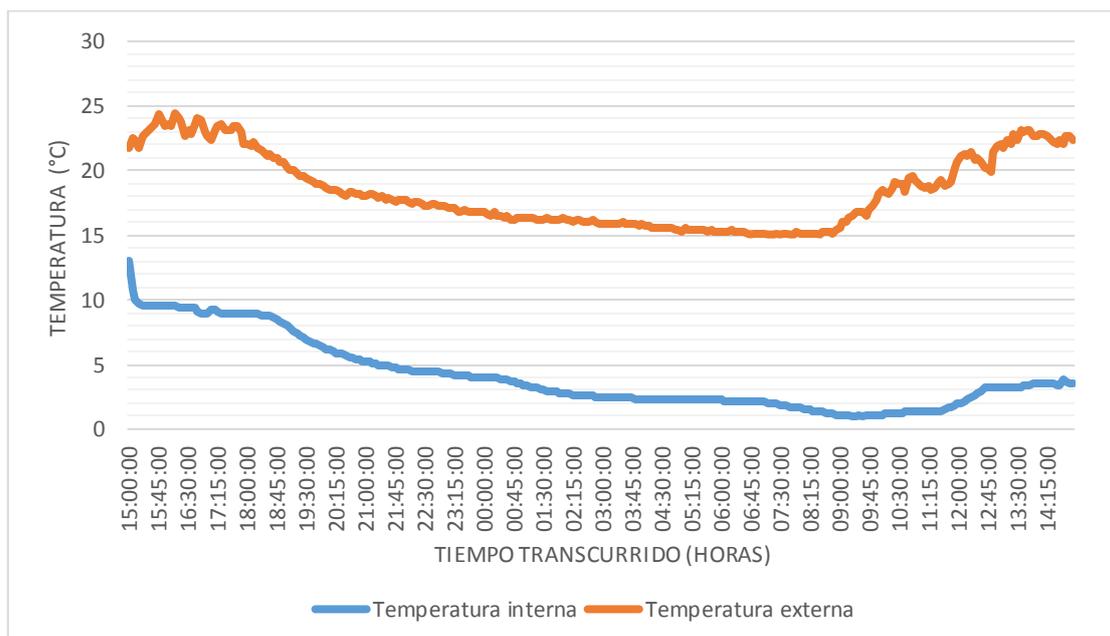
(Elaboración propia, 2018)

En estos resultados de las primeras 24 horas sin carga interna se logra observar que tarda aproximadamente 7 horas y 20 minutos en alcanzar su temperatura interior promedio. Mientras que se tarda alrededor de 17 horas en alcanzar su temperatura interior mínima de 2.69°C. Esta cantidad de tiempo es sumamente elevada a comparación de las pruebas de laboratorio. Sin embargo, le toma 7 horas y 50 minutos el alcanzar una temperatura inferior de 5°C durante estas 24 horas de funcionamiento sin carga interna. Como se logra observar, luego de alcanzar temperaturas debajo de 5°C, esta temperatura se mantiene oscilando entre valores muy cercanos superiores o inferiores a 5°C. Por lo cual, el sistema si es funcional y seguro para un hogar común.

2. Pruebas de campo con carga interna

Por último, se realizan las pruebas de campo con carga interna durante las siguientes 24 horas. Esta prueba se llevó a cabo el 12 de octubre del 2018 en el hogar de la familia Puac. En esta prueba se introducirá una carga de producto a elección de la familia y de la misma forma el prototipo se mantendrá funcionando durante estas 24 horas mientras se monitorean las temperaturas.

Ilustración No. 58: Gráfico de prueba de campo con carga interna del segundo prototipo.



(Elaboración propia, 2018)

Tabla No. 53: Datos estadísticos de prueba de campo con carga interna del segundo prototipo.

| Temperatura | Valor (°C) |
|-------------------|------------|
| Exterior inicial | 21.88 |
| Exterior máxima | 24.44 |
| Exterior mínima | 15.06 |
| Exterior promedio | 18.45 |
| Interior inicial | 5.20 |
| Interior máxima | 13.03 |
| Interior mínima | 0.99 |
| Interior promedio | 4.12 |

(Elaboración propia, 2018)

Mediante el análisis de datos recopilados a lo largo de las últimas 24 horas y su respectiva generación de la gráfica anterior, se observa que al prototipo le toma alrededor de 7 horas y 20 minutos el alcanzar la temperatura interior promedio de 4.12°C. Mientras que le toma aproximadamente 17 horas y 40 minutos el alcanzar su temperatura interior mínima de 0.99°C. Debe de tomarse que la temperatura inicial era de 5.20°C y subió a 13.03°C en los siguientes 5 minutos.

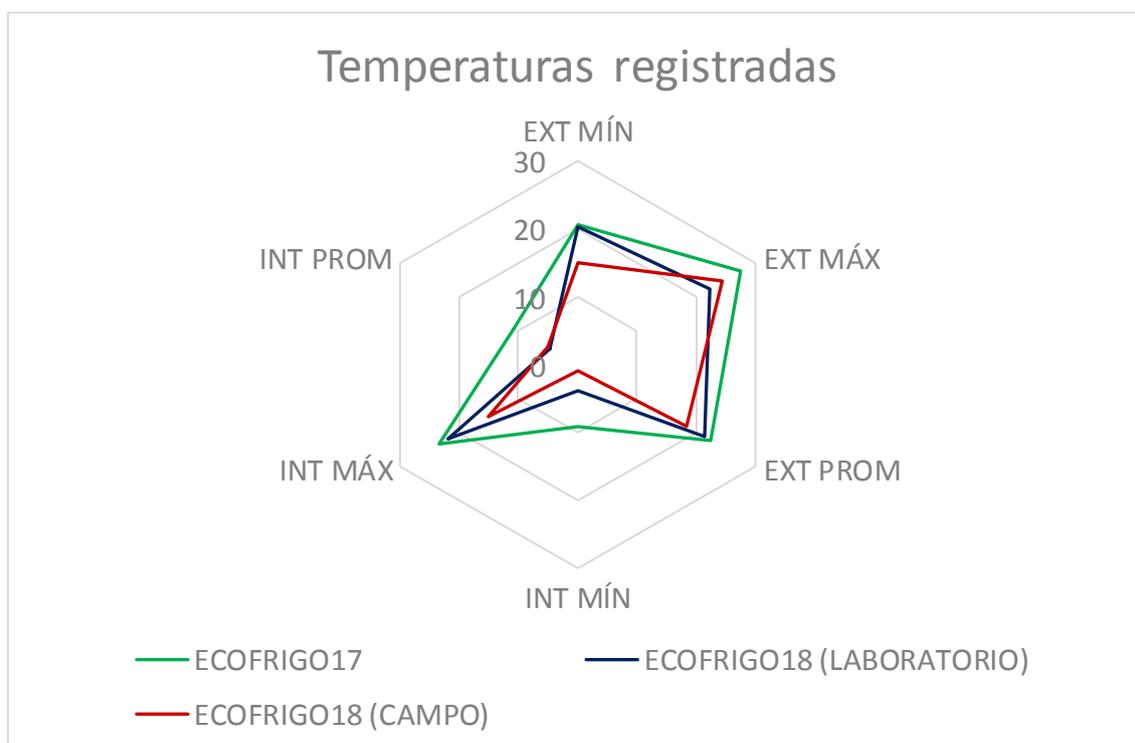
De la misma forma, en este prototipo se tardó más tiempo en alcanzar su equilibrio al entrar el producto en contacto con el espacio refrigerado en comparación a las pruebas de laboratorio. Además de que la temperatura interior mínima e interna promedio fueron menores a las temperaturas sin carga. Con este segundo análisis se confirma nuevamente que el prototipo cumple con la temperatura interior mínima para ser utilizada en un hogar

Como se logra observar, luego de alcanzar temperaturas debajo de 5°C, esta temperatura se mantiene oscilando entre valores muy cercanos superiores o inferiores a 5°C. Por lo cual, el sistema si es funcional y seguro para un hogar común. Lo anterior, se cumple para ambas pruebas de campo para el segundo prototipo. Esta oscilación no se presentó en las pruebas de laboratorio debido a una variante: la apertura constante de la puerta del espacio refrigerado. Dichas aperturas dan lugar a que ingresen infiltraciones de aire con la temperatura del sumidero al espacio refrigerado, provocando que el sistema tarde más en alcanzar su temperatura óptima.

M. COMPARACIÓN DE RENDIMIENTO

A continuación, se muestra un gráfico comparativo entre las tres pruebas que se realizaron a los dos modelos. En este gráfico se puede encontrar la comparación de las temperaturas externas e internas más relevantes que se registraron durante las pruebas de rendimiento mencionadas anteriormente.

Ilustración No. 59: Comparación de pruebas de rendimiento.



(Elaboración propia, 2018)

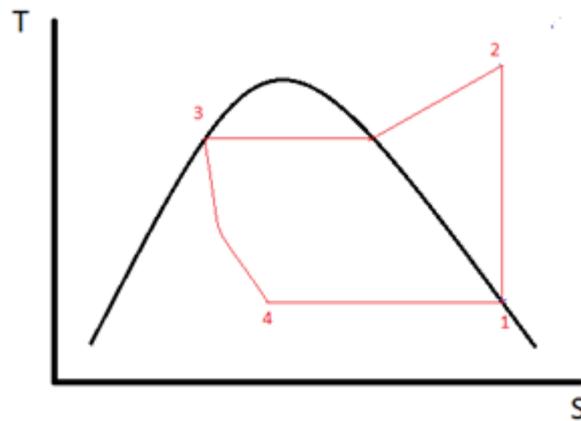
N. ANÁLISIS TERMODINÁMICO A ECOFRIGO18

Para finalizar los análisis en la metodología se debe de realizar un análisis termodinámico al segundo prototipo diseñado. De esta forma podremos obtener cual es el desempeño real que tiene este, tanto como el desempeño ideal o máximo.

1. Desempeño real

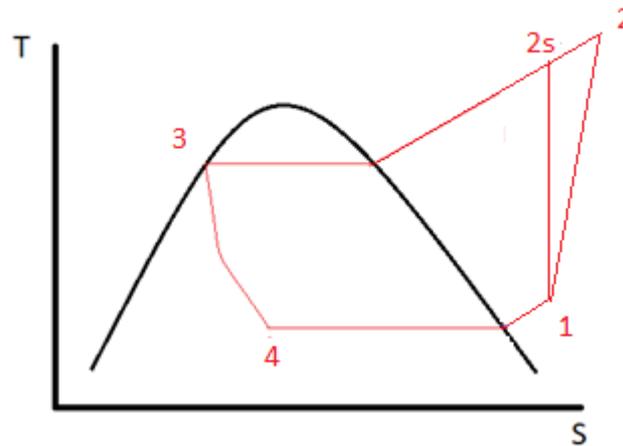
Para obtener el desempeño real del sistema de refrigeración del segundo prototipo se utilizará la Expresión No. 13. Dicha expresión necesita de varios valores para ser utilizada, los cuales deben de ser obtenidos analizando un sistema de refrigeración de forma termodinámica. Primero se debe de obtener la capacidad de enfriamiento real y luego el trabajo real realizado por el compresor.

Ilustración No. 60: Ciclo termodinámico T – s para un ciclo de refrigeración sin irreversibilidades.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 61: Ciclo termodinámico T – s para un ciclo de refrigeración real.



(Elaboración propia, 2018)

Como se puede observar en las figuras anteriores, el ciclo puede tomarse desde 1 a 2, de 2 a 3, de 3 a 4 y de 4 a 1 para un ciclo de refrigeración sin irreversibilidades. Mientras que para un ciclo de refrigeración real se toma de 1 a 2, de 2 a 3, de 3 a 4 y de 4 a 1, donde toma las irreversibilidades del estado 1 a 2, negando la posibilidad de ser isentrópico. Nótese que para un ciclo real la entropía del estado 1 y 2 es mayor al caso ideal, además que el estado 2 deja de ser isentrópico.

Tabla No. 54: Suposiciones a tomar en el ciclo de refrigeración sin irreversibilidades.

| Estado | Suposición |
|--------|--------------------------------------------|
| 1 a 2 | Proceso isentrópico desde vapor saturado |
| 2 a 3 | Proceso isobárico hacia líquido saturado |
| 3 a 4 | Proceso isoentálpico hacia región saturada |
| 4 a 1 | Proceso isobárico hacia vapor saturado |

(Elaboración propia, 2018)

Tabla No. 55: Suposiciones a tomar en el ciclo de refrigeración con irreversibilidades.

| Estado | Suposición |
|--------|---------------------------------------------------|
| 1 a 2 | Proceso no isentrópico desde vapor sobrecalentado |
| 1 a 2s | Proceso isentrópico desde vapor sobrecalentado |
| 2 a 3 | Proceso isobárico hacia líquido saturado |
| 3 a 4 | Proceso isoentálpico hacia región saturada |
| 4 a 1 | Proceso isobárico hacia vapor sobrecalentado |

(Elaboración propia, 2018)

Ahora bien, para obtener los valores de entropía de los estados definidos anteriormente, se debe de utilizar el *Software miniREFPROP*. Para así obtener los estados definiendo variables conocidas. En este caso se conocen los valores teóricos para un ciclo sin irreversibilidades y para el caso real se conoce la presión interna de 5 psi. Es importante el definir el estado de referencia para las entalpías y entropías a la referencia de ASHRAE.

Tabla No. 56: Estados del ciclo de refrigeración definidos, definiendo al estado 1 como vapor saturado.

| | Temperature (°C) | Pressure (MPa_g) | Enthalpy (kJ/kg) | Entropy (kJ/kg-K) | Quality (kg/kg) | Phase |
|---|------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|---------|
| 1 | -10,000 | 0,099278 | 392,66 | 1,7334 | 1,0000 | Gas |
| 2 | 51,686 | 1,0586 | 429,29 | 1,7334 | Superheated | Gas |
| 3 | 45,000 | 1,0586 | 263,94 | 1,2139 | 0,00000 | Liquid |
| 4 | -10,000 | 0,099278 | 263,94 | 1,2442 | 0,37503 | 2-Phase |

(Elaboración propia, 2018)

Tabla No. 57: Estados del ciclo de refrigeración definidos, definiendo al estado 1 con la presión interna de 5 psi.

| | Temperature (°C) | Pressure (MPa_g) | Enthalpy (kJ/kg) | Entropy (kJ/kg-K) | Quality (kg/kg) | Phase |
|---|------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|---------|
| 1 | -10,000 | 0,034474 | 246,48 | 0,97520 | Superheated | Gas |
| 2 | 62,811 | 1,0586 | 293,50 | 0,97520 | Superheated | Gas |
| 3 | 45,000 | 1,0586 | 115,80 | 0,41833 | 0,00000 | Liquid |
| 4 | -10,000 | 0,099278 | 115,80 | 0,44859 | 0,37505 | 2-Phase |

(Elaboración propia, 2018)

Con los estados definidos para el ciclo real, se pueden usar los valores de entalpía del estado 4 al estado 1 y así calcular la capacidad de enfriamiento Q_L para la Expresión No. 13.

Expresión No. 19: Capacidad de enfriamiento para un ciclo de refrigeración (Q_L).

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

Donde:

\dot{Q}_L : Es la capacidad de enfriamiento para un ciclo de refrigeración (kW).

\dot{m} : Es el flujo másico del refrigerante en el sistema (kg / s).

h_1 : Es la entalpía en el estado 1 definido (kJ / kg).

h_4 : Es la entalpía en el estado 4 definido (kJ / kg).

Tabla No. 58: Capacidad de enfriamiento para el ciclo de refrigeración del segundo prototipo.

| Variable | Valor | Dimensional |
|------------------------------|----------|-------------|
| Flujo másico (Cuadro No. 25) | 0.001425 | kg / s |
| Entalpía en estado 1 | 246.86 | kJ / kg |
| Entalpía en estado 4 | 115.80 | kJ / kg |
| Capacidad de enfriamiento | 0.187 | kW |

(Elaboración propia, 2018)

Como se puede observar en el cuadro anterior, el diseño actual tiene capacidad de 0.187 kW de enfriamiento, mientras que el proveedor nos aseguraba un máximo de 0.262 kW. Esto nos indica un porcentaje de error del 28.62% en el diseño actual. Esto se debe a que existen múltiples irreversibilidades en un ciclo real de refrigeración.

Cabe destacar que este análisis fue basado en un ciclo lo más idealizado, de ser posible de obtener todos los datos reales dentro del sistema, el porcentaje hubiera sido menor. Para esto sería necesaria la instalación de termopares en varios extremos del sistema, además de múltiples sensores de temperatura en varios sectores.

Ahora bien, de la misma manera, se debe de obtener el valor del trabajo real realizado por el compresor en condiciones reales. Para esto se utiliza lo siguiente.

Expresión No. 20: Trabajo real realizado por un compresor bajo condiciones reales (W).

$$W = VI \cos \theta$$

Donde:

W : Es el trabajo real realizado por un compresor bajo condiciones reales (kW).

V : Es el voltaje consumido por el compresor (V).

I : Es la corriente que consume el compresor (A).

θ : Es el factor de potencia del compresor (Adimensional).

Los valores de voltaje fueron medidos por medio de un multímetro y la corriente consumida se obtiene del Cuadro No. 25. De la misma forma, el factor de potencia se obtiene para un compresor promedio de 0 a 5 caballos de fuerza de potencia trabajando a plena carga.

Tabla No. 59: Trabajo real realizado por el compresor bajo condiciones reales.

| Variable | Valor | Dimensional |
|----------------------------------------------------|-------|-------------|
| Voltaje consumido | 120.5 | V |
| Corriente consumida (Cuadro No. 25) | 1.49 | A |
| Factor de potencia para un compresor a plena carga | 0.84 | - |
| Trabajo real por compresor | 0.119 | kW |

(Elaboración propia, 2018)

Como se puede observar en el cuadro anterior, se obtuvo un trabajo de 0.119 kW, comparado con el trabajo teórico según el Cuadro No. 25 de 0.126 kW, esto nos indica un 5.55% de error. Además, nos indica que se obtiene un consumo menor al teórico, indicando que el sistema es más económico de operar.

Por último, con estos dos últimos valores calculados en el Cuadro No. 53 y No. 54, se procede a calcular el COP real para el segundo prototipo, utilizando la Expresión No. 13.

Tabla No. 60: COP real para el segundo prototipo.

| Variable | Valor | Dimensional |
|----------------------------|-------|-------------|
| Capacidad de enfriamiento | 0.187 | kW |
| Trabajo real por compresor | 0.119 | kW |
| COP real | 1.57 | - |

(Elaboración propia, 2018)

Comparando este dato con el dato real proporcionado por Embraco en el Cuadro No. 25 de 2.08. Se obtiene un porcentaje de error del 24.52%. Esto quiere decir que el diseño del segundo prototipo es un 24.52% menos eficiente que el diseño original utilizado para obtener los datos de Embraco.

2. Desempeño de Carnot

Ahora bien, se procede a calcular el desempeño de Carnot, o el COP ideal para un sistema de refrigeración, para esto se utiliza la Expresión No. 14.

Tabla No. 61: Desempeño de Carnot para un ciclo totalmente reversible.

| Variable | Valor | Dimensional |
|---------------------------------|--------|-------------|
| Temperatura espacio refrigerado | 277.75 | K |
| Temperatura sumidero | 303 | K |
| COP carnot | 11.00 | - |

(Elaboración propia, 2018)

3. Eficiencia de la segunda ley

Para finalizar, se calculará la eficiencia de segunda ley de termodinámica utilizando el COP de Carnot y el COP real. Esta eficiencia toma en cuenta todas las irreversibilidades dentro de un ciclo de refrigeración y también la transferencia de calor que ocurre en el proceso. El mejorar la eficiencia de la segunda ley, es un parámetro que todo sistema busca lograr.

Expresión No. 21: Eficiencia de la segunda ley de la termodinámica para un ciclo de refrigeración (η_{II}).

$$\eta_{II} = \frac{COP_{real}}{COP_{carnot}} \times 100 \%$$

Donde:

η_{II} : Es la eficiencia de la segunda ley de la termodinámica para un ciclo de refrigeración (%).

COP_{real} : Es el coeficiente de desempeño real para el segundo prototipo (Adimensional).

COP_{Carnot} : Es el coeficiente de desempeño ideal para el segundo prototipo (Adimensional).

Tabla No. 62: Eficiencia de la segunda ley de la termodinámica para el segundo prototipo.

| Variable | Valor | Dimensional |
|------------------------|-------|-------------|
| COP real | 1.57 | - |
| COP carnot | 11.00 | - |
| Eficiencia segunda ley | 14.27 | % |

(Elaboración propia, 2018)

Comparando la eficiencia de la segunda ley de la termodinámica con el primer prototipo, se tiene un aumento del 1.27% en este segundo diseño. Indicando una mejora en el desempeño final del sistema de refrigeración.

VI. CONCLUSIONES

1. Se diseñó y fabricó un modelo de refrigeración que se adapta a las necesidades de refrigeración y segmento económico de las personas de la aldea “*El Platanar*”.
2. Se logró diseñar y fabricar un modelo de refrigeración que se adaptó a las necesidades de refrigeración de alimentos de la familia Puac.
3. No se seleccionaron materiales de origen reciclado o reutilizado para la fabricación del modelo debido a las altas conductividades térmicas que éstos poseen, por lo que no se logra cumplir el objetivo planteado.
4. Los materiales de origen reciclado y reutilizado no cumplen con los propósitos de diseño y funcionamiento del modelo de refrigeración en cuanto a las cargas de refrigeración necesarias.
5. Mediante encuestas y entrevistas, se diseñó el espacio refrigerado con una geometría rectangular y volumen de almacenamiento de 96 litros.
6. El costo final del modelo implementado del espacio refrigerado es de Q. 928.35 por lo que no se cumple el objetivo de Q 800.00.
7. El modelo implementado consume 32.75 kWh menos que el consumo de 52.62 kWh del modelo a mejorar en un período de 31 días.
8. Las medidas finales del modelo fabricado son de 50 cm de ancho, 60 cm de profundidad y 110 cm de alto, por lo que se cumplen los límites de medidas planteadas.

9. Se diseñó y manufacturó un sistema de refrigeración para un espacio refrigerado de 108 litros enfocado en las necesidades de la familia Puac de la comunidad en la aldea *El Platanar*.
10. Se diseñó un prototipo funcional de un sistema interno de refrigeración por compresión de vapor, que funciona con 110 a 120 Voltios en corriente alterna y tiene capacidad de mantener una temperatura de 4.94 grados centígrados.
11. Se adaptó el sistema de refrigeración por compresión de vapor para una carga de refrigeración enfocada en los alimentos consumidos por la familia Puac de la comunidad de la aldea *El Platanar*. El sistema de refrigeración posee una capacidad de extracción de calor de 187 Watts y un consumo eléctrico de 119 Watts en condiciones de trabajo.
12. Se elaboró un manual de diseño para un sistema de refrigeración por compresión de vapor para futuras repeticiones del sistema propuesto.
13. Se elaboró un manual del usuario para la recreación y manufactura de un sistema de refrigeración por compresión de vapor para futuras repeticiones del sistema propuesto.
14. Se realizaron pruebas de laboratorio con carga al primer prototipo en las cuales se comprobó que este mantiene el espacio refrigerado a 11.22°C con un costo energético mensual del Q57.89. Mientras que el segundo prototipo, con la misma carga, mantiene el espacio refrigerado a 4.94°C con un costo energético mensual del Q21.85.

15. Se obtuvo realimentación por parte de la familia Puac acerca del segundo prototipo de la refrigeradora, donde destaca que la refrigeradora no posee iluminación interna y dificulta su utilización. Además de la presencia de escarcha interna y la congelación del evaporador en las partes expuestas fuera del espacio refrigerado.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar el estudio de factibilidad de implementación de un ventilador eléctrico dentro del espacio refrigerado que permita una mejor distribución de calor.
2. Implementar una mezcla de aislantes de origen reciclado con espuma de poliuretano para reducir la cantidad de espuma utilizada. Esto con el fin de reducir los costos.
3. Implementar el uso de lámina reciclada únicamente en la parte exterior del cuerpo. Esto con la finalidad de reducir costos, al mismo tiempo no afectar la integridad de la salud de los usuarios.
4. Estudiar la factibilidad de reemplazar el sistema de adhesión de materiales por remaches a un sistema de pegamento.
5. Implementar un sistema de diseño general que tome en cuenta los aspectos más importantes como el volumen interno, temperatura promedio del ambiente y hábitos alimenticios de las personas.
6. Implementar un diseño que permita el acceso al evaporador para realizar reparaciones en caso de ser requeridas.
7. Diseñar el tercer prototipo de sistema de refrigeración con base en accesorios y componentes exportados al interior del país desde otros países. De esta forma, se obtendrán costos de adquisición mucho más inferiores a los costos por adquisición local.

8. Diseñar el tercer prototipo de sistema de refrigeración tomando en consideración la adición de un ventilador al interior del espacio refrigerado. Esto reducirá la producción de escarcha dentro del espacio refrigerado y asegurará una homogeneidad en la temperatura interna del espacio.
9. Diseñar el tercer prototipo de sistema de refrigeración tomando en consideración la instalación de una trampa de agua en el interior del espacio refrigerado. Esto reducirá la producción de escarcha y la posibilidad de daños al compresor debido a la humedad.
10. Diseñar el evaporador interno del sistema interno de refrigeración por compresión de vapor buscando el tener la mayor área superficial hacia el espacio refrigerado interno. Esto aumentará la eficiencia del sistema, el coeficiente de desempeño y reducirá los ciclos de encendido del sistema.
11. Realizar el vacío al sistema interno de refrigeración a compresión de vapor utilizando una bomba de vacío adecuada. De esta forma, se asegura un vacío completo de humedad y de agentes extraños al sistema dentro de los ductos del sistema interno de refrigeración.
12. Integrar un componente que proporcione iluminación dentro del espacio refrigerado y este integrado a la puerta de este. De esta forma, se tendrá comodidad de utilizar el prototipo en tiempos donde no se posea iluminación exterior.
13. Integrar un componente de seguridad al termostato interno del espacio refrigerado que asegure el no correr riesgo de accidente eléctrico al contacto. El termostato actual y el anterior se encuentran descubiertos proporcionando un riesgo de contacto eléctrico al usuario.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. (17 de julio de 2011). *GENBETA*. Obtenido de La importancia de escuchar al cliente: <http://www.genbetadev.com/trabajar-como-desarrollador/la-importancia-de-escuchar-al-cliente>
- Arduino. (8 de octubre de 2018). *ARDUINO*. Obtenido de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- ASHRAE. (18 de octubre de 2018). *HEAT, AIR, AND MOISTURE CONTROL IN BUILDING*. Obtenido de <http://edge.rit.edu/content/C09008/public/2009%20ASHRAE%20Handbook>
- ASHRAE, Inc. (2009). *ASHRAE*. Obtenido de Heat, air and moisture control in building assemblies - Material properties: <http://edge.rit.edu/content/C09008/public/2009%20ASHRAE%20Handbook>
- Bohn. (Septiembre de 2005). *Manual de Ingeniería*. Obtenido de Bohn: <http://www.bohn.com.mx/ArchivosPDF/BCT-025-H-ENG-1APM-Manual-Ingenieria.pdf>
- Bohn, F. (6 de noviembre de 2018). *Manual de Ingeniería*. Obtenido de https://www.academia.edu/13058295/MANUAL_DE_INGENIER%C3%8DA_-_C%C3%81LCULO_DE_CARGAS_EN_LA_REFRIGERACI%C3%93N INDUSTRIAL
- Boles, M. A., & Cengel, Y. A. (2011). *Termodinámica*. México, DF: McGrawHill.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica*. México, D. F.: McGrawHill.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. México , DF: McGrawHill.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones*. México, D. F.: McGrawHill.
- Chemours. (s.f.). *Normas de seguridad para refrigerantes*. Obtenido de Chemours: https://www.chemours.com/Refrigerants/es_MX/news_events/noticias_refrescantes/edicion_27/seguridad.html

- Eléctrica Aplicada. (s.f.). *Que es el factor de potencia y cuales son los valores más comunes*. Obtenido de Eléctrica Aplicada:
<https://www.electricaplicada.com/que-es-el-factor-de-potencia/>
- Evans, P. (26 de diciembre de 2017). *Cooling Load Calculation - Cold Room*. Obtenido de The Engineering Mindset: <http://theengineeringmindset.com/cooling-load-calculation-cold-room/>
- Foodsafety. (10 de septiembre de 2018). *Foodsafety.gov*. Recuperado el 13 de mayo de 2018, de Su fuente de información federal sobre seguridad alimentaria:
<https://espanol.foodsafety.gov/mantener/gr%C3%A1ficos/14r9/tiempodeconservac%C3%B3n.html>
- Frionline. (s.f.). *Tipos de refrigerantes en refrigeración y aire acondicionado*. Obtenido de Frionline: Soluciones para el profesional de la refrigeración y el aire acondicionado: <https://frionline.net/articulos-tecnicos/205-tipos-de-gases-refrigerantes-en-refrigeracion-y-aire-acondicionando.html>
- Grados, C. (17 de noviembre de 2014). *Gas R - 134a: Seguridad*. Obtenido de Revista cero grados celsius: <https://www.0grados.com/gas-r-134a-seguridad/>
- Grados, C. (03 de marzo de 2014). *Refrigerantes manejo y seguridad*. Obtenido de Revista cero grados celsius: <https://www.0grados.com/refrigerantes-manejo-y-seguridad/>
- INTARCON. (s.f.). *Método de cálculo para evaporador en condiciones variadas*. Obtenido de INTARCON: Tecnología en refrigeración:
<http://www.intarcon.com/pdfs/ES/Metodo%20c%C3%A1lculo%20evaporadores.pdf>
- Lijo, J. M. (2012). *Manual de refrigeración*. Barcelona: Reverté.
- Luis, J. (s.f.). *Fallas comunes en refrigeradores*. Obtenido de Fallas Electrónicas:
<https://fallaselectronicas.com/fallas-comunes-en-refrigeradores/>
- Municipalidad de San José Pinula. (2017). Cuestionario Aldea El Platanar. Guatemala, San José Pinula.
- NER. (s.f.). *Cómo funciona un refrigerador*. Obtenido de Refrigeración NER:
<https://refrigeracionner.com/como-funciona-un-refrigerador/>

- NER. (s.f.). *Refrigerantes*. Obtenido de Refrigeracion NER:
<https://refrigeracionner.com/refrigerantes/>
- NER. (s.f.). *Tipos de refrigeradores domésticos*. Obtenido de Refrigeracion NER:
<https://refrigeracionner.com/tipos-de-refrigeradores-domesticos/>
- Organización Alimentación Sana. (13 de mayo de 2018). *Alimentación Sana*.
 Recuperado el 10 de Septiembre de 2018, de Somos lo que comemos:
<http://www.alimentacion-sana.org/informaciones/novedades/conservacion%203.htm>
- Orrego, C. (2001). *Calor de respiración de frutas y vegetales*. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Ciencias, Manizales.
- Orrego, C. (6 de noviembre de 2018). *Calor de respiración de frutas y vegetales*.
 Obtenido de
<http://bdigital.unal.edu.co/8235/1/carloseduardoorregoalzate.2001.pdf>
- Ortíz, E. (7 de noviembre de 2018). *El salario mínimo de Guatemala es de los más altos y nuestros trabajadores de los más pobres*. Obtenido de
<https://trends.ufm.edu/articulo/salario-minimo-guatemala/>
- Ruiz, R. E. (2018). *Fabricación del espacio refrigerado enfocado a las necesidades de la comunidad el platanar*. Guatemala.
- SaylorAcademy. (septiembre de 2018). *Youtube*. Obtenido de NASA Space Systems Engineering Course:
https://www.youtube.com/user/saylorfoundation/playlists?shelf_id=3&view=50&sort=dd
- Sieckavizza, E. A. (2017). *Diseño y análisis de un espacio refrigerado de una refrigeradora para uso doméstico*. Guatemala.
- Solís, L. A. (2017). *Fabricación de un prototipo de bajo costo de un sistema de refrigeración por compresión de vapor*. Guatemala.
- Thompson, I. (Marzo de 2006). *PromonegocioS.net*. Obtenido de Objetivos de la publicidad: <http://www.promonegocios.net/mercadotecnia/publicidad-objetivos.html>

Unión Europea. (2006). *Productos Químicos*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2018, de <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2006/ES/1-2006-520-ES-F1-3.Pdf>

USDA. (26 de febrero de 2015). *La Refrigeración y la Inocuidad de los Alimentos*. Obtenido de United States Department of Agriculture: Food Safety and Inspection Service: <https://www.fsis.usda.gov/wps/portal/informational/en-espanol/hojasinformativas/manejo-adecuado-de-alimentos/la-refrigeracion>

Valdéz, L. E. (2018). *Diseño y manufactura del sistema de refrigeración por compresión de vapor para un espacio refrigerado*. Guatemala.

Vega, L. (s.f.). *El compresor: Parte fundamental en los sistemas de refrigeración*. Obtenido de Mundo HVAC&R: <https://www.mundohvacr.com.mx/2007/11/el-compresor-parte-fundamental-en-los-sistemas-de-refrigeracion/>

IX. ANEXOS

A. CATÁLOGO DE COMPRESORES EMBRACO A 60 HZ UTILIZANDO REFRIGERANTE R – 134A.

| Compresores LBP (Baja Presion de Retorno) | | | | | | 60Hz | | R-134a | | | | | |
|------------------------------------------------------|-----------|------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| REFRIGERADORAS | | | | | | | | | | | | | |
| VOLUMEN DEL SISTEMA (litros) Temperatura Ambiente | | COMPRESOR | | | | CAPACITOR DE ARRANQUE | | TUBO CAPILAR | | | | Temperatura de Evaporación | |
| | | Modelo | Capacidad Frigorífica Btu/h | Eficiencia Btu/Wh | Referencia Comercial HP | Capacitancia μF | | Diametro Interno | | Largo | | | Caudal de N ₂ a 10 atm l/min |
| 32°C | 43°C | | | | | 115V | 220V | pul | mm | pul | mm | | |
| Hasta 100 | Hasta 80 | EM 20HHR | 200 | 3,03 | 1/12 | 124 a 149 90 VAC | 70 a 84 150 VAC | 0,025 0,028 | 0,63 0,71 | 128 173 | 3250 4400 | 3,15 | -20°C a -10°C |
| | | EMIS 20HHR | 200 | 3,02 | | 161 a 193 150 VAC | 72 a 88 180 VAC | | | | | | |
| 100 a 300 | 80 a 250 | EM 30HHR | 310 | 3,20 | 1/10 | 145 a 175 115 VAC | 38 a 46 220 VAC | 0,025 0,028 0,031 | 0,63 0,71 0,80 | 59 102 181 | 1500 2600 4600 | 7,6 | |
| | | EM 30HNR | 305 | 3,60 | | 88 a 108 115 VAC | 38 a 46 230 VAC | | | | | | |
| | | EMI 30HER | 305 | 3,65 | | 64 a 77 140 VAC | 53 a 64 180 VAC | | | | | | |
| 170 a 360 | 140 a 300 | EM 45HHR | 420 | 3,93 | 1/8 | 145 a 175 110 VAC | - | 0,025 0,028 0,031 | 0,63 0,71 0,80 | 45 79 140 | 1150 2000 3550 | 8,4 | |
| | | EM 45HNR | 420 | 3,90 | | 145 a 175 110 VAC | 38 a 46 220 VAC | | | | | | |
| | | EMI 45HER | 420 | 4,18 | | - | 53 a 64 190 VAC | | | | | | |
| 250 a 400 | 220 a 370 | EM 55HNR | 510 | 4,05 | 1/6 | 170 a 200 115 VAC | 50 a 80 190 VAC | 0,028 0,031 0,035 | 0,71 0,80 0,90 | 61 110 197 | 1550 2800 5000 | 9,4 | |
| | | EMI 55HER | 510 | 4,45 | | 233 a 280 115 VAC | 108 a 130 220 VAC | | | | | | |
| | | EMI 60HER | 570 | 4,19 | 1/6+ | 158 a 190 120 VAC | 70 a 84 210 VAC | | | | | | |
| | | EM 65HNR | 650 | 3,88 | | 189 a 227 130 VAC | - | | | | | | |
| 280 a 480 | 240 a 400 | EMI 70HER | 705 | 4,58 | 1/5+ | 270 a 324 115 VAC | - | 0,028 0,031 0,035 | 0,71 0,80 0,90 | 61 110 197 | 1550 2800 5000 | 9,4 | |
| | | FF 7,5HBK | 695 | 3,90 | | 270 a 324 115 VAC | 108 a 130 140 VAC | | | | | | |
| | | FFI 6HAK | 680 | 4,25 | | 158 a 190 120 VAC | 64 a 77 220 VAC | | | | | | |
| | | EGAS 70HLR | 695 | 5,40 | | 233 a 280 115 VAC | 88 a 108 180 VAC | | | | | | |
| 350 a 575 | 275 a 450 | FF 8,5HBK | 740 | 3,74 | 1/4 | 270 a 324 115 VAC | 88 a 108 220 VAC | 0,028 0,031 0,035 | 0,71 0,80 0,90 | 49 87 157 | 1250 2200 4000 | 10,5 | |
| | | FFI 7,5HAK | 765 | 4,60 | | 175 a 228 100 VAC | 64 a 77 180 VAC | | | | | | |
| | | FFU 70HAK | 750 | 5,10 | | 189 a 227 180 VAC | 64 a 77 220 VAC | | | | | | |
| | | EG 75HLR | 805 | 5,00 | | 189 a 227 180 VAC | 64 a 77 220 VAC | | | | | | |

(Embraco, 2018)

B. PRIMER ENCUESTA REALIZADA EN LA ALDEA EL PLATANAR.

¿Qué tipos de alimentos consumen?

¿Cuántos miembros son en la familia?

¿Tienen refrigeradora?

¿Qué tipos de alimentos desearían refrigerar?

En caso de que posean refrigeradora, ¿qué inconvenientes les presenta?

¿Qué hacen con las sobras de comida?

¿De qué forma almacenan su comida actualmente?

¿Qué tipo de superficie poseen dentro de sus hogares?

Identificar si tienen acceso a energía eléctrica.

¿Cuánto gastan al mes en energía eléctrica?

Identificar si poseen área adecuada para la refrigeradora

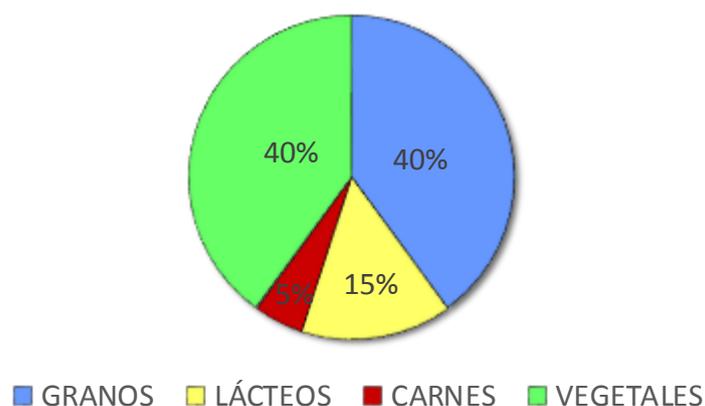
Definir el área para la refrigeradora.

¿Qué tipos de climas están presentes en el área?

Identificar cuánto estarían dispuestos a pagar por nuestra invención.

C. RESPUESTAS DE PRIMER ENCUESTA REALIZADA EN LA ALDEA EL PLATANAR.

Ilustración No. 62: Respuestas para primera pregunta de la primera encuesta.



(Elaboración propia, 2017)

En promedio, habitan seis personas por hogar en la aldea El Platanar.

Siete de cada diez familias entrevistadas respondieron que no cuentan con aparatos de refrigeración debido al alto costo de compra de estos.

Las familias encuestadas desean refrigerar principalmente granos y vegetales.

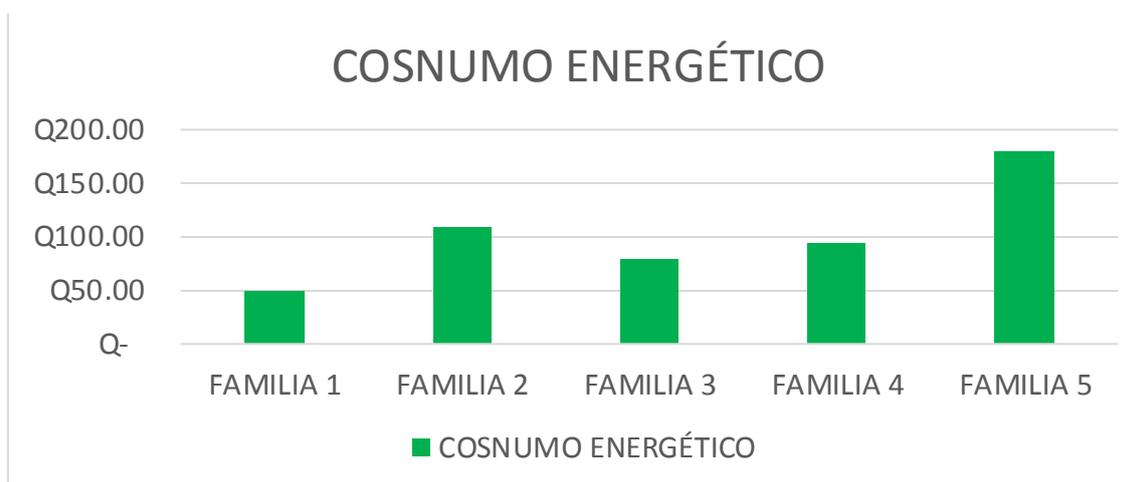
Los principales problemas presentados por las personas que poseen refrigeradoras son fugas de agua o problemas de enfriamiento.

Las familias que no cuentan con refrigeradoras no almacenan sobras de alimentos.

Las familias con refrigeradora la almacenan en estas y las personas que no poseen refrigeradoras no almacenan alimentos perecederos.

El 70% de las familias encuestadas cuentan con superficies de tierra, 20% con superficie de concreto y 10% con pisos cerámicos y/o de granito.

Ilustración No. 63: Respuestas para la décima pregunta de la primera encuesta.



(Elaboración propia, 2017)

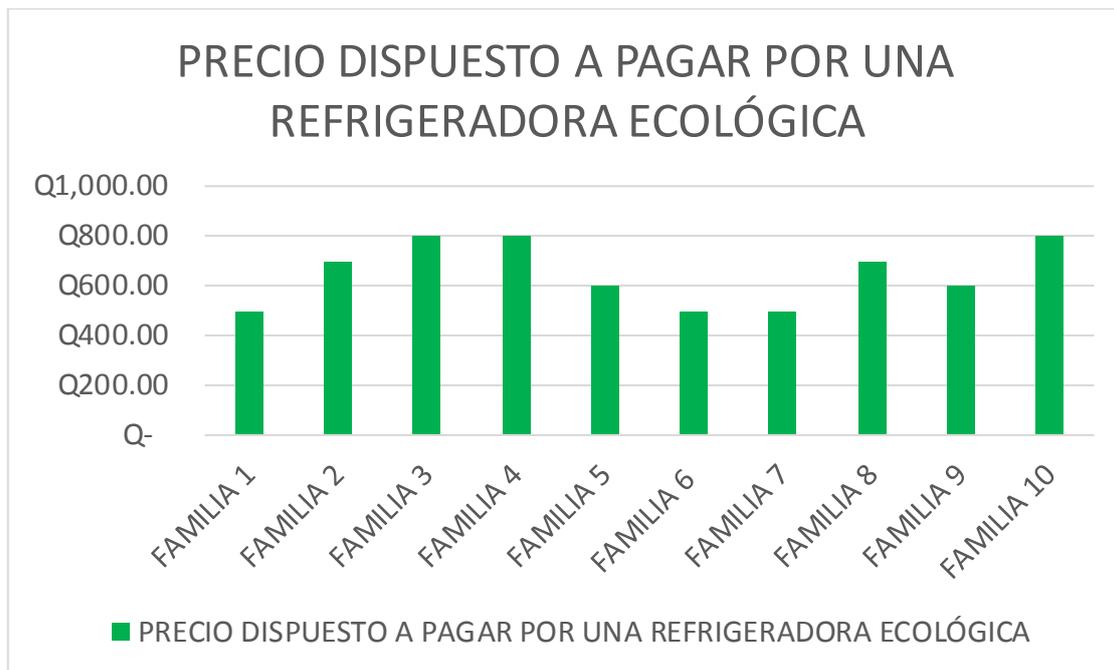
El 85% de las familias encuestadas cuentan con energía eléctrica.

Todos los hogares que cuentan con energía eléctrica cuentan con un espacio adecuado para un refrigerador.

El área destinada para la refrigeradora debe contar con una conexión de energía eléctrica a no más de 3 metros y un área techada.

Clima mayormente templado.

Ilustración No. 64: Respuestas para la catorceava pregunta de la primera encuesta.



(Elaboración propia, 2017)

D. SEGUNDA ENCUESTA REALIZADA EN LA ALDEA EL PLATANAR.

¿Por qué no tienen refrigeradora?

¿Les gustaría tener una refrigeradora? ¿Por qué?

¿Conocen personas que tienen refrigeradoras? ¿Qué les han comentado?

¿Cuánto creen que cuesta una refrigeradora mediana?

¿Cuánto dinero estarían dispuestos a pagar por una refrigeradora mediana?

¿De qué forma almacenan su comida actualmente?

La comida que almacenan, ¿cuánto tiempo les dura en buen estado?

¿Cuánto pagan en su factura eléctrica mensualmente?

¿Tienen un espacio adecuado para una refrigeradora?

¿Cómo es la superficie dentro del hogar y de la cocina?

¿Cuántas personas habitan en su casa?

E. RESPUESTAS DE SEGUNDA ENCUESTA REALIZADA EN LA ALDEA EL PLATANAR.

Siete de cada diez familias entrevistadas respondieron que no cuentan con aparatos de refrigeración debido al alto costo de compra de estos.

A ocho de las diez familias encuestadas les gustaría tener una refrigeradora. Las dos familias que respondieron negativamente se debe a que ya contaban con aparatos de refrigeración. El motivo del resto de familias se debe a que desean refrigerar alimentos para poder conservarlos en buen estado durante un mayor período de tiempo.

Cinco familias respondieron afirmativamente a esta pregunta. Una de las familias comentó negativamente la pregunta debido al alto costo de energía eléctrica que representaba el aparato de refrigeración de sus conocidos.

El valor mínimo que estimaron las familias encuestadas fue de Q. 1,000.00 y el valor máximo de Q. 6,000.00. Esto es un indicador que nos permite conocer la falta de información que tienen las personas de la comunidad con base en precios de electrodomésticos.

Esta pregunta tuvo valores muy cercanos. Las familias de la aldea El Platanar están dispuestas a pagar un precio de Q. 500.00 a Q. 800.00 por un electrodoméstico de refrigeración.

Sin tomar en cuenta a las familias que ya cuentan con aparatos de refrigeración, se da a conocer que ninguna de las familias almacenan comida. Las personas de la comunidad cocinan frecuentemente y consumen todos los alimentos preparados. Las sobras las dan a sus mascotas debido a la falta de un proceso de almacenamiento no perecedero de alimentos.

En los casos de las siete familias que no cuentan con aparatos de refrigeración, la respuesta es la misma. No almacenan los alimentos, por lo tanto no tienen un estimado.

Cinco de las diez familias encuestadas pagan la energía eléctrica que consumen. Las otras cinco familias son dependientes de sus empleadores para obtener energía eléctrica. Los rangos de consumo monetariamente son de Q. 50.00 a Q. 180.00 mensualmente.

Todas las familias cuentan con un espacio adecuado ya que los aparatos de refrigeración no requieren de condiciones especiales. Las características esenciales para un espacio adecuado son: conexión a energía eléctrica de 110 voltios y estar aislado de la intemperie.

Seis de las familias cuentan con piso de tierra y una superficie dispareja, tres cuentan con torta de cemento como piso y una familia con piso cerámico.

En promedio, habitan seis personas por hogar en la aldea El Platanar.

F. COTIZACIÓN REALIZADA EN DISTRIBUIDORA GRANADA S.A.

DISTRIBUIDORA GRANADA
5A. AVE. 6-71 ZONA 9
PBX. 2332-1591

COTIZACIÓN

Para: LUIS MARTINEZ
Nit: CF
Dirección:

No. de Cotización: 22957
Fecha: 27/08/2018
Asesor: TG09-Mariela Hernandez
E-mail: mherandez@distgranada.c
Celular: 30539172

| # | Código | U/M | Descripción | Cant. | Precio c/IVA | Total c/IVA |
|---------------|---------|--------|--------------------------------------------------------|-------|--------------|-------------------|
| 1 | 02.0237 | PIE | TUBO DE COBRE FLEXIBLE 1/4" (0.0277) UL 700PSI MUELLER | 20 | QTZ 3.48 | QTZ 69.60 |
| 2 | 02.0002 | PIE | TUBO CAPILAR DE 0.031" ASTM B-360 NACOBRE | 10 | QTZ 0.95 | QTZ 9.50 |
| 3 | 14.0181 | UNIDAD | VALVULA DE ACCESO PARA R22/12/134/502 QAV-4B QUALITY | 1 | QTZ 4.75 | QTZ 4.75 |
| 4 | 08.0042 | UNIDAD | TERMOSTATO P/ENFRIADOR K50P1127 RANCO ORIGINAL | 1 | QTZ 44.00 | QTZ 44.00 |
| Total: | | | | | | QTZ 127.85 |

Validéz de la Oferta: 10 días, sujeta a disponibilidad de existencias

Forma de Pago: Contado

Observaciones:

- * Una vez recibida la mercadería a conformidad, NO se aceptan cambios ni devoluciones.
- * En productos electricos NO hay garantía.
- * Nuestros equipos cuentan con doce meses de garantía POR DESPERFECTOS DE FABRICACION. NO aplica por mal uso, mal diseño, mala instalación, falta de mantenimiento, fallas en el suministro eléctrico, entre otras.
- * Los modelos y especificaciones están sujetos a cambios sin previo aviso debido a mejoras en los productos.

 Firma y Sello de Aceptación

G. COTIZACIÓN REALIZADA EN UNIREFRI S.A.

UNIREFRI

3A. CALLE 4-11 ZONA9

Telefono: 2362-4264

COTIZACIÓN

Para: SR
Nit: CF
Dirección: CIUDAD

No. de Cotización: 2012995
Fecha: 27/08/2018
Asesor: TU09-Soni Ogaldez
E-mail: sogaldez@unirefri.com
Celular:

| # | Código | U/M | Descripción | Cant. | Precio c/IVA | Total c/IVA |
|---------------|---------|--------|--------------------------------------------------------|-------|--------------|-------------------|
| 1 | 02.0237 | PIE | TUBO DE COBRE FLEXIBLE 1/4" (0.0277) UL 700PSI MUELLER | 20 | QTZ 3.50 | QTZ 70.00 |
| 2 | 02.0002 | PIE | TUBO CAPILAR DE 0.031" ASTM B-360 NACOBRE | 10 | QTZ 1.00 | QTZ 10.00 |
| 3 | 14.0181 | UNIDAD | VALVULA DE ACCESO PARA R22/12/134/502 QAV-4B QUALITY | 1 | QTZ 4.75 | QTZ 4.75 |
| 4 | 08.0042 | UNIDAD | TERMOSTATO P/ENFRIADOR K50P1127 RANCO ORIGINAL | 1 | QTZ 44.00 | QTZ 44.00 |
| Total: | | | | | | QTZ 128.75 |

Validéz de la Oferta: 10 días, sujeta a disponibilidad de existencias

Forma de Pago: Contado

Observaciones:

* Una vez recibida la mercadería a conformidad, NO se aceptan cambios ni devoluciones.

* En productos eléctricos NO hay garantía.

* Nuestros equipos cuentan con doce meses de garantía POR DESPERFECTOS DE FABRICACION. NO aplica por mal uso, mal diseño, mala instalación, falta de mantenimiento, fallas en el suministro eléctrico, entre otras.

* Los modelos y especificaciones están sujetos a cambios sin previo aviso debido a mejoras en los productos.

Firma y Sello de Aceptación

H. COTIZACIÓN REALIZADA EN CONGELSA S.A.



2 CALLE 2-46 ZONA 10
TELEFAX (PBX): (502) 2332-8350

COTIZACIÓN No.
2850

Guatemala, 27 de AGOSTO de 2018

| | | |
|----------------------------------|-------------|-----------------------------|
| CODIGO: 2941 | NIT: C/F | FORMA DE PAGO CONTADO |
| NOMBRE CLIENTE: LUIS MARTINEZ | | TELS: |
| DIRECCIÓN: CIUDAD | ATENCIÓN: | LUGAR DE ENTREGA: CIUDAD |

| CODIGO | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN | PRECIO NETO U | SUB TOTAL |
|-------------|----------|----------------------------------------------------|---------------|-----------|
| EMI45HER-SF | 1 | COMPRESOR EMBRACO R-134 1/8 EMI45HER-SF DOMESTICO | 514.00 | 514.00 |
| TP20 | 16 | TUBO FLEXIBLE COBRE 1/4 PIE | 3.00 | 48.00 |
| CSREMB002 | 1 | CONDENSADOR 200D5028P002/WR01F02078 PERSEUS | 352.00 | 352.00 |
| CP031 | 1 | CAPILAR 0.31 10 PIES | 20.00 | 20.00 |
| FD10G003 | 1 | FILTRO SOLDABLE FD10G003 PEQUEÑO GIGANTE 10 GRAMOS | 7.00 | 7.00 |
| VPA10 | 1 | VALVULA PINCH 1/4 SOLD. | 5.00 | 5.00 |
| TERAEB002 | 1 | CONTROL RANCO K50Q-1127-001 ENFRIADOR ORIGINAL | 59.00 | 59.00 |

Validación de la Cotización hasta 30/08/2018 TOTAL: Q. 1,005.00

Observaciones:

OMAR MENENDEZ

VENDEDOR

CLIENTE

NOTA: Precios pueden variar sin previo aviso. Sujeto a existencia al momento de la compra.

I. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ESPACIO REFRIGERADO

Una vez obtenidos los materiales necesarios para la fabricación del modelo, se procede con la fabricación de este. Para poder lograrlo se requieren de máquinas y herramientas. Las máquinas y herramientas necesarias para el proceso de fabricación son:

- Soldadora de arco eléctrico y electrodo.
- Dobladora de lámina.
- Tijera para lámina.
- Sacabocados para metal.
- Taladro y broca.
- Disco de corte.
- Cinta métrica.
- Escuadra.
- Lima para metal.
- Pulidora.
- Equipo de protección general.
- Dispensadora de pintura líquida.
- Barreno de mano.
- Remachadora.
- Destornillador tipo "Phillips"

Tabla No. 63: Proceso de fabricación del modelo implementado

| PASO | PROCESO | IMAGEN |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Dimensionar las secciones de lámina necesarias para los cuerpos correspondientes. Algunos cálculos sencillos pueden ser necesarios, por lo que se recomienda tener lápiz, papel y una calculadora. |  |
| 2 | Cortar las secciones dimensionadas previamente. |  |
| 3 | Realizar agujeros guía al cuerpo interno del modelo. |  |
| 4 | Doblar las secciones de lámina que necesiten de este proceso. |  |
| 5 | Realizar agujeros finales con el sacabocados para metal. |  |

| PASO | PROCESO | IMAGEN |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 | Tomar medidas del cuerpo interno y la base para evaporador para realizar los cortes correspondientes de la estructura interna. |  |
| 7 | Soldar las piezas correspondientes del cuerpo interno y luego tomar medidas para realizar el cuerpo externo y la puerta. |  |
| 8 | Realizar los cortes correspondientes para el cuerpo externo del modelo y la puerta correspondientemente. |  |
| 9 | Soldar las piezas correspondientes del cuerpo exterior y la puerta del modelo. |  |

| PASO | PROCESO | IMAGEN |
|------|---------|--------|
|------|---------|--------|

10 Rebajar la soldadura excesiva con una pulidora de mano.



11 Pintar las estructuras con pintura anticorrosiva.



12 Instalar la base del evaporador en la estructura interior, la lámina del cuerpo interior y las láminas correspondientes en la estructura exterior. (Se debe instalar el evaporador previamente a la lámina del cuerpo interior)



| PASO | PROCESO | IMAGEN |
|------|---------|--------|
|------|---------|--------|

13 Instalar la jaladera de la puerta, posteriormente instalar la puerta con las bisagras.



14 Instalar el empaque magnético en el marco frontal del cuerpo interior del modelo.



15 Posicionar los cuerpos en su posición final para poder introducir la espuma de poliuretano.



| PASO | PROCESO | IMAGEN |
|------|---------|--------|
|------|---------|--------|

16 Dejar secar la espuma de poliuretano por 6 horas para garantizar su curado.



17 Verificar sellos en la puerta y el correcto funcionamiento de la apertura.



18 Pintar el exterior del modelo con pintura sintética blanca.



(Elaboración propia, 2018)

J. RECOMENDACIONES DE USO

- Almacenar los alimentos en recipientes herméticos.
- Ingresar los alimentos al modelo a temperatura ambiente.
- Procurar realizar las aperturas y cierres de las puertas en el menor tiempo posible.
- Ingresar alimentos al modelo de refrigeración luego de un lapso de 8 horas desde la puesta en marcha.

K. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

1. Fabricación y ensamble del evaporador

El primer avance para la producción del sistema de refrigeración es la fabricación del evaporador a base de tubería de cobre. Para esto se utilizó una dobladora de tubos manual para realizar los dobleces al evaporador. Se realizaron dobleces de 90 grados dejando la longitud necesaria entre arcos y así cubrir la mayor parte del espacio refrigerado.

Ilustración No. 65: Dobladora de tubos manual acoplado a la tubería de cobre realizando un doblado a 90°.

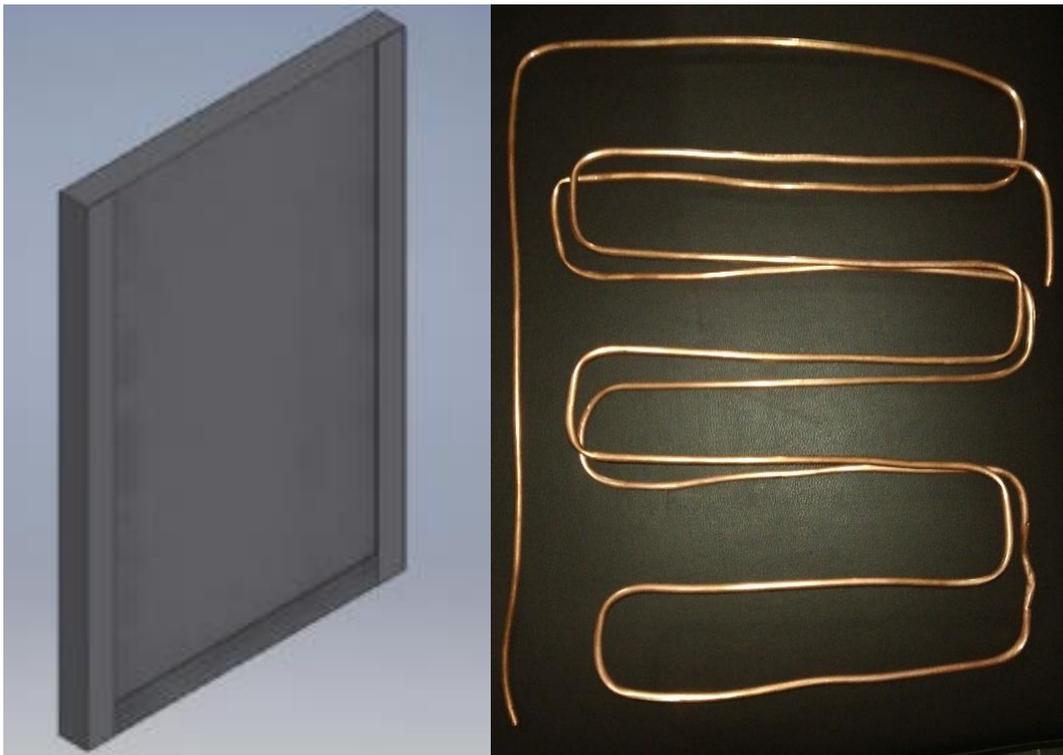


(Elaboración propia, 2018)

El proceso de doblar la tubería con una herramienta adecuada no es por razones de estética generalmente. Realizar un doblado inapropiado o incorrecto sin un radio de curvatura considerable puede impedir el flujo del refrigerante a través del sistema. Se debe distribuir de manera uniforme la tubería dentro del espacio refrigerado. La forma del espacio refrigerado determinará la geometría final y el método de sujeción del evaporador.

El evaporador se diseñó para ocupar el espacio diseñado por Rubén Barillas. Dicho espacio estaría ubicado en la parte trasera del espacio refrigerado interno, dentro de un cajón hecho de lámina de acero galvanizado.

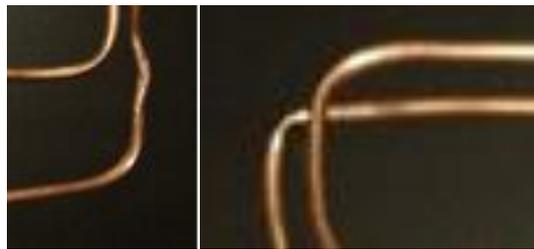
Ilustración No. 66: Espacio para evaporador diseñado por Rubén Barillas y primer evaporador fabricado para sistema de refrigeración.



(Elaboración propia, 2018)

Como se puede observar en la figura anterior, el evaporador fabricado presenta múltiples imperfecciones en los dobleces y arcos. Esto se debe a que se utilizó un radio de arco muy pequeño y a 90 grados de giro. Dando lugar a que la tubería se doblara de forma que cambia la geometría o se obstruyera el paso para el flujo del refrigerante. Dado estos problemas, se tomó la decisión de realizar un nuevo evaporador.

Ilustración No. 67: Imperfecciones comunes en el primer evaporador para el segundo prototipo.



(Elaboración propia, 2018)

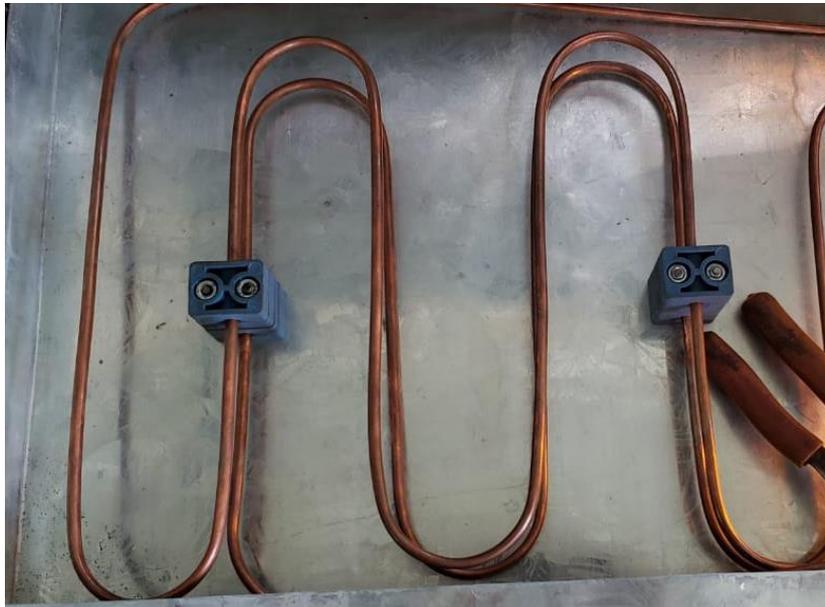
Con esto en mente, se realizó el mismo procedimiento de utilizar el doblador de tubos manual. Sin embargo, en esta ocasión se procuró no realizar arcos a 90° inmediatos. Los arcos se realizaron con un radio mayor al intento anterior y con un giro a 180°. De esta forma se evitaron los arcos obstruidos, cambios de geometría u obstrucción del flujo del refrigerante.

Ilustración No. 68: Segundo intento de fabricación del evaporador para el segundo prototipo.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 69: Evaporador con separadores y acople al cajón del espacio refrigerado.



(Elaboración propia, 2018)

2. Instalación del tubo capilar

Con el evaporador instalado en el espacio refrigerado, se le debe de instalar el tubo capilar al evaporador. Para esto, se le debe de tener sumo cuidado ya que el diámetro interno es de 0.8 milímetros, el cual se puede obstruir con cualquier partícula ajena del sistema. Para esta instalación, el capilar se debe de introducir dentro del tubo de cobre del evaporador, doblarlo para reducir el diámetro interno del evaporador y soldarlo utilizando propano con varilla de aporte de acero y plata.

Ilustración No. 70: Soldadura del tubo capilar al evaporador del segundo prototipo.



(Elaboración propia, 2018)

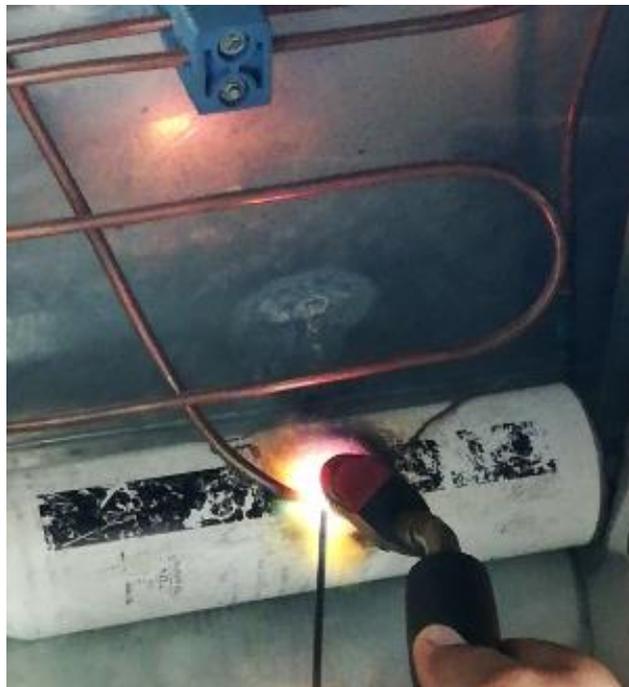
Durante la instalación del tubo capilar, si este no es introducido al menos por 1 centímetro al evaporador, este se puede obstruir por partículas no deseadas o por la misma soldadura. Otra razón de obstrucción sería el calor producido por la soldadura y sus materiales fundentes.

Ilustración No. 71: Eliminación de sector del evaporador y capilar debido a obstrucción por soldadura.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 72: Aplicación de soldadura nuevamente al evaporador y al tubo capilar del sistema de refrigeración.



(Elaboración propia, 2018)

Con el tubo capilar soldado al evaporador, este se enrolló de forma en que no estuviera ocupando más espacio de lo necesario. Se dobló cuidadosamente para evitar cambios de geometrías internas o taponamientos en la tubería de capilar.

Ilustración No. 73: Tubo capilar enrollado en las afueras del espacio refrigerado, en la parte inferior de la refrigeradora.



(Elaboración propia, 2018)

3. Instalación del condensador

Con el evaporador instalado y el tubo capilar correspondiente, se procede a instalar el condensador en la parte trasera del segundo prototipo de refrigeradora. Para esto se le debe de eliminar el exceso de altura y de tubería que este condensador posee, ya que este supera la altura total de la refrigeradora. Haciendo uso de los cálculos realizados en las secciones anteriores, se conoce que se necesita al menos de 0.98 metros de altitud y así eliminar el calor del sistema. Dicho calor incluye el removido del espacio refrigerado y el calor producido por el compresor al trabajar.

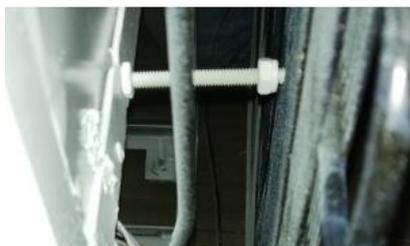
Ilustración No. 74: Condensador original adquirido para el sistema (Izquierda) y condensador luego de eliminarle el exceso de tubería (Derecha).



(Elaboración propia, 2018)

Para la eliminación de la tubería en exceso y el largo extra de las varillas difusoras se utilizó una pulidora. Esta posee un disco abrasivo para el corte eficiente del acero, de esta forma se asegura unos cortes correctos al condensador. Para luego este ser sujetado por medio de pernos.

Ilustración No. 75: Pernos utilizados para la fijación del condensador a la refrigeradora.



(Elaboración propia, 2018)

4. Instalación del filtro deshidratante

Este filtro se encarga de eliminar cualquier contaminación el sistema o humedad que pueda existir dentro de este. Dicho filtro es instalado entre el tubo capilar y el condensador del sistema de refrigeración. Los filtros deshidratantes normalmente poseen una dirección en la cual se debe de instalar, en caso de omitir la dirección el filtro se dañará y obstruirá al sistema de refrigeración. Para evitar esto, se debe de posicionar la flecha del filtro en dirección del flujo del sistema. Es decir, apuntando hacia el evaporador, esto se debe a que el sistema produce un vacío al evaporador y el flujo se dirige hacia el condensador.

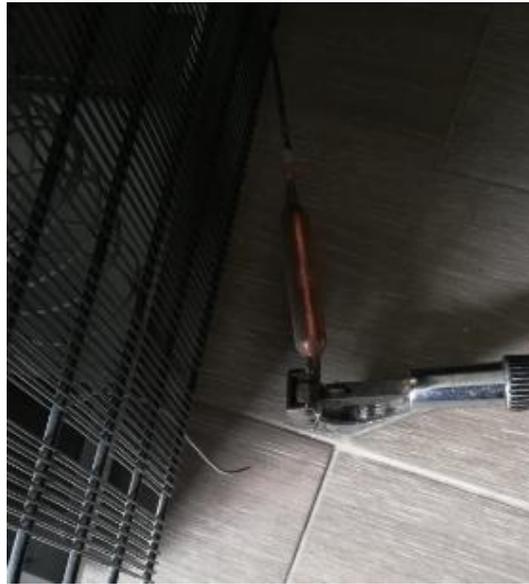
Ilustración No. 76: Filtro deshidratante indicando la dirección en la cual debe de ser instalado.



(Elaboración propia, 2018)

Para unir el filtro se utilizará nuevamente soldadura con material de aporte de acero y plata con llama. Además, se reducirá el diámetro interno del extremo que irá en el tubo capilar para realizar el mismo proceso que se llevó a cabo en la unión del evaporador y el tubo capilar. Mientras que en el extremo que estará ubicado el condensador, será soldado directamente entre ellos con acero y plata.

Ilustración No. 77: Unión entre filtro y condensador y la sujeción del extremo que será soldado al tubo capilar.



(Elaboración propia, 2018)

Se debe de dejar un extremo extra saliendo del mismo filtro deshidratante del mismo extremo donde estará el tubo capilar unido. Esto se debe a que se utilizará para realizarle el vacío al sistema por medio del compresor.

Ilustración No. 78: Soldaduras y uniones realizadas al filtro deshidratante con extremo adicional para vacío.



(Elaboración propia, 2018)

5. Instalación de componentes a compresor

Con el resto de los componentes instalados en la refrigeradora, estos se deben de instalar en las salidas del compresor del sistema de refrigeración. Para esto se deben de realizar abocardados en múltiples tuberías: extremo de condensador, extremo del evaporador y válvula soldable de carga. Dichos abocardados se realizan con la herramienta para abocardados para tuberías.

Ilustración No. 79: Abocardador manual para tuberías.



(Google Images, 2018)

Ilustración No. 80: Abocardado aplicado al extremo del evaporador del sistema de refrigeración.



Elaboración propia, 2018)

Con los abocardados realizados, las tuberías deben de ser soldadas a los extremos del compresor con material de aporte de acero y plata. Para realizar la soldadura de forma rápida y correcta se le debe de aplicar un abrasivo en pasta a los extremos del compresor y la tubería para que se pueda dar la unión por soldadura. El condensador, evaporador y válvula de carga son soldados por medio del mismo proceso.

Ilustración No. 81: Soldadura del evaporador y compresor para realizar su unión.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 82: Soldadura del condensador y compresor para realizar su unión.



(Elaboración propia, 2018)

6. Vacío y cargado de refrigerante al sistema

Con el sistema sellado, se le debe de aplicar un vacío al sistema para asegurarnos que no se posean humedades dentro del sistema o partículas ajenas del sistema dentro de las tuberías. Para esto se debe de iniciar el compresor y dejar funcionando por lo menos durante 5 minutos hasta un máximo de una hora. Esto provocará que todo residuo del sistema sea expulsado hacia el ambiente por medio del capilar extra agregado en el filtro deshidratante. Lo anterior se debe a que el flujo buscará el camino con menos resistencia, siendo el pequeño extremo del capilar adicional ya que es un recorrido con menos resistencia a comparación del resto del sistema.

Luego de realizar este procedimiento durante el tiempo deseado, se procede a apagar el compresor y soldar o sellar el extremo adicional de tubo capilar que se encuentra en el filtro deshidratante. Con esto, se asegura un vacío al sistema. Se debe de dejar el sistema sellado sin carga durante un tiempo considerable para asegurarse de que el sistema no presenta fugas ni intromisiones a las tuberías.

En este caso se dejó reposar el sistema durante un lapso de una hora, para así asegurarse que el sistema funcionaría correctamente. Además de eliminar el riesgo de humedad al sistema que podría dañar al compresor u obstruir al sistema.

Ilustración No. 83: Proceso de vaciado durante 30 minutos al sistema para obtener una presión de -20 psia en el sistema.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 84: Presión dentro del sistema luego de esperar un lapso de 1 hora luego del vacío.



(Elaboración propia, 2018)

Una vez realizado el vacío se debe de aplicar la carga de refrigerante al sistema. Para esto se utiliza la válvula de carga soldable que se encuentra soldada al compresor. Se une el tanque de refrigerante a la válvula por medio de mangueras y los manómetros correspondientes. De esta forma se asegura obtener la presión necesaria dentro del sistema. Para un sistema convencional de refrigeración doméstica se necesita tener entre 0 a 8 psi dentro del sistema. En este caso se dejará con 5 psi dentro del sistema de refrigeración.

Ilustración No. 85: Inicio de proceso de carga de refrigerante al sistema de refrigeración desde -20 psi hasta 5 psi.



(Elaboración propia, 2018)

7. Instalación de termostato

Para finalizar, se debe de instalar el termostato dentro del espacio refrigerado. Sin la instalación de este, el compresor se mantendrá funcionando a todo momento, dando lugar a consumos energéticos elevados, formación de escarcha y temperaturas menores a 0 grados Celsius. Al ser un termostato de tipo ambiental, el bulbo sensor no debe de estar conectado directamente al evaporador, por lo cual se dejará extendido lo más cercano a la parte trasera del espacio refrigerado.

Ilustración No. 86: Termostato de tipo ambiental instalado dentro del espacio refrigerado.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 87: Sistema de refrigeración completamente instalado en el espacio refrigerado.



(Elaboración propia, 2018)

Ilustración No. 88: Producto final del segundo prototipo de refrigeradora económica.



(Elaboración propia, 2018)

L. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO EN ARDUINO UNO PARA EL MONITOREO DE VARIABLES.

```
/*Proyecto Sensores: Implementación total del proyecto
 * -Lectura de temperaturas por medio de sensores DA18B20
 * utilizando su ID único, la temperatura se obtiene en formato
 * de grados celcius.
 *
 * -Detectando la desactivación y el tiempo desactivado de un
 switch.
 *
 * -Almacenaje de datos con el módulo SD en un archivo unico de
 texto
 * con el formato: "Sensor1,Sensor2,Desactivado,Tiempo;"
 */
//Librerias
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SD.h>

//Constantes
const int preset1 = 3036; //reset timer1 (4s)
const int preset2 = 21; //reset timer2 (15ms)
const int presc_Sensor = 75; //to create 5min delay
const int presc_Switch = 34; //to create 0.5s delay
const int switchPin = 2; //DON'T CHANGE THIS PIN (this pin has
interruptions)
const int pinSensors = 8; //pin where sensor out-pin is connected
const int cspin = 10; //pin where CS-pin of the SD shield is
connected
const int errorPin = 7; //pin where error message displays

//variables
int error; //indicate if something is wrong in setup
//Sensores
int sensorTimer;
OneWire oneWireCom(pinSensors);
DallasTemperature sensor(&oneWireCom); //necesario para
comunicación con los sensores
/*
 * Valores de identificacion unicos guardados en los sensores,
 asegura que la temperatura
 * que se almacena provenga del mismo sensor aun cuando se reinicie
 el arduino (POR SI SE
 * REINICIA)
 */
DeviceAddress sensor1 = {0x28,0xFF,0x4B,0x2A,0x84,0x16,0x04,0x61};
DeviceAddress sensor2 = {0x28,0xff,0x66,0x63,0x82,0x16,0x03,0x54};
String temp; //stores the string of temperatures or switch info

//Switch
int tm2Counter; //timer 2 counter (every 15ms)
int switchState; //indicate the state of the switch 0:not pending
1:open time pending 2:open 3:close
```

```

unsigned long switchClock1; //saves open time
unsigned long switchClock2; //saves close time
float switchTime; //saves total time
unsigned long switchCounter; //saves times door opens

//SD
File sensorData; //where sensor file is open
File switchData; //where switch file is open

void setup() {
  //error pin setup
  pinMode(errorPin, OUTPUT); //set pin mode

  //variables
  sensorTimer = 0;
  tm2Counter = 0;
  switchState = 0;
  switchClock1 = 0;
  switchClock2 = 0;
  switchTime = 0.0;
  switchCounter = 0;
  temp = "";
  error = 0;

  //1-WIRE COM
  sensor.begin();
  //check if sensors are connected
  if(!sensor.isConnected(sensor1)){
    error = 1;
  }
  if(!sensor.isConnected(sensor2)){
    error = 1;
  }

  //timers
  noInterrupts(); //disable interrupts
  //timer1
  TCCR1A = 0; //clear register A
  TCCR1B = 0; //clear register B
  TCNT1 = preset1; //load reset time into timer1 register
  TCCR1B |= (1 << CS12); //prescaler
  TCCR1B |= (1 << CS10); //prescaler 1024
  TIMSK1 |= (1 << TOIE1); //overflow interrupt enable

  //timer2
  TCCR2A = 0; //clear register A
  TCCR2B = 0; //clear register B
  TCNT2 = preset2; //load reset time into timer2 register
  TCCR2B |= (1 << CS12); //prescaler
  TCCR2B |= (1 << CS10); //prescaler 1024
  TIMSK2 |= (1 << TOIE2); //overflow interrupt enable

  //switch
  pinMode(switchPin, INPUT);
  attachInterrupt(0, pin_ISR, CHANGE);

  if(digitalRead(switchPin) == HIGH){
    error = 1; //check if door is closed
  }
}

```

```

}

interrupts(); //enable interrupts

//SD config
//start com with sd module
if(!SD.begin(cspin)){
    error = 1;
    return;
}
//check if sensor file exists in SD card
if(!SD.exists("sensor.txt")){
    sensorData = SD.open("sensor.txt", FILE_WRITE); //create file
    sensorData.println("Sensor 1, C, Sensor 2, C"); //create header
    sensorData.close(); //close file
}
//check if switch file exists in SD card
if(!SD.exists("switch.txt")){
    switchData = SD.open("switch.txt", FILE_WRITE); //create file
    switchData.println("Veces abierto, tiempo(s)"); //create header
    switchData.close(); //close file
}
}

//interrupt vector TMR1 (4s)
ISR(TIMER1_OVF_vect){
    TCNT1 = preset1; //load reset value
    sensorTimer++;
}

//interrupt vector TMR2 (15ms)
ISR(TIMER2_OVF_vect){
    TCNT2 = preset2; //load reset value
    tm2Counter++; //increment counter to indicate time en x15ms
}

//interrupt vector switch
void pin_ISR(){
    if(switchState == 0){
        switchState = 1; //flag open
        tm2Counter = 0; //debounce
    }
    if(switchState == 2){
        switchState = 3; //flag close
        tm2Counter = 0; //debounce
    }
}

void saveSensorData(String value){
    sensorData = SD.open("sensor.txt", FILE_WRITE);
    sensorData.println(value);
    sensorData.close();
}

void saveSwitchData(String value){
    switchData = SD.open("switch.txt", FILE_WRITE);
    switchData.println(value);
    switchData.close();
}

```

```

}

void loop() {
  //Boot error
  while(error == 1){
    digitalWrite(errorPin, digitalRead(errorPin)^1); //toggle pin
output
    delay(250);
  }
  digitalWrite(errorPin, HIGH); //it shows that the program is
running

  //sensor block (75 -> 5min)
  if (sensorTimer >= 75){
    sensor.requestTemperatures(); //ask for temperature to sensors
    temp = String(sensor.getTempC(sensor1),4)+"C, "+
      String(sensor.getTempC(sensor2),4)+"C, ";
    saveSensorData(temp);
    sensorTimer = 0;
  }

  //switch block
  if(switchState == 1){
    //debounce delay 255ms
    if(tm2Counter >= 17){
      switchState = 2; //flag time pending
      switchClock1 = millis(); //take time open
    }
  }
  if(switchState == 3){
    if(tm2Counter >=17){
      switchState = 0; //flag finished
      switchClock2 = millis(); //take time closed
      switchTime = (switchClock2 - switchClock1)/1000.000000;
//convert to seconds
      switchCounter++; //add to times opened
      temp = String(switchCounter)+","+String(switchTime,4);
//create string to save data
      saveSwitchData(temp); //save data
    }
  }
}
}

```