

**DISEÑO DE UN CUARTO FRÍO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA PARA LA HACIENDA LA ROCA UBICADA EN EL
CORREGIMIENTO DE GUATEQUE DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA**

ANDRÉS FELIPE ROCA LORA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ**

**DISEÑO DE UN CUARTO FRÍO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA PARA LA HACIENDA LA ROCA UBICADA EN EL
CORREGIMIENTO DE GUATEQUE DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA**

ANDRÉS FELIPE ROCA LORA

**Trabajo de grado en modalidad de solución a un problema de Ingeniería para optar al
título de Ingeniero Mecánico**

DIRECTOR

Ing. HECTOR FABIO MONTAÑO, MSc

CODIRECTOR

Ing. JORGE MARIO MENDOZA FANDIÑO, Ph.D

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2021**

TABLA DE CONTENIDO

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
OBJETIVOS	10
CAPÍTULO 1: MARCO REFERENCIAL	11
1.1. MARCO CONCEPTUAL	11
1.2. MARCO TEÓRICO	12
1.2.1. Refrigeración	12
1.2.2. Sistemas de refrigeración	12
1.2.3. Ciclos de refrigeración	14
1.2.4. Refrigeración por absorción	16
1.2.5. Ciclo de refrigeración por absorción	17
1.2.6. Refrigerante	18
1.2.7. Cámaras frigoríficas	19
1.2.8. Refrigeración domestica	22
1.2.9. Conservación de alimentos.	23
1.2.10. Lácteos y derivados	24
1.2.11. Cálculo del coeficiente de operación (COP) para un ciclo de refrigeración.	26
1.2.12. Energía Solar	28
1.2.13. Sistema de energía solar fotovoltaica.	29
1.2.14. Zona de estudio	34
CAPITULO 2: DISEÑO CONCEPTUAL	37
2.1. Metodología	37
2.2. Estudio de morfología y generación de alternativas.	37
2.3. Evaluación de alternativas	39

CAPITULO 3: DISEÑO DE LA CÁMARA DE REFRIGERACIÓN	42
3.1. Requerimientos de diseño	42
3.1.1. Requerimientos de ley.	42
3.1.2. Requerimientos técnicos de la instalación frigorífica	42
3.1.3. Requerimientos del cliente	43
3.1.4. Dimensionamiento de la cámara de refrigeración	43
3.2. Cálculo de la carga térmica	45
3.2.1. Selección del aislante y espesor de aislamiento para la pared, techo y piso.	45
3.2.2. Flujo de calor a través de las paredes, techo y pisos (Q_r)	47
3.2.3. Carga por cambio de aire (Q_{ca})	49
3.2.4. Carga debido al producto ($Q_{producto}$)	49
3.2.5. Carga por iluminación ($Q_{iluminacion}$)	50
3.2.6. Calor liberado por motores eléctricos (Q_M)	50
3.2.7. Carga por personas ($Q_{personas}$)	51
3.2.8. Capacidad de refrigeración requerida ($Capref$)	51
3.3. Selección del refrigerante.	52
3.3.1. Aplicaciones del amoníaco	53
3.3.2. Características del amoníaco.	53
3.3.3. Componentes.	53
3.4. Ciclo termodinámico de refrigeración	54
3.4.1. Condiciones de condensación y evaporación	54
3.5. Selección de equipos de refrigeración	57
3.5.1. Cálculo de compresor, evaporador y condensador	57
3.5.2. Cálculo de compresor	58
3.5.3. Cálculo condensador	58

3.5.4.	Cálculo del evaporador	60
3.6.	Selección de equipos	62
3.6.1.	Dimensionado de tuberías	62
CAPITULO 4: DISEÑO SISTEMA FOTOVOLTAICO		63
4.1.	Rendimiento global de la instalación.	63
4.2.	Cálculo de equipos	64
4.3.	Cableado	69
4.4.	Comparación calculadora solar y cálculos realizados.	71
CAPITULO 5: EVALUACION DE COSTOS		73
5.1.	Comparación de costos de sistema fotovoltaico.	73
5.2.	Comparación de costos de sistema refrigeración.	75
5.3.	Costos totales	76
5.4.	Retorno sobre la inversión y ahorro por ley 1715 de 2014	76
CONCLUSIONES		78
RECOMENDACIONES		79
BIBLIOGRAFÍA		80
BIBLIOGRAFÍA		80
ANEXOS		85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de refrigeracion. [8].	13
Figura 2. Funcionamiento de una máquina térmica. [3].	13
Figura 3. Diagrama T-S de un ciclo de compresión. Tomado de Cycleplad.	16
Figura 4. Sistema de refrigeracion por absorción [8].	17
Figura 5. Esquema de un refrigerador con congelador superior. [12].	23
Figura 6. Esquema de un módulo solar fotovoltaico. [36].	31
Figura 7. Corregimiento de Guateque, Jurisdicción del municipio de Montería, Córdoba.	34
Figura 8. Gráfico de radiación promedio mes. [43].	36
Figura 9. Estanterias y ubicacion de los productos. Vista superior y frontal. Fuente del autor.	44
Figura 10. Diagrama P-h ciclo de refrigeración por compresión, refrigerante: amoniaco. Fuente del autor. Tomado de Termograf.	55
Figura 11. Grafica para la obtencion del factor de calor de compresion [52].	59
Figura 12. Grafica humedad relativa vs diferencia de temperatura [52].	61
Figura 13. Grafica factor de corrección de capacidad para bajas temperaturas [52].	61
Figura 14. Arreglo de baterías. Fuente del autor.	68
Figura 15. Esquema montaje eléctrico. Fuente del autor.	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características fisicoquímicas de la leche.	25
Tabla 2. Composición de la leche de vaca.....	25
Tabla 3. Estudio morfológico. Fuente del autor.	38
Tabla 4. Alternativas propuestas. Fuente del autor.	39
Tabla 5. Matriz PUGH. Fuente del autor.....	40
Tabla 6. Materiales aislantes empleados en instalaciones frigoríficas. [49]	45
Tabla 7. Conductividad térmica de materiales de construcción.	47
Tabla 8. Corrección de temperatura de la posición de la pared expuesta.....	48
Tabla 9. Coeficientes superficiales de transmisión de calor.....	48
Tabla 10. Transmisión de calor por los diferentes partes de la cámara frigorífica.....	49
Tabla 11. Calor equivalente por persona de acuerdo a la temperatura del enfriador. Fuente: Pita (1991)	51
Tabla 12. Composición del amoníaco R717.....	53
Tabla 13. Selección de la convección forzada en relación a la humedad relativa. Fuente: tabla 11.2. Pita (1991)	54
Tabla 14. Estados del ciclo de refrigeración.....	56
Tabla 15. Factor refrigerante Fr.....	59
Tabla 16. Factor de altitud.....	59
Tabla 17. Estimación del consumo eléctrico de los equipos. Fuente del autor.	63
Tabla 18. Comparación entre cálculos manuales y Calculationsolar. Fuente del autor.	72
Tabla 19. Comparación de cotizaciones de empresas en el mercado nacional e internacional. Fuente del autor.	74
Tabla 20. Cotizaciones del sistema de refrigeración con proveedores nacionales. Fuente del autor.	75
Tabla 21. Costos totales. Fuente del autor.....	76

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La red eléctrica colombiana se caracteriza por ser una sola infraestructura, la cual es utilizada para la generación, transporte y distribución de la energía eléctrica a hogares industrias y comercios. En pleno siglo XXI se puede afirmar que existen zonas no interconectadas (ZNI) a dicho sistema, las cuales se caracterizan por encontrarse en sitios geográficos que no acoplados eléctricamente al sistema interconectado nacional (SIN) [1]. Según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Superservicios) en 2018 las ZNI representaban aproximadamente el 51% del territorio nacional entre los que se encuentran afectados: 70 municipios, 36 cabeceras municipales, 1697 localidades y una capacidad operativa de 241MW [1].

En la costa atlántica, a unos 15 km del municipio de Montería en su zona rural, se encuentra el corregimiento Guateque. Actualmente la red eléctrica no llega a este lugar puesto que presenta una carencia de flujo eléctrico constante, esto impide a los pobladores conservar sus productos agrícolas porque no pueden usar sistemas de refrigeración correctamente [2]. Es conocimiento del autor de este documento que por parte de la acción comunal de este corregimiento se han venido radicando peticiones para la instalación de las redes eléctricas, pero ha sido infructuosas dichas peticiones. Los propietarios de fincas y terrenos rurales compran plantas eléctricas que se alimentan con combustibles fósiles para poder satisfacer algunas necesidades energéticas, contribuyendo así a las emisiones de CO₂ que hacen parte de los gases causantes del efecto invernadero.

Guateque, el corregimiento al cual se está enfocando este proyecto se considerada atrasado desde el punto de vista económico. Las condiciones de vida de los habitantes de esta zona se ven limitadas debido a los desplazamientos que realizan a la ciudad de Montería para adquirir los productos y tener que consumirlos en el menor tiempo posible porque no existe un sistema de refrigeración que garantice la preservación de los productos en una cadena de frío óptima. Algunos de ellos usan neveras portátiles para preservar o mantener los productos que necesitan refrigeración en condiciones que garanticen su consumo, pero estas a mediano plazo generan problemas de higiene y otras condiciones que afectan las propiedades intrínsecas de los alimentos [3].

La dinámica comercial en el departamento gira alrededor de la ganadería principalmente la producción de cárnicos y lácteos [4]. En esta zona del país la agricultura y ganadería son la fuente ingreso más importante, centrandose su economía en la producción de productos avícolas, bovinos y porcinos. Según el ministerio de agricultura (Min agricultura) Córdoba es un departamento rico en el cultivo de maíz tecnificado y tradicional, plátano, yuca, arroz seco manual, ñame, arroz mecanizado, algodón, palma de aceite, coco y otros cultivos menos, dando un área total de cultivo de 199.286 Hectáreas sembradas en el departamento, Min agricultura registra que el producto más cultivado en Córdoba es el maíz tecnificado y tradicional presentando un área cultivada entre ellos de 69.554 Hectáreas [5].

La Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegan) en colaboración con la Federación Ganadera de Córdoba (Ganacor) aseveran que el departamento de Córdoba es de vocación ganadera, con orientación a la producción centrada en la cría en un 56% del hato y el 44% dividido en el ganado doble propósito y de ceba. Por parte de estos organismos registran que el inventario de bovinos del departamento es el segundo con mayor lugar en el país, donde se registran dos millones de bovinos, distribuidos en 26427 predios, los cuales ocupan un área de 1'728.645 hectáreas, mostrando una capacidad de 1,16 cabezas/Ha [6].

En las ZNI del departamento como Guateque se ven afectadas la transformación y producción de derivados lácteos, la cual es escasa, por esta razón se deja de crear valor agregado puesto que no se preservan los derivados comercializables de la leche y esta se vende directamente, dejando perder oportunidades económicas con la transformación de la misma. ¿Es posible utilizar un cuarto frío alimentado por energía solar fotovoltaica en el corregimiento de Guateque departamento de Córdoba?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un cuarto frío alimentado por energía fotovoltaica para la hacienda la Roca ubicada en el corregimiento de Guateque, Córdoba.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica sobre los sistemas de refrigeración y sistemas de energía solar fotovoltaica para la elección de alternativas.
- Realizar cálculos ingenieriles del diseño del cuarto frío para establecer el consumo requerido.
- Calcular el sistema de energía solar fotovoltaica que permita alimentar el cuarto frío.
- Realizar un análisis de costos entre el diseño final comparado con productos en el mercado.

CAPÍTULO 1: MARCO REFERENCIAL

1.1. MARCO CONCEPTUAL

Refrigeración.

Es el proceso mediante el cual se reduce la temperatura de un espacio determinado manteniéndola por debajo a la del área circundante mediante la transferencia de calor [7].

Equipo de refrigeración.

La reducción de temperatura de un cuerpo mediante el uso de sistemas mecánicos está basada en las leyes físicas que regulan la evaporación y la condensación de un fluido. Los componentes principales de un equipo de refrigeración son: Compresor, condensador, válvula de expansión termostática, evaporador, dispositivos de control y de seguridad y tablero eléctrico de alimentación de la fuerza motriz [8].

Ciclo de refrigeración.

Es un proceso térmico reversible donde se presenta una variación de temperatura y existe la intervención de un fluido, refrigerante, el cual sufre transformaciones termodinámicas controladas, representado en un diagrama P-V [8]. Ver figura 1

Sistema fotovoltaico.

Es un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos los cuales producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. Se componen principalmente de módulos fotovoltaicos, esto a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua [7].

Radiación.

La radiación es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas, la cual se produce directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones. Todas las formas de radiación son producidas por cargas aceleradas [8].

1.2. MARCO TEÓRICO

Con el fin de plantear una solución a la problemática planteada se revisará literatura y fuentes de carácter científico, esto con el fin de conocer bases teóricas relacionadas al diseño de los procesos térmicos y eléctricos que se implementaran en el diseño del cuarto.

1.2.1. Refrigeración

Reseña histórica de la refrigeración

Las evidencias históricas apuntan a que la civilización china empezó a almacenar hielo y nieve para enfriar vino y otros alimentos, se han encontrado pruebas que datan de la construcción de sótanos en los cuales se almacenaban el hielo, esta práctica data del 1000 a.C. Para los siglos XVIII y XIX se realizaban cortes de hielo sacado de los lagos y estanques. Esto se realizaba durante las épocas de invierno, en las zonas septentrionales el hielo se almacenaba bajo tierra para que pudiese ser utilizado en los meses más caluroso [9].

Sadi Carnot desarrollo el ciclo termodinámico ideal después de la revolución industrial en el año 1834, años después el científico estadounidense Jacob Pekinés diseño un sistema de refrigeración cerrado, el cual utilizaba un método de expansión y compresión de un fluido para producir un efecto de enfriamiento; haciendo uso de éter como refrigerante, un compresor operado a mano, un condensador enfriado por agua y un evaporador para conseguir enfriar los líquidos a utilizar [9]

1.2.2. Sistemas de refrigeración

La refrigeración *“es un proceso de extracción de calor que se basa en disminuir y mantener una baja temperatura en procesos productivos, en espacios o incluso en materiales con respecto a la temperatura del ambiente a su alrededor”* [8].

El proceso de la refrigeración está basado en los principios las dos primeras leyes de la termodinámica. Donde la primera establece que: *“la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”* [10]. En la segunda ley de la termodinámica fundamental para el diseño en un proceso de refrigeración, establece que: *“Todo el trabajo mecánico puede transformarse en calor, pero no todo el calor puede transformarse en trabajo mecánico”* [10].

Los equipos encargados de realizar la labor de refrigeración se conocen como máquinas térmicas, las cuales es un sistema que cede trabajo al medio intercambiando calor a través de

sus fronteras de un modo cíclico, este intercambio de calor se da mediante dos focos caloríficos, uno caliente y otro frío [8]. En la figura 1 se denota un esquema de un sistema de refrigeración.

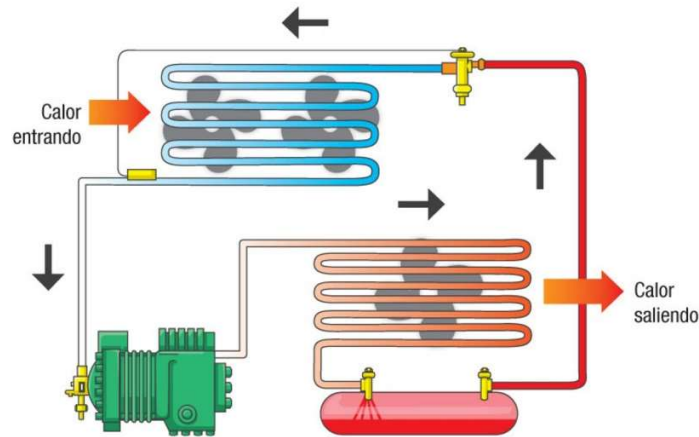


Figura 1. Sistema de refrigeración. [8].

Una máquina frigorífica funciona de forma contraria a una máquina térmica ya que al recibir trabajo del ambiente toma calor del foco frío y se lo cede al foco caliente, pero esto no quiere decir que la máquina térmica y la frigorífica puedan funcionar entre varios focos, en la figura 2 se denota el funcionamiento de una máquina térmica y una máquina frigorífica respectivamente [10].

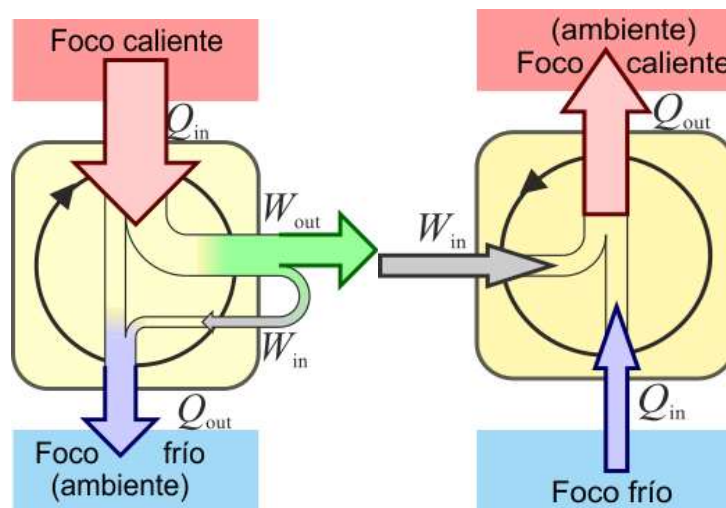


Figura 2. Funcionamiento de una máquina térmica. [3]

Basados en estos modelos de máquinas térmicas y frigoríficas se empieza a hablar de los sistemas de refrigeración, los cuales se convirtieron en la forma de aplicación de estas teorías. Estos sistemas se dividen en dos tipos, compresión y absorción.

La refrigeración por compresión mueve la energía térmica entre dos focos, generando regiones con presiones altas y bajas confinadas en el evaporador, mientras sucede un intercambio de energía, el refrigerante se encuentra en un constante proceso de cambio de líquido a vapor y viceversa [7].

Otra forma de refrigeración estudiada en la refrigeración es mediante absorción esta se basa en un proceso mediante el cual para la producción de frío se aprovechan las propiedades de ciertas sustancias que tienen la capacidad de absorber el calor al pasar de estado líquido a gaseoso [8].

Estos sistemas se encuentran inmersos en la industria, debido a la diversificación de sus funciones, se encuentra presente en sectores como: el sector de la medicina, la alimentación y la construcción, de igual forma se presenta en la remoción de calor procesos químicos, en la industria petroquímica para el licuado de gases de procesos, separación de gases por destilación y condensación, la purificación de productos mediante la congelación de separación selectiva de componentes de una mezcla líquida [8] [7].

Con lo visto anteriormente la refrigeración comprende muchos ámbitos de la vida cotidiana, hace parte fundamental de los procesos productivos de alimentos siendo esta parte uno de los pilares de esta industria. Por consiguiente, se estudiarán a fondo los ciclos posibles a utilizar para la refrigeración en cualquiera de sus ámbitos de funcionalidad.

1.2.3. Ciclos de refrigeración

Los ciclos de refrigeración se encuentran divididos en cuatro procesos principales *dos procesos isotérmicos y dos adiabáticos*. Los principales ciclos de refrigeración son: Ciclo de refrigeración inverso de Carnot, ciclo de refrigeración por compresión de vapor y ciclo de refrigeración por absorción, los cuales se presentan a continuación:

Refrigeración por compresión

La refrigeración por compresión es una de las más utilizadas a nivel doméstico y a baja escala industrial, su funcionamiento se puede describir en cuatro operaciones las cuales son: Evaporación, compresión, condensación y expansión. Los sistemas de refrigeración por compresión de vapor son comúnmente utilizados en una variedad de aplicaciones comerciales e industriales debido a su alta capacidad de refrigeración a baja temperatura, pero para la ejecución de estos sistemas, es necesario energía de alto grado [11].

Conociendo las aplicaciones para este sistema de refrigeración, detallaremos cada uno de sus componentes:

- *Compresor: Trabaja comprimiendo el refrigerante desde la temperatura de evaporación a la temperatura de condensación.*
- *Condensador: Es un dispositivo que se utiliza para condensar una sustancia a partir de su estado gaseoso a su estado líquido, típicamente enfriándolo, este es un tipo de intercambiador de calor utilizado para emitir el calor al medio de refrigeración.*
- *Evaporador: Es el encargado de retirar el calor del medio a refrigerar.*
- *Dispositivos de expansión: Su función es expandir el refrigerante desde la presión de condensación a la presión de evaporación con etapas.*

El funcionamiento de este sistema de refrigeración se basa en la compresión de un gas hasta licuarlo, esto con el fin de eliminar el calor que se produce al medio haciendo uso de un radiador, seguidamente a esto, el líquido obtenido se evapora en una cámara la cual se busca que sea aislada del ambiente, con lo que se obtiene el frío en dicha cámara [11].

Ciclo de refrigeración por compresión

Es el ciclo de refrigeración más utilizado en lo que respecta a producción de frío, siendo el más próximo al ciclo de Carnot, el cual presenta el mayor rendimiento teórico. Su mayor inconveniente se encuentra en el uso de líquido refrigerante debido a que su uso afecta la capa de ozono.

Los ciclos de refrigeración por compresión como anteriormente se discutió, consisten en *procesos térmicos de evaporación, compresión, condensación y expansión*. Sus aplicaciones se centran en satisfacer las diversas cargas de refrigeración a diferentes temperaturas bajas. Cuando existe una baja temperatura por defecto no hay un aumento en la relación de presión y compresión del ciclo por compresión [12].

Este ciclo tiene un comportamiento representado en el diagrama T-S de la siguiente forma: de 1-2 existe un proceso de compresión isotrópica en un compresor 2-3 se rechaza el calor a presión constante en un condensador 3-4 estrangulamientos en un dispositivo de expansión y 4-1 absorción de calor a presión constante en un evaporador [12]. En la siguiente figura 3 se detalla un diagrama T-S del proceso descrito anteriormente.

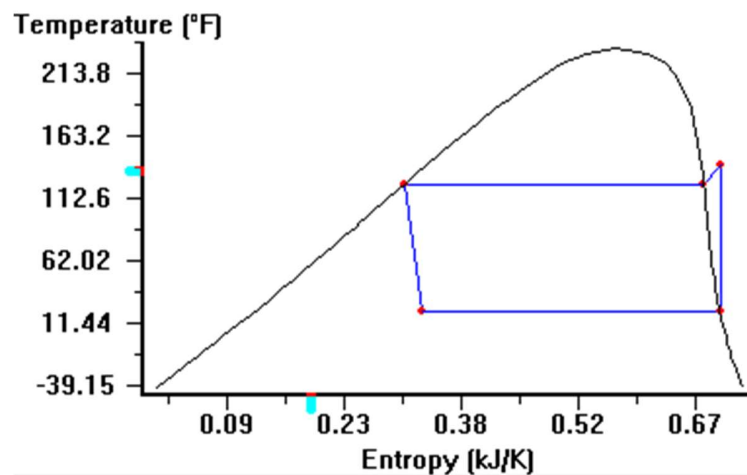


Figura 3. Diagrama T-S de un ciclo de compresión. Tomado de Cycleplad.

1.2.4. Refrigeración por absorción

En un sistema que implica *la absorción de una sustancia refrigerante por medio de transporte, donde el sistema de refrigeración más utilizado es el sistema amoníaco-agua*. La refrigeración por absorción es exitosa cuando se puede utilizar calor residual de procesos industriales. El sistema de absorción mediante amoníaco-agua se utiliza comúnmente para aplicaciones de congelación con temperaturas las cuales son inferiores a los 0°C, pero cuando se quiere obtener una temperatura inferior a los -30°C, el rendimiento tiene gran disminución [13].

Otro sistema aparte del amoníaco-agua existe también el agua bromuro de litio, en el cual el agua pasa a ser el refrigerante. El proceso funciona como un ciclo de refrigeración por

compresión mecánica de vapor, donde en el evaporador produce el efecto frigorífico mediante la evaporación del refrigerante (en este caso agua) a baja temperatura y baja presión, gracias al calor transferido desde el medio a enfriar, en el mismo proceso, el vapor de agua generado accede al absorbedor por una solución acuosa concentrada o rica en LiBr, este procedente del generador [14]. En la figura 4 se muestra el esquema de un sistema de refrigeración por absorción.

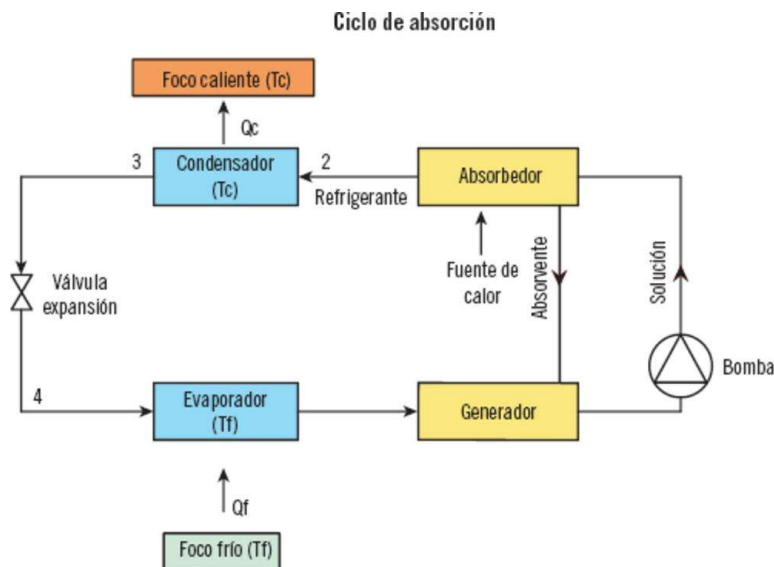


Figura 4. Sistema de refrigeración por absorción [8].

1.2.5. Ciclo de refrigeración por absorción

Este es un ciclo el cual depende del tipo de líquido refrigerante con el cual se va a trabajar. Entre los más comunes se encuentra el amoníaco-agua y bromuro de litio agua, como se definió anteriormente es un proceso por el cual el efecto de la refrigeración es producido con el uso de dos líquidos y una cierta cantidad de entrada de calor. Su principal ventaja se deriva en el uso de líquido y no una sustancia gaseosa, esta es bombeada desde una región de presión baja hasta la de presión elevada, con la consecuencia de un trabajo menor [8].

Los procesos que constituyen este ciclo son: “la condensación realizada por un condensador, la evaporación generada por el evaporar y la expansión efectuada por la válvula de expansión, en este a diferencia del ciclo de compresión se reemplaza el compresor por el absorbedor y el generador, estos componentes tienen la misión de presurizar el fluido refrigerante” [13].

El principio de funcionamiento es semejante al de un ciclo por compresión: El refrigerante absorbe calor al evaporarse y se condensa para que se reinicie el ciclo, este se diferencia en el cambio de un compresor en el cierre del ciclo, ya que este ciclo se realiza mediante la absorción del refrigerante por un medio de transporte y posterior separación de la disolución por medio del calor para recomenzar el ciclo.

Los ciclos por absorción más frecuentes son:

- *Amoniaco-agua: donde el amoniacó (NH_3) sirve como refrigerante y el agua (H_2O) es el absorbente.*
- *Agua-bromuro de litio, en este caso el agua (H_2O) sirve como refrigerante y el bromuro de litio ($LiBr$) como absorbente, siendo este el sistema de mejor rendimiento, aunque presenta inconveniente para funcionar a menos de $0^\circ C$, siendo esta la temperatura de congelación del agua, lo que no objeta su uso en espacios habitados [15].*

Habiendo conocido los diferentes métodos utilizados para la refrigeración y sus aplicaciones, centraremos la atención en la situación problema de este proyecto, la refrigeración para la pequeña y mediana seca, centrada en la parte hogar y empresas rurales pequeñas para ampliar la comercialización de sus productos [15].

1.2.6. Refrigerante

Un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúe como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia. Los refrigerantes son los fluidos vitales en cualquier sistema de refrigeración mecánica. Cualquier sustancia que cambie de líquido a vapor y viceversa, puede funcionar como refrigerante, también depende del rango de presiones y temperaturas a que haga estos cambios, va a tener una aplicación útil comercial [16]. Los refrigerantes se pueden clasificar como:

Refrigerante Natura: Son sustancias químicas producidas por procesos bioquímicos de la naturaleza. No agotan la capa de ozono y su impacto al cambio climático es igual o casi cero. La eficiencia de los refrigerantes naturales también permite que tengan una contribución indirecta más baja al calentamiento global en esta clasificación se encuentran los refrigerantes inorgánicos como el agua y amoniacó [16].

Refrigerante sintético: Los refrigerantes sintéticos a diferencia de los naturales están constituidos por componentes químicos orgánicos como hidrocarburos y sus derivados, estos son perjudiciales para la capa de ozono como los hidroclorofluorocarbonados, los hidrocarburos (alcanos y alquenos), mezclas, azeotrópicas o no azeotrópicas [17].

De igual forma los refrigerantes se pueden clasificar por:

- Grado de seguridad: Grupo 1: no son combustibles ni tóxicos; grupo 2: tóxicos, corrosivos o explosivos a concentraciones mayores a 3.5% en volumen mezclados con el aire; grupo 3: tóxicos, corrosivos o explosivos a concentraciones menores o iguales a 3,5% en volumen. Estos refrigerantes son muy inflamables y explosivos. A causa de su bajo costo se utilizan donde el peligro está siempre presente y su uso no agrega otro peligro.
- Presiones de trabajo: Baja, media, alta y muy alta.
- Función: Primario: si es el agente transmisor en el sistema frigorífico, y por lo tanto realiza un intercambio térmico principalmente en forma de calor latente; secundario: realiza un papel de intercambio térmico intermedio entre el refrigerante primario y el medio exterior. Realiza el intercambio principalmente en forma de calor sensible [17].

1.2.7. Cámaras frigoríficas

Para el almacenamiento de los productos agrícolas se requiere un espacio pertinente para ubicar los distintos productos los cuales serán preservados a temperaturas menos que el medio donde se encuentra, para esto se debe tener en cuenta parámetros de construcción y adecuación tales como parámetros como paredes, suelo, puertas, iluminación, cortinas frigoríficas entre otros, además se debe tener una zona respectiva para la instalación de los correspondientes equipos para realizar el proceso de refrigeración. Se ampliará la necesidad de los parámetros a continuación.

Paredes: Estos pueden ser fabricados con paneles que presentan dos láminas de acero, con un núcleo aislante de poliestireno de alta densidad. Estas lamidas son sostenidas por construcciones de bloques o ladrillo [18].

Suelo: Este debe ser aislado térmicamente para evitar la transferencia de calor con el medio debajo de él, en la instalación su funcionamiento presenta algunos inconvenientes respecto al subsuelo de la cama siendo que se congele al mismo, de haber producción de escarcha en el suelo se podría ocasionar un deterioro de las paredes por levantamiento de las mismas. Para evitar este riesgo de congelación, se suele crear un vacío sanitario o cámara de aire, la otra forma es el calentamiento del suelo a través de distintos medios [18].

Otros autores presentan la construcción o adecuación del suelo utilizando un revestimiento de hormigón pobre con una pendiente de dos centímetros por cada metro de cámara, sobre esta placa de hormigón se debe aplicar una pantalla de anti vapor la cual es construida por dos capas de brea de petróleo, se continúa colocando aislante en distintas capas uniendo los paneles entre sí y procurado que las juntas de una capa queden tapadas por la siguiente. De igual forma para este último proceso se puede usar un aislamiento de poliestireno para realizar el pavimento junto con el hormigón armado, puede ser opcional la terminación del suelo con el uso de baldosas [19].

La instalación de un sifón de desagüe debe ser obligatoria para asegurar la evasión de agua de limpieza y deshielo en caso de utilización a temperaturas menores a las 0°C.

Puertas: La puerta se construye en una sola lamina corroída y presenta características de aislamiento térmica idénticas al resto de las paredes con sus respectivos perfiles anclajes y sello que permitan una mínima circulación de aire [19].

Iluminación: La literatura recomienda el uso de tubos fluorescentes por encima del uso de la iluminación LED [19]. Se hace la recomendación debido a que estos tubos fluorescentes presentan un alto rendimiento a temperaturas de -20°C y por su baja transferencia de calor al medio.

Cortinas frigoríficas: Se utilizan para disminuir la circulación de aire durante la apertura de puertas, de esta manera se evita el ingreso de insectos o partículas en suspensión [19].

Estructura de la cámara frigorífica

Para la conservación de alimentos y otros perecederos es necesario que los sistemas de refrigeración vayan de la mano con estructuras las cuales cumplan con las necesidades de

aislamiento y hermeticidad para la buena conserva de los alimentos. Para la construcción de una cámara frigorífica se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Paredes y techo: Dependiendo el uso y las condiciones donde se encontrar funcionando la cámara frigorífica esta puede componerse en mampostería en ladrillo recubiertas en su interior por un aislante, de igual forma también existen las paredes en paneles constituidos por láminas de acero, cuyo núcleo aislante está conformado por polietileno de alta densidad.
- Suelo: En el caso del suelo de la cámara, está construido por una placa en concreto y se utilizan aislantes para prevenir la transferencia de calor existente en el medio, previniendo la congelación del mismo, evitando problemas de escarcha en la superficie la cual puede deteriorar el mismo.
- Puerta: Esta constituida por una sola lamina tipo corredera presentado características como las de aislación térmica, similares al resto de las paredes como sus respectivos perfiles de anclaje y sellos cuyo objetivo es permitir una mínima circulación de aire.
- Cortinas Frigoríficas: Son colocadas para disminuir en gran parte la circulación de aire durante la apertura de la puerta, evitando también el ingreso de particular [20].

Otra opción para las estructuras que componen las cámaras frigoríficas son las carpas de montaje rápido, las cuales son estructuras metálicas en las cuales se sitúa una tela en PVC la cual es hermética y permite la instalación y funcionamiento de los sistemas de refrigeración externa a estas, permiten guardar grandes cantidades de alimentos pero no son capaces de manejar temperaturas bajas, son uso está centrado en la conserva y no en la refrigeración o congelación de los alimentos [20].

Ubicación de Equipos.

Anteriormente se habló de los componentes que intervienen en la construcción de la cámara frigorífica, de igual forma se debe definir la ubicación y los correspondientes funcionamientos de los componentes que hacen parte del sistema de refrigeración. La literatura registra el uso de compresores y evaporadores en primera instancia, también tiene en cuenta la colocación de tuberías, accesorios u otros elementos que componen esta instalación, se tienen en cuenta para algunos componentes los siguientes términos en la instalación [21]:

Compresor: debe ser instalado en un en un espacio sin humedad y bien aireado, no debe colocarse un compresor con condensador de agua en un lugar en el que la temperatura pueda descender en por debajo de 0°C en cambio sí se instala un compresor con un condensador por aire debe existir entre el condensador y la pared una distancia de 20 a 25cm, de igual forma se debe instalar a una altura considerable del suelo para evitar ataques de humedad y facilitar las tareas de limpiezas [21].

Evaporador: Algunos autores sugieren el uso de evaporadores murales los cuales se suspenden mediante pernos, pero tampoco aborrecen el uso de evaporadores de techo los cuales están sostenidos por soportes solidarios a una estructura y previstos previamente para que se queden en voladizo en el aislamiento. Requiere una instalación minuciosa esto procurando que no exista la posibilidad de pérdidas por conducción debido a la instalación en soportes fileteados evitando que estos sobresalgan al exterior de la cámara, las tuercas inferiores de la estructura donde reposara este equipo deben ser recubiertas con cemento [22].

Tuberías: En su instalación se debe instalar teniendo en cuenta una ligera inclinación hacia el compresor, fijándose a las paredes con ayuda de collares tipo atlas distantes unas con otras aproximadamente la distancia debe ser de 1 metro [22].

Accesorios: Los solenoides y contactores deben montarse en una plancha pintada fijada a la pared ligeramente separada de la misma. Debe de igual forma fijarse el termostato y el presostato sólidamente para que no sean influenciados por posibles vibraciones, de igual forma debe preservarse de las mismas al filtro y al deshidratador para evitar (además del ruido) posibles roturas [19].

1.2.8. Refrigeración domestica

Los refrigeradores de uso doméstico son artefactos indispensables en los hogares, a nivel mundial se producen más de 80 millones de unidades. Estos equipos aportan en gran medida el consumo de energía eléctrica [11]. Los refrigeradores típicos consumen 1kWh/día de energía eléctrica, siendo su consumo unitario relativamente bajo, sin embargo, esta es una de las partes no industriales donde el porcentaje anual de consumo se extiende hasta un 24% [12]. Considerando la eficiencia de un refrigerador, la cual es intrínsecamente baja, ya que esta llega al 15%, debido a las pérdidas energéticas irreversibles ocasionadas por la mayor

parte de los componentes del sistema como el condensador, el evaporador, tubo capilar y en especial el compresor que es el elemento que mayor consumo de energía presenta la cual llega a un 80% del consumo total del sistema [12]. En la figura 5 se puede ver un esquema de un refrigerador con congelador superior.

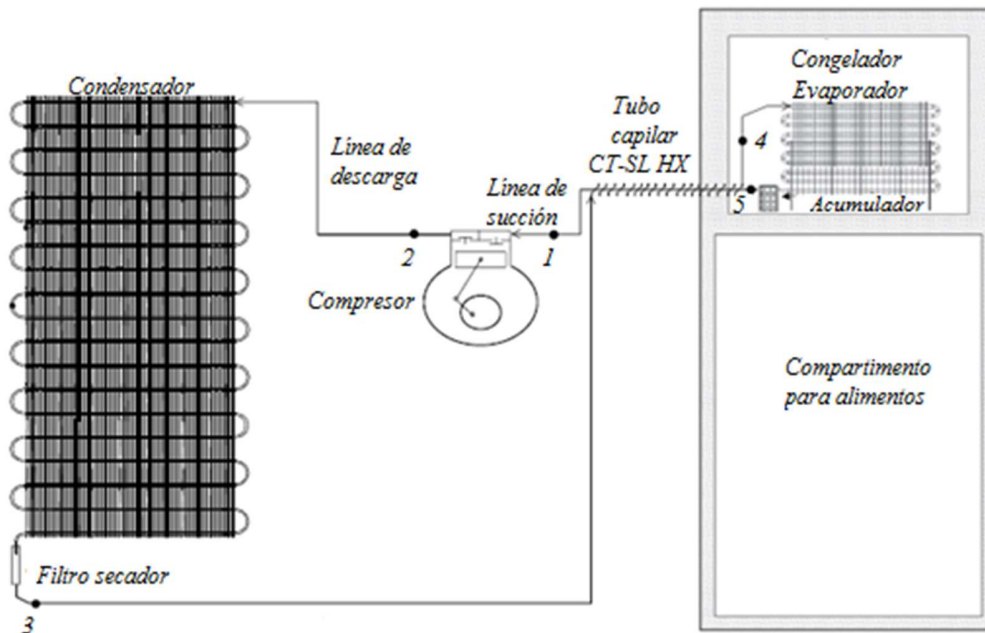


Figura 5. Esquema de un refrigerador con congelador superior. [12]

1.2.9. Conservación de alimentos.

Temperatura

La temperatura es una de las partes que más influencia y afecta el tiempo de conservación a los productos, de igual forma los cambios a temperaturas más bajas tienen un mayor efecto en la conserva de estos alimentos.

En las cámaras frigoríficas la variación de la temperatura puede evitarse si se encuentra aislada en condiciones óptimas, si la potencia frigorífica instalada es correcta y si la diferencia de temperatura entre el fluido refrigerante en el evaporador y el aire de la cámara es mínima. Se recomienda para evitar la congelación de frutas y hortalizas una temperatura no inferior a -1°C [23].

Circulación del aire.

El enfriamiento de los productos vegetales en una cámara frigorífica se produce por el intercambio de calor que trae el producto del campo, el calor de respiración y del que pueda entrar en la cámara por cualquier vía, a una corriente de aire frío.

Dado que el aire es el medio para eliminar el calor, su circulación debe establecerse de forma que no existan dificultades para pasar a través de la carga. El flujo de aire va a depender fundamentalmente de la forma en que se haga y se diseñe las estanterías y el embalaje de los productos. Autores recomiendan un coeficiente de recirculación de aire del orden de $30\text{m}^3/\text{h}$ por m^3 cámara vacía [24].

Renovación del aire.

Este proceso consiste en reemplazar la atmosfera de la cámara de conservación, enriquecida en CO_2 y productos volátiles emitidos por frutas y hortalizas, por el aire limpio procedente del exterior. El aire que va a entrar en el sistema debe ser pasado por un filtro para evitar la introducción de insectos, polvo, arena, entre otros agentes. La renovación de aire se lleva a cabo cuando la atmosfera exterior está en calma, la temperatura es la más baja posible (durante la noche) y preferiblemente no tener presencia de lluvia y sin vientos.

El aire filtrado debe ser impulsado mediante ventiladores hacia el frigorífero, para que pueda ser circulado en este y pueda empezar a enfriarse. Para la literatura el tiempo estimado de funcionamiento de los ventiladores debe ser tal que el volumen de aire limpio introducido en la cámara frigorífica sea igual a 8 o 10 veces el volumen local, de lo contrario la eliminación del CO_2 y de los productos volátiles puede ser incompleta [25].

En contraste con algunas frutas como lo cítricos, sensibles a la acción de CO_2 , la renovación de aire es imprescindible y se aconseja una tasa de renovación de 4 a 6 como mínimo por 24 horas o una evacuación del CO_2 y productos volátiles mediante la introducción de aire limpio en régimen continuo [26] [27].

1.2.10. Lácteos y derivados

La producción de lácteos es considerada la tercera actividad más importante dentro de la industria alimenticia [28]. La leche se describe como el alimento perfecto de la naturaleza y es la única fuente de alimento de los lactantes recién nacidos y en muchos países hace parte

del principal aporte alimenticio en la dieta de los niños, su importancia se genera en su contenido de proteínas y calcio, las cuales son de fácil digestión y su existencia es universal [25].

Los lácteos y sus derivados se caracterizan principalmente por su color y su viscosidad, ya que a partir de estas el consumidor puede evaluar si acepta o rechaza el producto. Otras características fundamentales de alta consideración son: el peso específico, la temperatura de congelamiento y la densidad la cual es crucial para los procesos térmicos como pasteurización, los tratamientos físicos como homogenización y transporte, a los que se somete la leche. En la tabla 1 se presentan las características físicas y fisicoquímicas de la leche [29].

Tabla 1. Características fisicoquímicas de la leche.

Característica	Valor
Densidad	1.030 a 1.034 g/ml
Calor específico	0.93 Calorías/Kg°C
Punto de congelación	-0.55°C
pH	6.5 a 6.6
Acidez °D (Dornic)	16 a 18
Índice de refracción a 20°C	1.35

Fuente: Páez, Salas, Spaldilero y Verde. 2002

La composición media de la leche se detalla en la siguiente tabla. Ver tabla 2.

Tabla 2. Composición de la leche de vaca.

Componente	Porcentaje medio
Agua	86.6
Grasa	4.1
Proteína	3.6
Lactosa	5.0
Ceniza	0.7

Fuente: Páez, Salas, Spaldilero y Verde. 2002.

El queso, el derivado más conocido y apetecido por la sociedad se define como un producto fermentado o no, obtenido por coagulación de la leche en forma de gel más o menos deshidratado, que retiene casi toda la materia grasa [29]. Según la secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México para una preservación óptima el queso debe almacenarse en condiciones de refrigeración entre los 4 a 6 °C esto debido a

que la regulación de la temperatura influye en la aglomeración de bacterias en el producto [28].

Para la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición la leche destinada a la producción de queso, debe estar refrigerada por tiempos no mayores a 16 horas a temperaturas entre los 2°C a 10°C para mantenerla en un punto óptimo [24]. La norma técnica colombiana contempla en el decreto 616 de 2006 que la leche y sus derivados deben estar entre los 4°C± 2°C para su correcta conservación [24].

1.2.11. Cálculo del coeficiente de operación (COP) para un ciclo de refrigeración.

El coeficiente de operación permite definir la eficiencia a la cual se comporta un sistema de refrigeración, es aplicable para ciclos ideales y reales [30]. Para efectos de diseño se debe realizar los cálculos del comportamiento termodinámica del sistema de refrigeración y determinar el punto de operación óptimo del sistema, de estar forma se debe evaluar cada componente y realizar un análisis energético para hacer un mejor uso de la energía [30].

Carga térmica

La carga térmica Q_0 , es el calor retirado del evaporador al agua que circula a través de este y se expresa de la siguiente manera:

$$Q_0 = m * C_p * \Delta T \quad (1)$$

Donde m es el flujo de agua que circula a través del evaporador, C_p es el calor específico del agua y el ΔT es la diferencia de temperatura del agua al retirarle la carga térmica [31].

Proceso de evaporación.

Se denomina efecto refrigerante al calor que absorbe el refrigerante por unidad de masa y se expresa como:

$$q_o = h_{se} - h_{ee} \quad (2)$$

Donde q_o es el efecto refrigerante, h_{se} es la entalpia a la salida del evaporador, h_{ee} es la entalpia a la entrada del evaporador [31]. EL flujo de refrigerante que circula en el evaporador para una carga térmica dada, la cual se expresa como:

$$\dot{m}_r = \frac{Q_0}{q_0} \quad (3)$$

Proceso de compresión.

La compresión del refrigerante va desde la presión de evaporación hasta la presión de condensación. El trabajo de compresión es:

$$w_c = h_{sc} - h_{ec} \quad (4)$$

Donde h_{sc} es la entalpia en la salida del compresor y el h_{ec} es la entalpia a la entrada del compresor [31]. La potencia del compresor es calcula mediante la expresión:

$$\dot{w}_c = h_{scd} - h_{ecd} \quad (5)$$

Proceso de condensación

El calor disipado en el proceso de condensación es el siguiente:

$$Q_{cond} = h_{scd} - h_{ecd} \quad (6)$$

Donde h_{scd} es la entalpia a la salida del condensador, h_{ecd} es la entalpia a la entrada del condensador [31].

Proceso de expansión

Algunos refrigerantes como el R-134^a se expanden desde la presión de condensación hasta la presión de evaporación. El proceso de expansión se realiza a entalpia constante [30].

Coefficiente de operación

El coeficiente de operación de Carnot es:

$$COP_{carnot} = \frac{T_R}{T_O - T_R} \quad (7)$$

Donde T_R es la temperatura promedio del espacio a enfriar, T_O es la temperatura ambiente [30]. Para la obtención del coeficiente de operación real la expresión a utilizar es:

$$COP_{REAL} = \frac{q_o}{w_c} \quad (8)$$

1.2.12. Energía Solar

La energía solar es un recurso energético constituido básicamente por la parte de radiación que emite el sol y la cual es interceptada por la tierra. Esta energía se puede clasificar en tres tipos según su utilización, las cuales son: a) directa, consiste en el aprovechamiento directo de la radiación solar por ejemplo se encuentra el secado en procesos de producción con tecnologías simple; b) térmica, es cuando su aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio y c) la fotovoltaica (FV), es cuando se aprovecha la energía solar, convirtiendo en la energía eléctrica utilizando por medio de células fotoeléctricas, sin tener un efecto térmico [32].

La energía solar en los últimos años ha venido en un alza a nivel mundial, esto debido a que en esta encuentra una forma de energía renovable, económica y sustentable, donde en muchos casos las instalaciones se utilizan para cogeneración y en otros para ser autónomos de los sistemas interconectados nacionales. En este proyecto debido a las condiciones ambientales y meteorológicas del sitio objeto de estudio, se decidió hacer uso de esta tecnología para poder generar energía autónoma a la población a la cual va dirigido.

Breve reseña histórica del uso de la energía solar fotovoltaica

Buscar antes de. A finales del siglo XX se vio un crecimiento en la incorporación de las tecnologías fotovoltaicas en diferentes aplicaciones [32], dando paso al desarrollo de plantas demostrativas y llegando a ser una implementada por el apoyo de entidades gubernamentales, lo cual han permitido la madurez de estos sistemas [33].

En los últimos 20 años, países europeos como Alemania, Italia y España han logrado desarrollar una economía de escala en el sector, esto debido a que en zonas con excelentes niveles de radiación solar se llegado a la denominada “paridad con la red” [33], esta es un punto de inflexión en donde el costo de la energía de origen fotovoltaico está siendo igual al valor de la energía eléctrica convencional.

En relación con el territorio colombiano cuenta con un recurso solar promedio uniforme durante el año para todo el país del orden de 4.5kWh/m^2 [34] , estos datos son favorables para generar y suplir necesidades energéticas por medio de sistemas solares fotovoltaicos

(FV). Para el año 2005 en Colombia existían aproximadamente 145 sistemas fotovoltaicos, cuya capacidad instalada era de 208,06 kW, para los años 2014 y 2015 hubo un incremento en la capacidad instalada llegando a ser para cada año de 11,6 GW y 12 GW respectivamente, aun así, se demuestra que la generación eléctrica del país a partir de fuentes renovables como la FV es muy baja frente a países como Estados Unidos, España, Alemania y otros países europeos [35]. A pesar de los datos anteriores Colombia presenta un potencial positivo de energía solar fotovoltaica frente al mundo, aunque el promedio de la irradiación solar es alto existen zonas del país donde el uso de sistemas FV es propicio como son: la Costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquia y la Región Central [35].

1.2.13. Sistema de energía solar fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica (FV) consiste en la conversión directa de la radiación solar en electricidad. Se puede realizar una clasificación de los sistemas fotovoltaicos en función de si están o no conectados a la red eléctrica convencional estos son: los sistemas fotovoltaicos autónomos, son aquellos que están aliados de la red eléctrica.

Una de las características principales de los generadores fotovoltaicos a diferencia de otras fuentes de energía renovable es la capacidad de producir electricidad cuando reciben la luz del sol (irradiación solar) y además la cantidad de energía que generan es directamente proporcional a la irradiación solar que incide sobre la superficie. En general, un sistema fotovoltaico estará formado por: Un panel fotovoltaico, una batería de acumulación, un regulador de carga, un inversor y equipos ver figura (7) [36].

- A. Panel FV: Es el equipo encargado de transformar la energía del sol en energía eléctrica, está formado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o en paralelo, y a su vez cada uno está formado por unidades básicas que son llamadas células fotovoltaicas. La potencia que puede suministrar una única célula FV típica es de 3W, para un módulo compuesto por 36 células conectados en serie oscila en una potencia entre los 50 y 100 W, dependiendo del área de cada una de las células [36].

- B. El sistema de baterías: Es donde se acumula la energía producida por el generador FV, en caso de ser necesario. Es así como la energía producida durante las horas de sol se puede utilizar durante la noche. La batería es un elemento que va a estar cargándose y descargándose cíclicamente [36].

- C. Regulador de carga: Es el encargado de proteger la batería contra sobrecargas que podrían resultar perjudiciales para la batería. Este opera cuando el regulador detecta que la batería está siendo sobrecargada, desconecta el generados FV y cuando detecta que la batería está siendo sobre descargada, desconectar los equipos. [35].

- D. Inversores: Dispositivo el cual cambia o transforma un voltaje de entrada DC a un voltaje simétrico de salida AC con magnitud y frecuencia deseada. Los convertidores DC/DC pueden resultar necesarios si se pretende modificar la relación voltaje/corriente de una fuente DC [35].

- E. Electrodomésticos: Puedes utilizar DC o AC, se considera como una parte substancial del sistema fotovoltaico ya que estos son los que determinan el tamaño del sistema, pero se hace difícil predecir el consumo de una instalación, como puede ser el caso de una instalación de electrificación rural donde el consumo viene definido por el tiempo de utilización de las cargas por parte de un determinado usuario [35].

Células fotovoltaicas.

Como se mencionó anteriormente, los sistemas de energía solar fotovoltaica se componen de diferentes medios para convertir la radiación solar a energía eléctrica utilizable en los hogares. Una de las partes más importante y el centro del funcionamiento de todo el sistema son las células fotovoltaicas, las cuales son dispositivos capaces de capturar la energía del sol y convertir parte de ella en electricidad, gracias al efecto fotoeléctrico [37]

Los avances tecnológicos han hecho que estos cuerpos estén compuestos y fabricados de diferentes materiales, las tecnológicas más maduras son las células monocristalinas y

policristalinas, los cuales se utilizan desde hace muchos años en aplicaciones terrestres, como alimentación de energía para residencias y comercios, mientras que otras células compuestas por “arseniuro de galio” que son tecnologías jóvenes y disponen de menor experiencia no han salido de los campos de investigación [36]. Las células FV se asocian y encapsulan en módulos los cuales son los elementos constructivos utilizados para la implementación de los sistemas solares fotovoltaicos como se muestra en la figura 6 [37].

Las características técnicas de los módulos como potencia, voltaje y corriente dependerán del número de células solares asociadas y de las condiciones de trabajo como son la radiación, viento, inclinación. La radiación incidente y la temperatura a las cuales trabajarán las células fotovoltaicas serán el mayor determinante para los parámetros eléctricos de operación de un módulo fotovoltaico [36] [37].

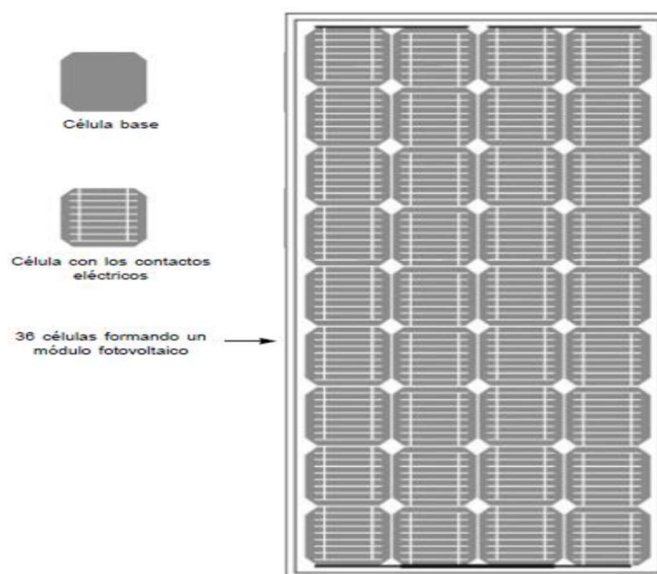


Figura 6. Esquema de un módulo solar fotovoltaico. [36].

Como se dijo anteriormente las tecnologías más afianzadas de células fotovoltaicas son:

- Las células de silicio monocristalino: Estas se encuentran fabricadas con un único cristal de silicio.

- Las células de silicio policristalino: Son aquellas que están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, debido a esto, su rendimiento es algo inferior al de las células monocristalinas.

Los módulos o paneles solares que están compuestos por cada una de estas células poseen eficiencias descritas por cada fabricante, que son expresadas en condiciones estándares de medidas y bajo funcionamiento en campo [38]. Para los módulos monocristalinos se tiene una eficiencia en laboratorio de un 24%, una eficiencia en campo entre el 15% y 18%, presenta un color azul y se fabrica a partir de silicio puro fundido y dopado de boro [38]. Coeficiente de temperatura Por otro lado, los policristalinos presentan una eficiencia en laboratorio de entre el 19% y el 20%, su eficiencia en campo se encuentra en un rango de 12% a 14%, presentan distintos tonos de azul y su fabricación es igual que los monocristalinos, pero con un menor número de fases de cristalización [36]. Por ultimo los paneles solares Arseniuro de galio (*GaAs*): Están constituidos por varias células de arseniuro de galio, esto les da un rendimiento de entre 25% a 40%, presentan una alta resistencia a altas temperaturas, sus contras, presentan un alto costo de adquisición, los materiales que lo componen son tóxicos y de baja disponibilidad.

Los módulos solares monocristalino, policristalino o de arseniuro de galio son la base de alimentación para los sistemas de energía fotovoltaicos, pero para hacer un aprovechamiento completo de esta tecnología se necesitan unificar uno o más módulos para incrementar la cantidad de energía generada, esto se denomina campo solar.

Almacenamiento de energía

En los sistemas fotovoltaicos muchas veces se hace necesario la instalación de baterías las cuales están encargadas de almacenar energía sobrante la cual será utilizada cuando los paneles solares no se encuentren en funcionamiento de esta forma se mantienen los equipos en uso constante [38]. En el mercado se encuentran distintos tipos de baterías según el uso específico estas pueden ser:

Baterías de Litio: Esta batería usa como electrolito una sal de litio que logra los iones que hacen falta para la reacción electroquímica reversible que se produce entre el cátodo y el ánodo. Cumplen la función de almacenar energía producida por los paneles solares o de la

red, durante las horas de bajo consumo, para poder hacer uso de estas durante las horas donde no hay radiación solar, utilizadas en casas con sistemas de autoconsumo, sin embargo su desventaja es su elevado costo de estas [36].

Baterías estacionarias: Se utilizan en sistemas de alimentación ininterrumpidas tales como alumbrados de emergencia, señalización o sistemas fotovoltaicos, tienen la capacidad de permanecer largos periodos en flotación totalmente cargadas y resisten profundidad de descarga esporádica, esto quiere decir que son perfectas para un consumo diario y durante largos períodos de tiempo, esta compuestas por plomo-acido, esto conlleva a que liberen pequeñas evaporaciones de gas pero garantiza una buena respuesta a descargas profundas y mantenimiento mínimo [39].

Baterías monoblock o de gel: Se utilizan regularmente en instalaciones de energía solar de pequeño tamaño y sin conexión a la red. Generalmente se suelen instalar en sistemas aislados, es de las más baratas, está compuesta por una completa gama de baterías herméticas de plomo-ácido VRLA, una característica fundamental es que no requieren mantenimiento también poseen una excelente capacidad de recuperación ante descargas profundas o prolongadas [39].

Inversores eléctricos

Este es el componente principal para transformar la corriente continua que genera una instalación solar en corriente alterna 220v 60Hz, este permita la utilización de consumos a 220-230v nutridos de una instalación solar, sin este, sería necesario que todos los consumos sean en corriente continuo (12V, 24V o 48V). Esto se dividen en inversor de onda senoidal pura e inversor trifásicos.

Inverso de onda senoidal pura: Son capaces de reproducir una onda uniforme entre los diferentes pulsos, sus ventajas se encuentran en que los pulsos entre las ondas son mucho más bruscos y segmentados a diferencia de los inversores de onda senoidal modificada o cuadrada. Es por esta razón que se utilizan para la alimentación de electrodomésticos debido a que la corriente es igual a la recibida por la red eléctrica convencional [40].

Inversor trifásico: Estos son utilizados para instalaciones solares aislados con sistemas de conexión a red, estos incorporan reguladores de carga MPPT, se debe tener en cuenta en estos modelos el número de paneles solares los cuales se pueden conectar a estos, así mismo las

líneas de módulos que se deben conectar para alcanzar el voltaje de trabajo óptimo del inversor. Una de las características para este tipo de inversor es que trabajan a 48V, es decir, que las baterías a instalar deben ser de 48V para la función óptima del sistema, su principal uso es en zonas de elevado consumo de energía en viviendas o industria [40].

1.2.14. Zona de estudio

Este proyecto se planea implementar en el corregimiento de Guateque, Jurisdicción del municipio de Montería, Córdoba. Guateque es un corregimiento al sur del municipio, a 13 kilómetros del casco urbano de Montería con la vía Tierralta-Valencia, Córdoba. La economía de este municipio se centra en la parte agropecuaria y ganadera siendo estos los pilares para el sostenimiento de las familias que habitan la zona. Cuenta con un centro de atención médica, una escuela y tiendas pequeñas, estos sitios mantienen un uso constante de energía eléctrica la cual llega mediante postes de energía desde el sur de Montería hasta el corregimiento, esta energía llega carente de un flujo constante por tal motivo el corregimiento carece de energía durante lapsos prolongados de tiempo, así afectando a los comerciantes, estudiantes y centro de salud los cuales tienen que solucionar sus problemas de energía con utilizando otro tipo de tecnologías. En la siguiente figura 7 se puede observar el epicentro de esta investigación [41].



Figura 7. Corregimiento de Guateque, Jurisdicción del municipio de Montería, Córdoba.

La zona que comprende el municipio y los corregimientos aledaños comprende unos parámetros climáticos los cuales tienen importancia en esta investigación para conocer las temperaturas de la zona en las diferentes épocas del año, en los siguientes gráficos del instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales se observa un promedio de temperaturas, precipitación, días de lluvia, horas de sol y humedad relativa de la región [41].

Meteorología de la región.

Según datos del instituto de hidrología, meteorología y estudio ambientales (IDEAM) la zona de estudio presenta las siguientes condiciones atmosféricas:

- Temperatura: La temperatura mínima media de la región ronda los 21°C y la máxima temperatura media ronda los 37°C.
- Humedad: La humedad presente en el departamento es ronda un mínimo de 72% y un máximo entre el 82% y el 84%.
- Radiación solar: según los estudios realizados por la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Montería, la radiación mínima en municipio es de 335W/m² y su máximo es de 506 W/m².
- Brillo solar: En el mes con menor cantidad de horas de brillo solar es el mes de octubre con aproximadamente 100 hora de brillo y el mes que presenta una mayor cantidad de horas es enero las cuales oscilan entre las 160 y las 180 horas durante el mes [42].

Radiación en el municipio de Montería.

Según estudios realizados por investigadores de la Universidad Pontificia Bolivariana sede Montería, apoyados en el montaje de un sistema de medición y realizando comparaciones de datos tomados por la entidad IDEAM registraron los niveles de radiación de la ciudad durante un año calendario tomando muestras cada 60 segundos, el rango de tiempo de la toma de muestras establecido se encuentra entre las 6:00 a.m. y las 5 p.m. y se observaron los siguientes resultados del promedio de cada mes.

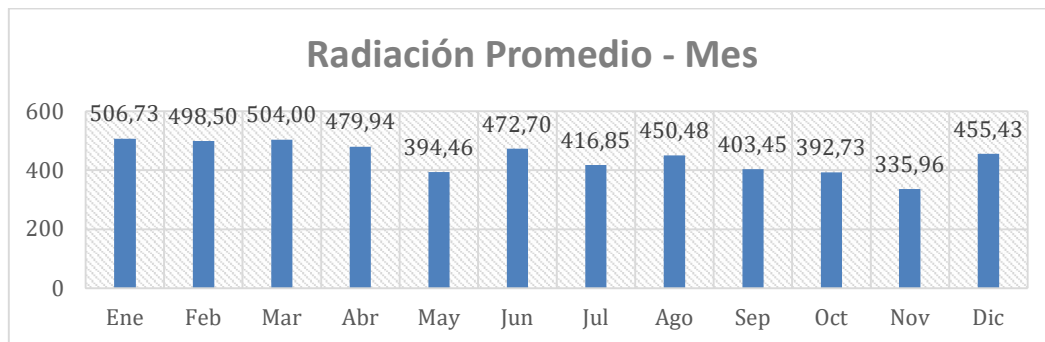


Figura 8. Gráfico de radiación promedio mes. [43].

Como podemos observar en la figura 8 en los primeros 3 meses del año se tuvo una radiación concisa, donde con la radiación se mantuvo muy cerca de los $500\text{W}/\text{m}^2$, desde el mes de abril hasta el mes de septiembre se presentaron valores entre los $480\text{W}/\text{m}^2$ y los $400\text{W}/\text{m}^2$ con exacción del mes de mayo donde se observa que los niveles de radiación estuvieron por debajo de los $400\text{W}/\text{m}^2$, en los meses de octubre y noviembre se vio una disminución de los niveles de radiación en el municipio y en diciembre se vuelve a ver un alza en los niveles de radiación, esto debido a que en los meses de diciembre a inicios de abril el departamento se encuentra en una estación seca y desde finales de septiembre a mediados de diciembre el departamento altas incidencias de lluvias [43].

CAPITULO 2: DISEÑO CONCEPTUAL

El presente proyecto está enfocado a dar solución a las necesidades energéticas de la zona rural elegida en el departamento de Córdoba.

2.1. Metodología

Este proyecto es de tipo tecnológico, debido a que se buscó la solución de la problemática planteada mediante la recopilación de información, normas y procedimientos ya propuestos, además de software y metodologías de diseño utilizadas en ingeniería mecánica. Se considera un proyecto del tipo cuantitativa, con un carácter descriptivo y propositivo excluyendo la parte experimental, ya que se busca realizar un diseño aplicable de una cámara frigorífica cuyo objetivo será mejorar la calidad de vida de los habitantes de la población de estudio [44]. A continuación se presentan las etapas del diseño conceptual.

2.2. Estudio de morfología y generación de alternativas.

Mediante uso de una tabla morfológica, se buscó crear distintas alternativas que pudieran ser implementadas en la zona de estudio y cubrir la necesidad de la población. En primer lugar se identificaron las diferentes funciones que debían ser satisfechas dar solución al problema. En segundo lugar se buscó satisfacer cada una de las funciones identificadas por medio de dos o más conceptos. Las funciones establecidas y sus respectivos conceptos son:

- En los sistemas de refrigeración se tuvo en cuenta dos conceptos: la refrigeración por compresión y por absorción
- Para la construcción de la cámara frigorífica se tuvieron en cuenta tres conceptos: una construcción en mampostería con aislante interno, una construcción con paneles modulares aislantes y la instalación de una carpa desarmable sellada para refrigeración.
- Como refrigerante se propuso como conceptos el refrigerante natural o refrigerante sintético.
- En el sistema de generación de energía eléctrica se definieron tres tipos de panel: policristalino, monocristalino y de arsiuro de galio.
- Para los inversores se proponen dos conceptos: utilizar inversores senoidales puro o trifásicos.

- Para el almacenamiento de energía se propusieron tres opciones de baterías: de litio, estacionarias o de gel.

Todo esto considerando las restricciones y necesidades determinadas en el capítulo anterior. La tabla 3 se puede ver la tabla morfología utilizada para la selección de alternativas.

Tabla 3. Estudio morfológico. Fuente del autor.

Estudio morfológico			
Función	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Sistema de refrigeración	Refrigeración por compresión	Regriferación por absorción	
Construcción cámara frigorífica	Mampostería con aislante interno	Paneles modulares aislantes	Carpa desarmable
Refrigerante	Natural	Sintetico	
Paneles fotovoltaicos	Panel policristalino	Panel monocristalino	Panel arseniuro de galio
Inversor fotovoltaico	Inversores senoidal pura	Inversores trifásicos	
Almacenamiento de energía eléctrica	Batería de litio	Batería estacionarias	Baterías Gel

Realizando una selección aleatoria de las posibilidades de las funciones se llegó a las siguientes alternativas.

Tabla 4. Alternativas propuestas. Fuente del autor.

Alternativa 1	Refrigeración por compresión, paredes en mampostería con aislante interno, uso de refrigerante natural, panel policristalino, inversor senoidal puro y baterías de litio.
Alternativa 2	Refrigeración por compresión, paneles modulares aislantes, refrigerante natural, panel monocristalino, inversor trifásico y baterías estacionarias.
Alternativa 3	Refrigeración por absorción, paneles modulares aislantes, refrigerantes sintético, panel policristalino, inversor trifásico y baterías estacionarias.
Alternativa 4	Refrigeración por compresión, paredes en mampostería con aislante interno, refrigerante natural, panel monocristalino, inversor senoidal puro y baterías estacionarias.
Alternativa 5	Refrigeración por compresión, carpa desarmable, refrigerante sintético, panel arseniuro de galio, inversores trifásicos y baterías monoblock
Alternativa 6	Refrigeración por absorción, carpa desarmable, refrigerante natural, panel arseniuro de galio, inversor senoidal puro y baterías estacionarias.

2.3. Evaluación de alternativas

La evaluación de alternativas, se realizó utilizando la metodología de la matriz de PUGH para la toma de decisiones, la cual es una herramienta de tipo cualitativo que permite realizar comparaciones entre diferentes alternativas por medio de un arreglo multidimensional (matriz de decisión). Su utilización más típica es durante la fase de diseño de un producto, ya sea una actualización de un producto existente o uno completamente nuevo.

La mecánica para utilización de la matriz consiste en que a partir de la primera alternativa de diseño se analiza criterio por criterio si su cumplimiento es superior, igual o inferior al funcionamiento esperado en cada uno de los criterios. Si es superior se le asigna un signo “+” a la casilla, si es igual un “0” y si es inferior un signo “-”; para una mayor comodidad, se suele usar los números +1, 0 y -1 respectivamente ya que permiten operar fácilmente en las hojas de cálculo [44] [45].

En la conformación de la matriz de decisión se determinaron los criterios que deben cumplir las alternativas de diseño que se formaron en el estudio morfológico, estos son:

- Costo de diseño: En este ítem se contempla el valor de la instalación de los sistemas de refrigeración y fotovoltaicos a instalar en el proyecto que deben estar acomodado al presupuesto del cliente.
- Rendimiento: La capacidad con la cual los paneles fotovoltaicos transforman la radiación solar en energía eléctrica.
- Durabilidad: Tiempo total de servicio esperado de los equipos.
- Instalación: Número de pasos con que se realizará para la instalación de los equipos y materiales a utilizar dentro de la cámara frigorífica.
- Disponibilidad de equipos: La disponibilidad de equipos y materiales dentro del territorio nacional y regional.
- Mantenimiento de la instalación: Tiempo transcurrido para la realización del mantenimiento en los sistemas instalados y su costo.

A partir de lo anterior se construyó la matriz PUGH en la cual se evaluó cada una de las alternativas propuestas y se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Matriz PUGH. Fuente del autor.

			Alternativas					
Selección de alternativas		Grado de relevancia	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6
Conceptos	Costo de diseño	20	0	0	-1	1	-1	-1
	Rendimiento	20	0	1	0	1	1	1
	Tiempo de vida	15	1	-1	-1	0	0	1
	Instalación	10	-1	1	0	-1	0	0
	Disponibilidad de equipos	20	1	1	1	1	-1	-1
	Mantenibilidad	15	0	-1	-1	0	-1	1
			25	20	-30	50	-35	10

En la tabla 5 se evaluaron las seis alternativas propuestas frente a los conceptos que debían cumplir para poder ser elegida como la alternativa ganadora, al momento de evaluar el costo de diseño las alternativas 3, 5 y 6 no cumplían con el presupuesto del cliente, mientras que

las alternativas 1 y 2 cumplían pero no completamente, siendo la alternativa 4 la que mejor cumplía esta condición debido a que los elementos que componen estas alternativas son de fácil consecución en el mercado regional y nacional y su costo de transporte es más accesible frente a las demás alternativas.

Frente al rendimiento todas las alternativas cumplieron, unas más que otras como las alternativas 2, 4, 5, y 6 que tienen una puntuación de +1 debido a que estas alternativas tienen los paneles con un mejor rendimiento. Por otro lado el tiempo de vida, la instalación y la mantenibilidad que fueron los conceptos con menor grado de relevancia, mostraron que las alternativas 3 y 5 fueron las que peor puntuación tuvieron en estos tres conceptos, mientras que las alternativas 1, 2, 4 y 6 cumplían estos conceptos debido a que los artículos que componían estas alternativas mostraban una mejor mantenibilidad y tiempo de vida útil frente a los artículos que componían las alternativas 3 y 5 que son los de más difícil consecución, instalación, mantenimiento y son de poca longevidad. Respecto a la disponibilidad de los equipos que es uno de los conceptos que más peso tiene en la evaluación se evidencia que los equipos que conforman las alternativas 1, 2, 3 y 4 son de fácil obtención frente a los equipos propuestos en las alternativas 5 y 6 donde su evaluación fue desfavorable frente a este concepto esto porque algunos componentes de las alternativas se deben comprar a empresas extranjeras provocando importación de los mismos.

Luego de evaluar las alternativas frente a los conceptos se concluyó que: las alternativas 5 y 3 son las que peor puntuación obtuvieron en la evaluación siendo estas las menos favorables para dar solución al problema, en la evaluación de la alternativa 6 se pueden rescatar algunos conceptos para la conformación de otras alternativas, que también se puede hacer con las alternativas 1 y 2 que mostraron puntos altos en el cumplimiento de algunos conceptos pero fueron desbancadas por la alternativa 4 la cual tuvo la mejor puntuación teniendo solo un punto bajo en el concepto de instalación, es así, que la alternativa 4 fue la alternativa con la que se trabajó para dar solución al problema.

CAPITULO 3: DISEÑO DE LA CÁMARA DE REFRIGERACIÓN

Definida la alternativa de solución, se procederá a realizar el diseño a detalle de los equipos que compondrán la instalación frigorífica.

3.1. Requerimientos de diseño

Para desarrollar el diseño del sistema frigorífico y fotovoltaico se necesita conocer los requerimientos que debe cumplir la alternativa elegido que están definidos por la ley colombiana, el cliente y las condiciones meteorológicas.

3.1.1. Requerimientos de ley.

En Colombia existen entidades que regulan los sistemas refrigeración para fines alimenticios regulados por el INVIMA y el Ministerio de Salud y Protección social (Minsalud) es por estas entidades que existe una normatividad emitida por estas, las cuales se presentan a continuación.

- Decreto 616 de 2006 expedido por el ICA reglamenta los requerimientos técnicos que debe cumplir la leche y sus derivados para el consumo humano. Se establece aquí que la temperatura en el interior del recinto debe mantenerse entre 2°C y 6°C con un punto medio de 4°C [46].
- Decreto 616 de 2006 expedido por el ICA en su artículo 33, define que la leche y sus derivados reconstituidos deben refrigerarse y almacenarse en tanques provistos de sistemas de refrigeración, aislamiento térmico, debidamente identificados, los cuales podrán ubicarse en el área destinada para el almacenamiento [46].
- Decreto No. 2131 de 1997 del Ministerio de Salud, establece que para la adecuación interior de la cámara frigorífica se requiere el uso de plástico cobertor en el piso antideslizante, las estanterías en donde será colocado el producto deben ser en madera en estructura metálica, o en mampostería cerámica. Las paredes deben estar recubiertas con un material aislante, fácil de limpiar y no toxico [47].

3.1.2. Requerimientos técnicos de la instalación frigorífica

Para el correcto funcionamiento de sistema de refrigeración se debe tener en cuenta los siguientes requerimientos:

- Se debe garantizar un flujo eléctrico constante para la alimentación de los equipos que compone la cámara frigorífica.
- El sistema de refrigeración debe tener un tiempo de 16 horas de funcionamiento intermitente diario estas deben ser repartidas en las 24 horas diarias para garantizar una temperatura interna entre 2°C y 6°C y evitar producción de escarcha dentro del cuarto frío [48].
- El sistema fotovoltaico debe tener una autonomía mínima de 1 día.
- Se busca que los equipos técnicos sean amigables con el ambiente.

3.1.3. Requerimientos del cliente

Para la construcción de la cámara frigorífica el cliente dio las siguientes especificaciones:

- Se refrigerará queso costeño salado con un peso de 210kg
- El queso está dividido en bloques de 10kg con un volumen de $0.003096m^3$ por bloque
- Se cuenta con un área de $6.25m^2$ para la construcción del cuarto frío.
- El espacio máximo disponible para la instalación de los paneles fotovoltaicos es de $30m^2$
- El mantenimiento de los equipos debe ser a mediano-largo plazo.
- Densidad promedio por bloque $3229,9 kg/m^3$
- El producto debe durar dentro de la cámara frigorífica 3 días.

3.1.4. Dimensionamiento de la cámara de refrigeración

Teniendo en cuenta que el cliente tiene disponible para la construcción de la cámara frigorífica $30 m^2$ en esta sección se definió el dimensionamiento interno de la cámara y la configuración respectiva del acondicionamiento interno para distribuir el producto a refrigerar.

Para el dimensionamiento interno del frigorífico se tuvo en cuenta lo siguiente: deben existir espacios adecuados entre el producto y las paredes, esto para prevenir la absorción directa de calor de las paredes hacia los productos, de igual forma también se debe considerar la movilidad cómoda del operario para la manipulación del producto. Además la norma UNE-EN ISO 12242:2010 establece que se requiere un espacio mínimo de operación para cámaras frigoríficas de $1.99m^2$.

A partir de lo anterior se determinó utilizar una configuración interna en donde se instalarán tres pisos de estanterías sobre la pared para colocar los productos y así dejar espacio en medio de la cámara para manipular los productos, se propuso un espacio de separación entre los productos de 20cm y se repartirán los bloques de queso de la siguiente manera: por piso de estantería se colocarán dos bloques a cada costado y tres en el fondo de la cámara como se muestra en la figura 9. Con respecto a esta información se determinaron las dimensiones mínimas que deben tener las estanterías. Nota: las unidades de los esquemas están en metros.

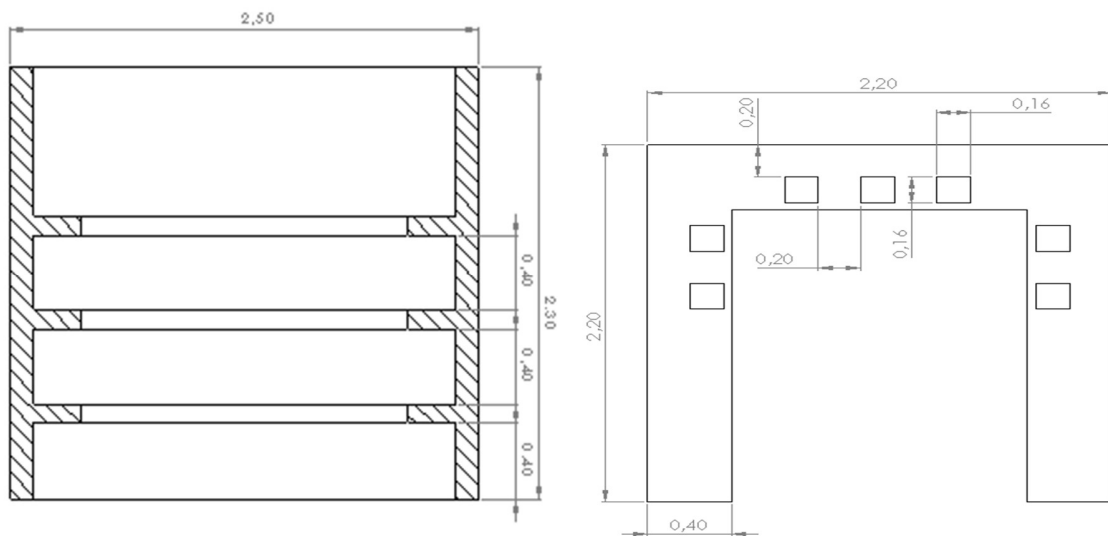


Figura 9. Estanterías y ubicación de los productos. Vista superior y frontal. Fuente del autor.

Para el largo mínimo de la estantería, se consideraron los 3 bloques ubicados al fondo, estos tendrán una separación total entre ellos y la pared de 80cm y la suma del largo de cada bloque es de 48cm, la suma de estas distancias da como longitud mínima de 128cm de largo. Para el ancho mínimo de la estantería se tuvo en cuenta los 16cm de ancho del bloque de queso y los 20cm de separación entre la pared y el producto, dando así un ancho mínimo de 36cm. Para las estanterías se terminaron las siguientes dimensiones: de largo 220cm y de ancho 40cm.

3.2. Cálculo de la carga térmica

Para el cálculo de la carga térmica se llevaron a cabo los siguientes pasos: la selección del aislante, flujo de calor a través de las paredes, techo y piso, la carga por cambio de aire, la carga debido al producto, carga por alumbrado, el calor liberado por los motores eléctricos, la carga por las personas que entran en la cámara y se calculara la capacidad de refrigeración requerida por la cámara frigorífica. Se utilizará el método clásico simplificado de ASHRAE.

3.2.1. Selección del aislante y espesor de aislamiento para la pared, techo y piso.

El aislante cumple la tarea de reducir la transferencia de calor a través de paredes, techos, puertas y otros elementos, con el fin de volver la cámara lo más adiabática posible, de esta forma reducir al mínimo la entrada de calor y mantener las condiciones de temperatura interna. La importancia del aislamiento radica en la conservación de temperatura interior [49].

Existe una gran cantidad de aislantes térmicos utilizados en instalaciones frigoríficas, en la tabla 6 se presentan la densidad (ρ), coeficiente de conductividad térmica (λ) y la temperatura máxima soportada:

Tabla 6. Materiales aislantes empleados en instalaciones frigoríficas. [49]

Aislante	ρ (Kg/m ³)	λ (W/ m K)	Máx. temp. (°C)
Poliestireno expandido	10-25	0,049-0,028	70
Poliestireno extrusionado	33	0,024-0,028	85
Poliuretano	32-80	0,020-0,034	140
Espuma elastomérica	60	0,029	-40 a +105
Coquillas de lana de roca	110-180	0,036	500
Cubretuberías	110-315	0,038	120

Los aislantes a instalar en una cámara frigorífica deben tener un revestimiento para prevenir roturas en el material, penetración de agua, incendios y crecimiento de microorganismos. Este debe tener una superficie lisa para facilitar la limpieza y cumplir con las reglamentaciones técnico-sanitarias.

En la actualidad estos materiales con revestimiento se comercializan prefabricados y son de uso común en la construcción de cámaras frigoríficas. Los más utilizados son poliestireno

expandido y la espuma de poliuretano, debido a que estos cumplen con las siguientes propiedades: baja conductividad térmica, imputrescibles, incombustibles, neutros químicamente frente a otros materiales y fluidos en contacto, adaptable a las deformaciones y de fácil instalación [49].

Se decidió utilizar espuma de poliuretano como aislante debido a que presenta un bajo coeficiente de conductividad térmica, su fácil consecución en el mercado regional y porque sus presentaciones vienen con enchape metálico favoreciendo la asepsia en el recinto, se eligió utilizar los productos del proveedor Panel Sándwich Group ya que estos tienen un distribuidor autorizado en la ciudad de Montería.

Una vez definido la materia aislante se procedió a realizar el cálculo del espesor teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$e = \frac{\lambda \cdot \Delta T}{q} \quad (11)$$

e: espesor del aislante

λ : *Coficiente de conductividad termica*

q: Densidad térmica por pérdida

ΔT : la diferencia de temperatura

El coeficiente de conductividad térmica según el fabricante para este aislante es de 0,023W/mK, la densidad térmica por perdida está dada según la norma UNE-EN ISO 12242:2010 la cual recomienda utilizar para cámara de refrigeración una transferencia de calor de 8W/m² K y la diferencia de temperatura es la resta entre la temperatura externa y la temperatura interna que debe tener la cámara frigorífica.

El espesor del aislante se define como:

$$e = \frac{0.023 * (307.15 - 277.15)}{8} = 0.087m$$

De acuerdo al resultado anterior se requiere una capa de aislante de 87mm. Debido a que el proveedor escogido no maneja aislantes de 87mm se escogió de su catálogo un aislante de 100mm. Ver anexos A.

3.2.2. Flujo de calor a través de las paredes, techo y pisos (Q_r)

El flujo de calor es una medición del calor que fluye por conducción a través de las paredes del espacio refrigerado del exterior hacia el interior. Debido a la no existencia de aislamiento perfecto siempre se tendrá una cierta cantidad de calor que está pasando del exterior al interior, debido a la diferencia de temperaturas [50]. El cálculo del flujo de calor o carga de fuga, se realiza por la siguiente ecuación:

$$Q_r = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (12)$$

U: Coeficientes de transmisión de calor.

A: Área

ΔT : Diferencia de temperatura

La cámara frigorífica estará constituida estructuralmente de la siguiente forma: La pared estará construida en ladrillo macizo, mortero cemento y aislante; el suelo será construido en hormigón en masa, aislante y grava y final mente el techo será construido en hormigo en masa y aislante.

Los datos de conductividad térmica para los materiales antes mencionados presentadas en la tabla 7 son:

Tabla 7. Conductividad térmica de materiales de construcción.

Material	Espesor (e) (m)	λ (W/mK)
Ladrillo macizo	0.25	0.87
Mortero cemento	0.03	1.4
Hormigo en masa	0.15	1.63
Grava	0.25	1.21
aislante	0.1	0.023

En el cálculo del flujo de calor por paredes, techo y suelo se deben tener en cuenta una corrección por efecto solar, la cual se aplica sumando a la diferencia de temperatura normal en los cálculos de pérdidas de calor unos valores a fin de compensar el efecto solar, mostrados en la tabla 8.

Tabla 8. Corrección de temperatura de la posición de la pared expuesta.

Orientación	Valor de Corrección
Pared sur	2
Pared este	4
Pared oeste	4
Techo	9

Estos valores están dados para superficies de colores claros, tales como: piedra blanca, cemento de colores claros y pintura blanca, para la pared norte no se especifica un valor de corrección debido a la poca exposición al sol a la que está sometida esta pared.

Cálculo del coeficiente global transmisión de calor

El coeficiente global de pérdidas, para un cerramiento formado por una serie de capas planoparalelas, de distintos materiales viene definido por la ecuación 13 [51].

$$U = \frac{1}{\sum \frac{e}{\lambda} + \left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}\right)} \quad (13)$$

e: espesor del material

λ : Conductividad térmica

h_i : Coeficiente superficial de transmisión de calor interno

h_e : Coeficiente superficial de transmisión de calor externo

En la tabla 9 se evidencian los coeficientes superficiales de transmisión de calor interno y externo.

Tabla 9. Coeficientes superficiales de transmisión de calor.

Posición del cerramiento	1/ h_i	1/ h_e	1/ h_i + 1/ h_e
Paredes exteriores	0.13	-	0.13
Paredes interiores	0.13	0.13	0.26
Techo	0.17	-	0.17
Suelo	0.10	-	0.10

Final mente en la tabla 10 se realiza el cálculo del flujo de calor existente en paredes, techo y suelo

Tabla 10. Transmisión de calor por los diferentes partes de la cámara frigorífica

Cámara	U (W/m ² °C)	Área (A)	Text (°C)	Tint (°C)	ΔT (°C)	Q (W)
Norte	0,2	5	35	4	31	31
Sur	0,2	5	35	4	33	33
Oeste	0,2	5	35	4	35	35
Este	0,2	5	35	4	35	35
Techo	0,22	6,25	35	4	40	55,0
Suelo	0,21	6,25	35	4	31	40,7
Flujo total						229,69

3.2.3. Carga por cambio de aire (Q_{ca})

La carga térmica que se debe evacuar de un recinto frigorífico debido a la renovación de aire es una variable que incluye aquella renovación que técnicamente son aconsejables para la buena conservación del producto, como la infiltración de aire a través de las puertas, cuando estas se encuentran abiertas. La ecuación 14 de ganancia de calor debido a la infiltración por la entra directa de aire proporciona la base de la corrección para compensar la capacidad de refrigeración:

$$Q_{ca} = V * \rho * C_e * \Delta T \quad (14)$$

Donde:

Q_{ca} : Carga por cambio de aire

V : Caudal de aire infiltrado

C_e : Calor específico del aire

h_i : Entalpia de infiltración de aire

ρ_r : Densidad del aire refrigerado

Según Edward G. Pita (1991) en principios y sistemas de refrigeración se asume el caudal de aire por una puerta a 0.3m/s, la densidad del aire refrigerado es de 1,18kg/m³, el calor específico del aire en 1.012J/kg°C y la diferencia de temperatura 30°C, se tiene que la carga por cambio de aire es [52]:

$$Q_{ca} = 10.75 \text{ W}$$

3.2.4. Carga debido al producto ($Q_{producto}$)

La carga debido al producto constituye el calor a eliminar del producto a refrigerar, hasta llegar a la temperatura deseada. Una vez que el producto haya sido enfriado a la temperatura

de almacén, este no será una fuente de calor y la carga del producto dejara de formar parte de la carga del equipo [52].

$$Q_{\text{producto}} = \frac{m_{\text{producto}} \cdot C \cdot \Delta T}{T_e} \quad (15)$$

M_{producto} : masa del producto

C: Calor específico

ΔT = Diferencia de temperatura

T_e : Tiempo necesario para que el producto llegue a temperatura de conservación

Para el cálculo de la carga debido al producto se determinó un tiempo de 16 horas para que el producto llegue a temperatura de conservación. Se tiene que la carga debido al producto es:

$$Q_{\text{producto}} = 293 \text{ W}$$

3.2.5. Carga por iluminación ($Q_{\text{iluminación}}$)

La iluminación tiene su influencia en los controles sanitarios o limpiezas, que son los momentos en los que se le hace un mayor uso, para la iluminación se debe tener una intensidad de 300 lux, en cualquier lugar donde se proceda a actividades de almacenamiento.

Se dispondrá de 2 bombillas fluorescentes de 25W para la iluminación del ambiente, los cuales se prevé un uso diario de 1 hora, tiempo que puede ser destinado, para revisión, introducción o retiro de productos.

$$Q_{\text{iluminación}} = N * Pot \quad (16)$$

N= número de focos

Pot: potencia de los focos

$$Q_{\text{iluminación}} = (2 \times 25 \text{ W})$$

$$Q_{\text{iluminación}} = 50 \text{ W}$$

3.2.6. Calor liberado por motores eléctricos (Q_M)

Es el calor debido al trabajo de motores y maquinas en el espacio de refrigeración, el más típico es el calor causado por los motores de los ventiladores del evaporador, pero se debe contar también con cualquier máquina que desarrolle su trabajo dentro de la cámara. Debido a que no se desconoce la potencia de los motores, según la literatura y de forma aproximada

se toma como equivalente calorífico de trabajo de los ventiladores un valor entre el 5% y el 8% de la sumatoria de las cargas por producto, por renovación de aire, por la carga térmicas por transmisión por paredes, techos y suelo y por iluminación.

$$Q_M = 0.08 * (Q_{producto} + Q_{ca} + Q_r + Q_{iluminación}) = 44.1 W \quad (17)$$

3.2.7. Carga por personas ($Q_{personas}$)

Para la limpieza, revisión y manipulación del producto, están dispuestas dos personas para la realización de estas labores. Se estima que estas estarán un máximo de 1hr diaria dentro del frigorífico, debido a esto es necesario hacer el cálculo de la carga que estas pueden generar en su estancia, para esto se hará referencia a la tabla 10-15 de Pita (1991) [52].

*Tabla 11. Calor equivalente por persona de acuerdo a la temperatura del enfriador.
Fuente: Pita (1991)*

Temperatura de la cámara (°C)	Potencia liberada por persona (W)
5	240
4	246
0	270

$$Q_{personas} = q * n \quad (18)$$

q: Potencia liberada por personas

n: número de personas.

$$Q_{personas} = (246 W * 2)$$

$$Q_{personas} = 492 W$$

3.2.8. Capacidad de refrigeración requerida (Cap_{ref})

La capacidad de refrigeración, es la sumatoria de las cargas calculadas:

$$Q_{refrigeracion} = Q_T + Q_{ca} + Q_{producto} + Q_{iluminacion} + Q_{ME} + Q_{personas} \quad (19)$$

$$Q_{refrigeracion} = 1120 W$$

Según la literatura se debe tener en cuenta un factor de diseño o factor de seguridad para prevenir efectos adversos que puedan surgir durante el funcionamiento del frigorífico, según Dossat (1997) este factor comúnmente es el 10% adicional, entonces:

Calor de refrigeración ($Q_{refrigeracion}$): $1120 \text{ W} + 10\% : 1232 \text{ W}$

$$Q_{refrigeracion} = 1.232 \text{ kW}$$

En las instalaciones frigoríficas es necesario evitar la escarcha, esto se evita considerando un tiempo de 16 horas de trabajo de la unidad de condensación, por lo cual el calor de refrigeración se dividirá por el número de horas de trabajo

$$Cap_{ref} = \frac{Q_{refrigeracion}}{\text{periodo de funcionamiento}} \quad (20)$$

$$Cap_{ref} = \frac{1.232 \text{ kW}}{16 \text{ hr}}$$

$$Cap_{ref} = 0.077 \text{ kW}$$

$$Cap_{ref} = 0,077 \text{ kW} * \frac{1 \text{ ton}}{3.52 \text{ kW}}$$

$$Cap_{ref} = 0.022 \text{ ton}$$

3.3. Selección del refrigerante.

Para una refrigeración exitosa, se tienen que tener en cuenta ciertas condiciones para la elección de un refrigerante, como son:

- El refrigerante debe tener una buena relación con el ciclo de refrigeración, esto para que el proceso exista un ahorro de energía, debe ser de bajo costo de manufactura, cortos tiempos de vida atmosférica, baja inflamabilidad y toxicidad.
- El refrigerante debe ser amigable con el ambiente, no debe contribuir con la destrucción de la capa de ozono ni contribuir al efecto invernadero.

Existen una cantidad de refrigerante los cuales cuentan con diversas características adecuadas para los diferentes trabajos que deben cumplir, dependiendo a los productos es elegido el adecuado, teniendo en cuenta sus niveles de toxicidad y como el uso de estos afecta al ambiente,

es así como se deben buscar refrigerantes que cumplan con unas características de refrigeración y que su nivel de toxicidad se lo más bajos posibles [52].

El refrigerante a utilizar en este sistema de refrigeración será el amoníaco o R-717, refrigerante natural el más usado en los frigoríficos de alimentos, debido a que este no realiza degrade a la capa de ozono ni contribuye al efecto invernadero. De igual forma se caracteriza por una alta conductividad térmica, la cual facilita la transferencia de calor. Al presentar un calor latente de evaporación, la cantidad a de amoníaco a utilizar es minúscula favoreciendo su uso en procesos de gran escala.

3.3.1. Aplicaciones del amoníaco

Su mayor uso se encuentra en la industria alimenticia, en el enfriamiento de carne, pescado, frutas, vegetales, lácteos y sus derivados, etc. Sus aplicaciones más comunes están: En el transporte de refrigeración, refrigeradores de expansión directa de aire acondicionado industrial/comercial, compresores centrífugos industriales/comerciales [53].

3.3.2. Características del amoníaco.

- Es una sustancia no contaminante.
- Su rendimiento termodinámico es entre un 3-10% superior a otros refrigerantes, esto beneficia a la reducción de consumo energético.
- Su costo es menor que el de otros refrigerantes y la cantidad a utilizar es menor para una misma aplicación.
- Su potencial de destrucción del ozono es de cero igual a su incidencia directa en el efecto invernadero.
- Es un fluido poco inflamable debido a su afinidad con la humedad atmosférica.

3.3.3. Componentes.

Tabla 12. Composición del amoníaco R717.

FORMULA QUIMICA	PESO MOLECULAR	COMPOSICIÓN
NH_3	17.03 g/mol	N: 82,25% H:17.75

3.4. Ciclo termodinámico de refrigeración

Con la formación de alternativas y la ayuda de la matriz pugh para elegir la más adecuada, se llegó a la conclusión que el ciclo de refrigeración a utilizar será el ciclo por compresión.

3.4.1. Condiciones de condensación y evaporación

Temperatura de evaporación.

Teniendo en cuenta la literatura de Dossat (1997), se presentan algunas consideraciones sobre la influencia de la humedad relativa para determinar el salto térmico ΔT , para nuestro caso, la humedad relativa es de 85% y existe convección forzada por la presencia de ventiladores es así como a partir de la tabla 11 se tiene que: $\Delta T = (12 \text{ a } 14^\circ F)$. Se eligió un $\Delta T = 14^\circ F$ para la 85% de humedad relativa [54].

Tabla 13. Selección de la convección forzada en relación a la humedad relativa. Fuente: tabla 11.2. Pita (1991)

Humedad relativa %	Diseño ΔT °F Conveccion forzada
95-91	8 a 10
90-86	10 a 12
85-81	12 a 14
80-76	14 a 16
75-70	16 a 18

Se diseña para una condición de:

$$\Delta T_{camara-evaporador} = 14^\circ F$$

Se tiene:

$$T_{ev} = T_{cam} - \Delta T \quad (21)$$

T_{ev} : temperatura del evaporador

T_{cam} : Temperatura de la cámara

ΔT : diferencia de temperatura

$$T_{ev} = 39.2^\circ F - 14^\circ F$$

$$T_{ev} = 25.2^\circ F$$

$$T_{ev} = -3.777 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De tablas termodinámicas tenemos:

$$P_{ev} = 372.281 \text{ Kpa}$$

$$P_{ev} = 3.72281 \text{ Bar}$$

Temperatura de condensación

Para la temperatura de condensación, nos remitimos a la literatura la cual expresa que debe existir una diferencia de 10 a 20°C para que se produzca condensación [51]. Es así, suponemos la temperatura de condensación a 54°C, con este dato y haciendo uso de tablas termodinámicas para R-717, podemos hallar la presión en el condensador.

$$P_c = 2252.8 \text{ Kpa}$$

$$P_c = 22.528 \text{ Bar}$$

Esquema del ciclo termodinámico

Se hará uso del programa Termograf para realizar el cálculo de los procesos dentro del ciclo termodinámico, en la figura 10 se muestra el diagrama P-h del ciclo de refrigeración por compresión haciendo uso de amoníaco como refrigerante.

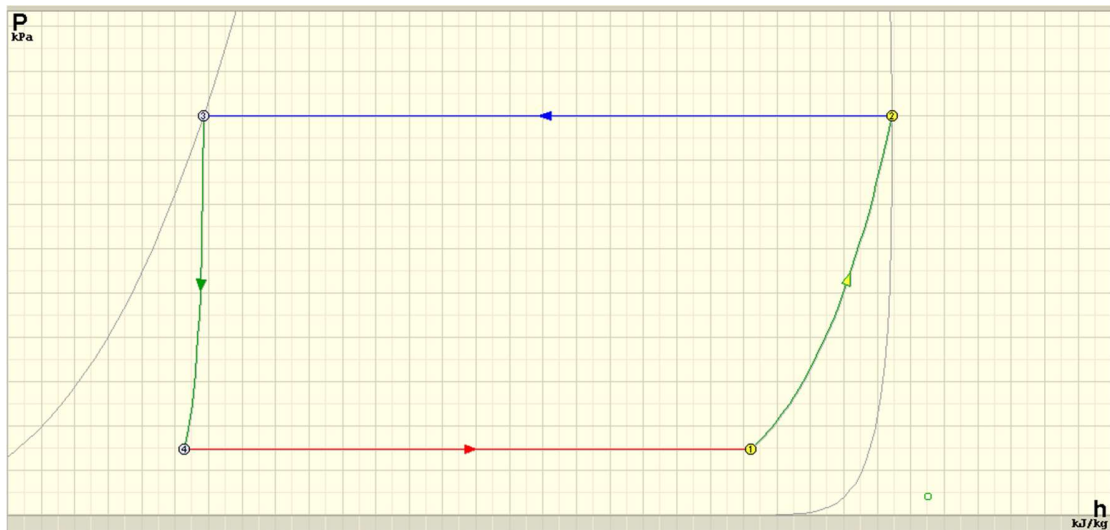


Figura 10. Diagrama P-h ciclo de refrigeración por compresión, refrigerante: amoníaco.
Fuente del autor. Tomado de Termograf.

Tabla 14. Estados del ciclo de refrigeración.

Estado	Presion (kpa)	Entalpia (Kj/Kg)	Temperatura (°C)
1	372.28	1259.83	-3,77
2	2252.8	1471.05	54
3	2252.8	441.586	54
4	372.8	412.168	-3,77

Efecto refrigerante (e.r.u)

$$e.r.u = h_1 - h_4 \quad (22)$$

$$e.r.u = 1259.83 - 412.168$$

$$e.r.u = 847.662 \frac{Kj}{Kg}$$

Flujo másico de refrigerante (\dot{m})

$$\dot{m} = \frac{Cap_{refrig}}{e.r.u} = \frac{0.077 \text{ kW}}{847.662 \frac{Kj}{Kg}}$$

$$\dot{m} = 0.000090 \frac{Kg}{s}$$

$$\dot{m} = 0.0054 \text{ kg/min}$$

Potencia del compresor (\dot{W}_C)

$$\dot{W}_C = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (23)$$

$$\dot{W}_C = 0.000090(1471.05 - 1259.83)$$

$$\dot{W}_C = 0.019 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_C = 0.025 \text{ hp}$$

Calor rechazado por el condensador (Q_C)

$$Q_C = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (24)$$

$$Q_c = 0.00015(1471,05 - 441.586)$$

$$Q_c = 0.093 \text{ kW}$$

Cálculo Coeficiente operación del Circuito (COP):

$$COP = \frac{Cap_{refrig}}{\dot{W}_c}$$

$$COP = \frac{0.077 \text{ kW}}{0.025 \text{ kW}}$$

$$COP = 3.08$$

Potencia por tonelada de refrigeración (\dot{W}/Ton)

$$\frac{\dot{W}}{Ton} = \frac{\dot{W}_c}{Cap_{refrig}} \quad (25)$$

$$\frac{\dot{W}}{Ton} = \frac{0.025 \text{ hp}}{0.022 \text{ Ton}}$$

$$\frac{\dot{W}}{Ton} = 1.13 \frac{\text{hp}}{\text{ton.ref}}$$

Caudal volumétrico por tonelada (q_{ton})

$$q_{ton} = \dot{m}xv_1 \quad (26)$$

De las tablas se sabe que el volumen en el estado 1 (v_1) es igual a: $0.28516 \text{ m}^3/Kg$

$$q_{ton} = 0.000090x0.28516$$

$$q_{ton} = 0.000025 \text{ m}^3/s$$

$$q_{ton} = 0.00015 \text{ m}^3/min$$

3.5. Selección de equipos de refrigeración

3.5.1. Cálculo de compresor, evaporador y condensador

Para realizar la selección de los equipos se tomó como referencia el libro Principios y Sistemas de refrigeración, Edward G. Pita, 1991 [52].

3.5.2. Cálculo de compresor

Para realizar la selección del compresor se debe conocer la potencia teórica del compresor, la cual se calculó en el capítulo anterior. Se multiplica la potencia teórica por un factor de seguridad del 25% para conocer la potencia real del compresor a utilizar.

Potencia teórica del compresor:

$$\dot{W}_C = 0.025 \text{ HP}$$

Potencia real del compresor:

$$\dot{W}_{CR} = 1.25 * \dot{W}_C$$

$$\dot{W}_{CR} = 0.0313 \text{ HP}$$

3.5.3. Cálculo condensador

Para el cálculo del condensador se tiene la siguiente ecuación:

$$Q_n = Cap_{refrig} * F_c * F_r * F_a * \frac{15}{\Delta T} \quad (27)$$

$$Q_n = \text{capacidad nominal condensador}$$

$$F_c = \text{factor de calor de compresión}$$

$$F_r = \text{Factor refrigerante}$$

$$F_a = \text{Factor de altitud}$$

En la ecuación 27 se observa el uso de factores de corrección, para obtener la potencia nominal a la cual va a trabajar el condensador, el primer factor, el factor de calor de compresión se halla trazando en la figura 11 una línea recta hasta la curva que representa la temperatura del compresor, en la intercepción de estas se traza una línea perpendicular al eje horizontal que llegue hasta el eje vertical para conocer este factor. A partir de esto se concluye que entre menor sea la temperatura de evaporación y mayor sea la temperatura de compresión mayor será el factor de corrección calor de compresión.

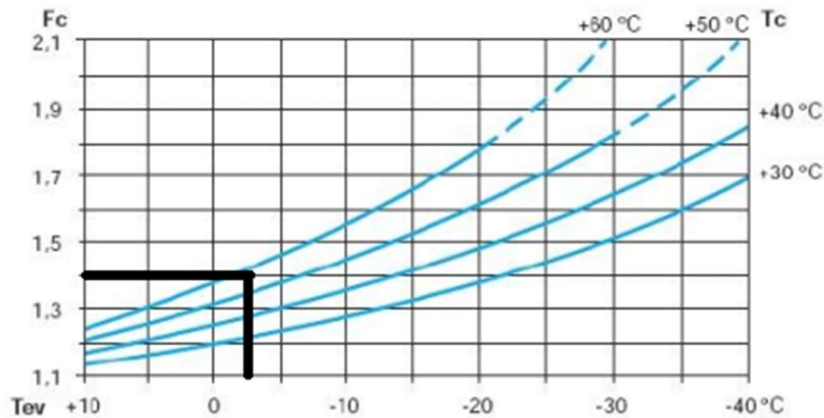


Figura 11. Grafica para la obtención del factor de calor de compresión [52].

Por lo tanto $F_c = 1.4$

Factor de refrigerante (F_r), depende de las propiedades del refrigerante a utilizar en el sistema frigorífico, esta corrección está dada por concepto de capacidad refrigeración de acuerdo al tipo de refrigerante utilizado:

Tabla 15. Factor refrigerante F_r

Refrigerante	R-717	R-134A	R-404A	R-507
Factor de correccion	1.04	1.06	1	1.03

Por lo tanto, el F_r es 1.04

Por último se encuentra el factor de altura, este depende de la altura a la cual se ubica la instalación frigorífica, para obtener el valor del factor por altura se referirá a la tabla_:

Tabla 16. Factor de altitud

Altura (pies)	Factor de corrección
0	1
500	0.989
1000	0.977
1500	0.966
2000	0.955

Por lo tanto, el factor de altitud es: 1

La diferencia de temperatura entre la temperatura de condensación y la temperatura ambiente es de: 20°C.

Entonces, con los valores obtenidos se tiene que la capacidad nominal del condensador es:

$$Q_n = 0.077 \text{ kW} * 1.4 * 1.04 * 1 * \frac{15}{20} = 0.084 \text{ kW}$$

A la potencia nominal obtenida del condensador se le aplica un factor de seguridad, esto debido a la energía transferida del compresor al condensador. Este factor de seguridad se considera de un 40% de aumento al cálculo de la potencia nominal.

$$\text{Potencia nominal del condensador} = 0.14 \text{ kW} * 1.4 = 0.118 \text{ Kw}$$

$$\text{Potencia nominal del condensador} = 0.15 \text{ hp}$$

3.5.4. Cálculo del evaporador

Este equipo cumple la función de enfriar el interior del recinto y proporcionara la temperatura necesaria para la conservación de los productos, mediante el cambio de fase del líquido refrigerante en su interior, a una temperatura y presión estipuladas.

Condiciones de operación:

- Capacidad de refrigeración: 0.125 kW
- Temperatura de la cámara: 4°C
- Porcentaje de humedad 80%
- Temperatura del evaporador: -3.777 °C

Para el cálculo del evaporador se requiere hallar el factor de corrección de capacidad para bajas temperaturas. Primeramente se debe calcular la diferencia de temperatura de acuerdo a la humedad relativa dentro de la cámara la cual es de 80%, de esta forma tomando como referencia la figura 12 se busca obtener el salto térmico en el evaporador:

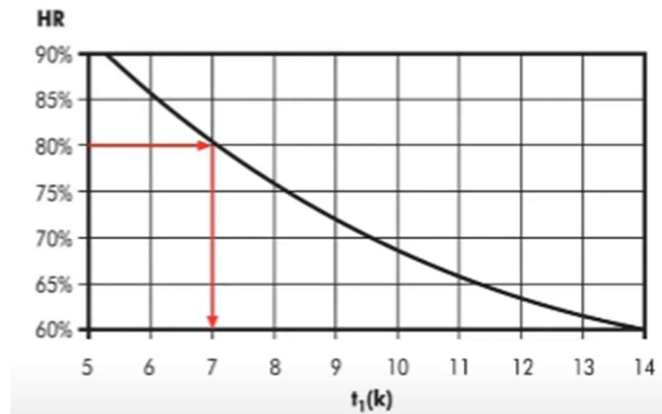


Figura 12. Gráfica humedad relativa vs diferencia de temperatura [52].

La grafica muestra que para una humedad de 80% la diferencia de temperatura en el evaporador es de 7K, usando este valor en la gráfica (), se obtiene el factor de corrección para el cálculo del evaporador:

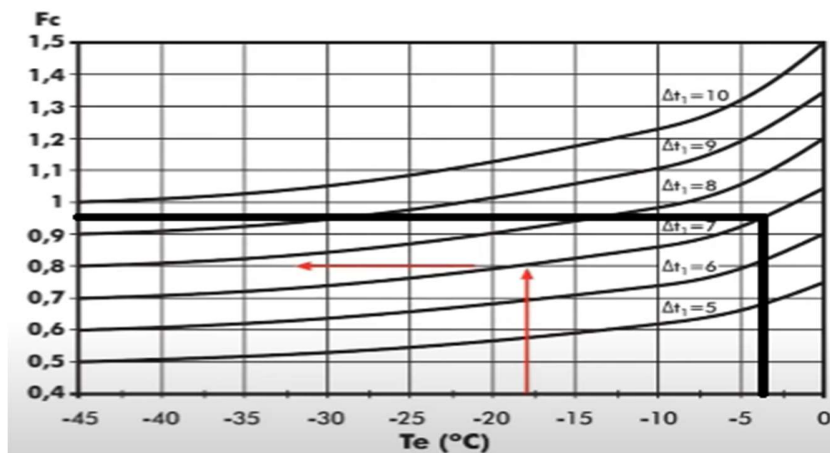


Figura 13. Gráfica factor de corrección de capacidad para bajas temperaturas [52].

El factor de corrección es: 0.95

$$\text{Potencia nominal del evaporadro} = \frac{Cap_{refrig}}{\text{Factor de corrección}} \quad (28)$$

$$\text{Potencia nominal del evaporadro} = \frac{0.077 \text{ kW}}{0.95} = 0.081 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia nominal del evaporadro} = 0.11 \text{ hp}$$

Obtenida la potencia de los equipos que componen el sistema de refrigerante se procederá a realizar la selección de equipos.

3.6. Selección de equipos

Los equipos a utilizar para esta instalación serán seleccionados del catálogo de equipos de la empresa BOHN S.A., GEA COMPRESSOR Y Danfoss, se eligieron estas marcas debido a que existen distribuidores cerca de la zona de influencia del proyecto. Para la elección de los equipos en el catálogo se tendrá en cuenta las potencias nominales calculadas en el apartado anterior.

Compresor

El compresor a utilizar que más se aproxima a las especificaciones antes calculadas es un compresor abierto de la serie F NH3 de ¼ hp de la marca GEA, modelo F2 NH3. Ver anexo B

Evaporador

El evaporador a utilizar será un TA10 de ¼ hp de la marca BOHN S.A. el cual cuenta con 1 ventilador. Ver anexo C.

Condensador:

Para la elección del condensador igual que en el anterior equipo se seleccionó del catálogo de equipos de la empresa BOHN S.A., este es un condensador modelo DVT 001 de ¼ hp. Ver anexo D.

Válvula de expansión termostática

Se eligió una válvula de expansión termostática Danfoss serie TEA 20 / TEA 85 con cuerpo y succión de 3/8". Ver anexo E.

3.6.1. Dimensionado de tuberías

En el dimensionamiento de las tuberías se tiene en cuenta el refrigerante elegido (R-717) a partir de esto se hace la elección de la tubería mediante la capacidad en toneladas para el transporte del refrigerante, se eligió una tubería de cobre tipo L de diámetro 5/8".

Según la literatura estudiada, el aislamiento recomendado para cubrir la tubería es el Poliestireno Expandida (Fibra de vidrio).

CAPITULO 4: DISEÑO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se requiere conocer la potencia de los equipos que van a estar en funcionamiento y que dependerán de este. En la tabla 15 se identifican los equipos que harán el gasto energético:

Tabla 17. Estimación del consumo eléctrico de los equipos. Fuente del autor.

Equipos	Potencia (Kw)	Horas de trabajo	Consumo (kWh/Dia)
Condensador	0,25	16	4
Compesor	0,25	16	4
Evaporador	0,25	16	4
Bombillas	0,1	1	0,1
Consumo total promedio (kWh/dia)			12,1

El consumo total diario de la instalación es de 12100W. A partir de este dato se realizará el cálculo y dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

4.1. Rendimiento global de la instalación.

Antes de calcular los componentes de la instalación es importante saber que la generación de esta se verá afectada por el rendimiento en conjunto de elementos que lo conforman. Se debe realizar el dimensionamiento teniendo presente las pérdidas que se puedan producir con el fin de evitar falta de alimentación. Si se calcula un suministro justo para la instalación se cerciorará un abastecimiento completo de energía para el funcionamiento de la cámara frigorífica. Se utilizarán dos métodos para calcular el rendimiento global de la instalación [55].

Método 1.

Para calcular el rendimiento global se usará la siguiente ecuación:

$$R = (1 - k_b - k_i - k_r - k_v) * \left(1 - k_a * \frac{N}{P_d}\right) \quad (29)$$

En la suposición se toma en cuenta el uso de nuevas baterías estacionarias, con una autonomía de 15 días y una profundidad de descarga máxima del 70%, un regulador moderno y por tanto eficiente y un inversor de gran rendimiento de esta forma se tiene:

$$R = (1 - 0.05 - 0.05 - 0.1 - 0.1) * \left(1 - 0.005 * \frac{20}{0.7}\right) \quad (30)$$

$$R = 0.643$$

Según este rendimiento, la energía que se debería producir es:

$$\text{Energía diaria necesaria} = \frac{CTD}{R} \quad (31)$$

CTD: Consumo total diario

R: Rendimiento global

$$\text{Energía diaria necesaria} = \frac{12100 \text{ Wh}}{0.643} = 18818 \text{ Wh} \quad (32)$$

Método 2.

En este método se aplicará directamente un factor de seguridad que por lo general es del 20% para conocer el rendimiento global del sistema [55]. Con lo anterior se tiene:

$$\text{Energía diaria necesaria} = 12100 * 1.2 = 14520 \text{ Wh} \quad (33)$$

Utilizando el primer método el rendimiento calculado es más conservador. Para la aplicación de este proyecto se utilizará la energía correspondiente a la aplicación del factor de seguridad, debido a que la energía utilizada diaria es menor, sin embargo se tendrá precaución en la selección de elementos para aseverar que no exista problemas para abastecer la instalación.

4.2. Cálculo de equipos

Módulos fotovoltaicos

Para determinar el número de módulos fotovoltaico es necesario conocer la energía que deben producir, la cual fue establecida en el punto anterior y es de 16320W. La región donde se instalará el sistema presenta baja irradiación en los meses septiembre, octubre y noviembre y es de 4 kWh/m². Con este dato se puede calcular las horas solar pico (HSP) en el sitio de estudio, cual se obtiene dividiendo el valor de la irradiación solar (IMB) de la peor época del año sobre 1kw/m² [56].

$$HSP = (IMB) / \left(1 \frac{kW}{m^2}\right) \quad (34)$$

$$HSP = \left(4 \frac{\frac{kWh}{m^2}}{dia} \right) \left(1 \frac{kW}{m^2} \right) = 4 \frac{h}{dia} \quad (35)$$

$$HSP = 4 \frac{h}{dia}$$

Para el cálculo del número de paneles se establece el uso de un panel monocristalino de 400w debido a que es el de mayor potencia que se consigue en el mercado regional y nacional.

$$N^{\circ}Panel = \frac{E * 1.3}{HSP * WP} \quad (36)$$

Donde:

E: Consumo diario

HSP: Hora solar pico

WP: potencia panel

1.3: Factor de seguridad, sobredimensionamiento de un 30% más de consumo

$$N^{\circ}Panel = \frac{14520w * 1.3}{4 h/dia * 400w} = 11.79 \approx 12 \quad (37)$$

Teniendo en cuenta el consumo, HSP, potencia de los paneles y factor de sobredimensionamiento se requieren doce paneles solares de 400W para garantizar un abastecimiento al sistema, el sistema de paneles estará conectado en un conjunto de seis en serie y dos filas en paralelo. Los doce paneles están dentro de las dimensiones dadas por el cliente para la instalación de los mismo. ver anexos F.

Inversor

Para realizar el cálculo del inversor es necesario tener presenten la potencia total utilizada simultáneamente, considerando la iluminación. Solo se utilizará una hora al día para la manipulación de los productos dentro de la cámara dentro del cuarto, no se tendrá en cuenta en la potencia total simultanea [57]:

$$P_{simultanea} = P_{total} + P_{iluminacion} \quad (37)$$

$P_{simultanea}$ Potencia total utilizada simultáneamente

P_{total} : Potencia total del sistema

$P_{iluminacion}$: Potencia generada por los focos de iluminación

$$P_{simultanea} = 14520 - 120 = 16200W$$

A este resultado se le aplica el un factor de seguridad del 20%:

$$P'_{simultanea} = 14400 * 1.2 = 17280 W$$

Por lo tanto, la potencia del inversor o inversores debe llegar a cubrir este valor, teniendo en cuenta la información obtenida se elige el siguiente inversor (ficha técnica ver anexos G). Inversor de fase dividida, para obtener la potencia simultanea necesaria se requieren 6 inversores en paralelo y montar una red trifásica.

Baterías

Para este proyecto se utilizará un banco de baterías de gel estacionarias de 12V y 100 Ah, se calculará el número de baterías necesarias para que el sistema tenga una autonomía de un día con una eficiencia del inversor dada por el fabricante en la ficha técnica del 95%, un voltaje del sistema de 48V y una profundidad de descarga que según la literatura puede ser de un 60% [57].

$$\frac{Ah}{dia} = \frac{CD}{\frac{EI}{VS}} \quad (38)$$

Donde:

CD: Consumo diario

EI: eficiencia inversora

VS: Voltaje del sistema

$$\frac{Ah}{dia} = \frac{14520w}{\frac{0.95}{48V}} = 319 Ah \quad (39)$$

Conociendo la capacidad del sistema, se requiere calcular el número de baterías para dicha autonomía:

Baterías en paralelo: teniendo en cuenta los Ah/día y a partir de la ecuación (41) se obtiene el número de baterías en paralelo:

$$N^{\circ} \text{ de baterias en paralelo} = \frac{\frac{Ah}{\text{día}} * DA}{\frac{PD}{CB}} \quad (40)$$

Donde:

DA: días de autonomía

PD: Profundidad de descarga

CB: Capacidad de la batería

$$N^{\circ} \text{ de baterias en paralelo} = \frac{319 \text{ Ah} * 1}{\frac{0.60}{100Ah}} = 5.32 \approx 6 \quad (41)$$

baterías en serie:

$$N_{BS} = \frac{VS}{VB} \quad (42)$$

Donde:

VB: Voltaje baterías

$$N_{BS} = \frac{48V}{12V} = 4 \quad (43)$$

baterías totales, son la multiplicación entre los arreglos en serie y los arreglos en paralelo:

$$B_t = 4 * 6 = 24 \quad (44)$$

Para realizar una autonomía de 1 día se eligieron 24 Baterías de 100 Ah (ficha técnica ver anexo H)

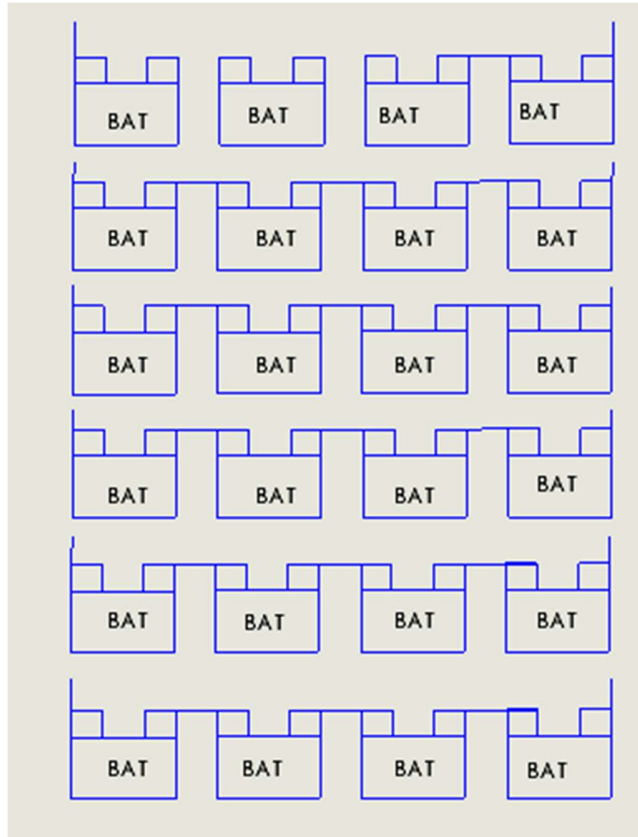


Figura 14. Arreglo de baterías. Fuente del autor.

Regulador

Los reguladores solares MPPT son capaces de separar la tensión de funcionamiento de los paneles solares de la tensión de la batería. Es así como el seguidor del punto de máxima potencia (MPPT) situará la tensión de trabajo del conjunto de paneles solares en un punto óptimo para obtener la máxima producción posible, para definir un regulador se debe calcular su corriente de entrada [58]:

$$I_{reg} = \%Seguridad * N_{pp} * I_{cc}$$

Donde:

I_{reg} = Corriente del regulador

N_{pp} = Número de paneles en paralelo

I_{cc} = Corriente de cortocircuito de cada panel

%S = Coeficiente de seguridad (25%)

$$I_{reg} = 1.25 * 14 * 10.36A = 90.65 \approx 100A$$

Teniendo en cuenta el cálculo de la corriente del regulador se eligió utilizar un regulador MPPT de 100A y 48V de batería, el cual trabaja a 10400W (Ficha técnica ver anexo I).

4.3. Cableado

El cableado debe seleccionarse teniendo en cuenta las condiciones de cada tramo de la instalación. Para hacer este cálculo se deben tener en cuenta las condiciones eléctricas en cada punto (la tensión y la intensidad) y la longitud del cable esto debido a que se busca tener longitudes cortas ya que en secciones más grandes la caída de tensión se tiene que contrarrestar con secciones transversales más grandes [58].

Para calcular las secciones de los cables en cada tramo de la instalación se utilizará la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 * L * I}{\Delta V * k} \quad (51)$$

Donde:

S=sección de cable

L=longitud de cable

I=intensidad máxima de corriente en el cable

ΔV =caída de tensión permitida en el tramo

k=conductividad eléctrica del cable

Según la normativa del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), la caída de la tensión permitida se debe fijar en un 1.5% de la tensión de funcionamiento, para este caso es de 48V, este porcentaje es equivalente al 0.72V. El material de los cables será cobre, cuya conductividad a temperatura de 20°C, es de $k=56 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$

Cableado desde los paneles a los reguladores.

La longitud del cableado al tratarse de una instalación compacta, los elementos estarán cerca unos de otros y para el tramo de los paneles a los reguladores se hace una estimación de un

máximo de ocho m de cableado. La intensidad, será la máxima del campo fotovoltaico, en este caso, se tienen 11 paneles agrupados conectados a un regulador, la intensidad máxima es de $I=92A$ y la caída de tensión es de $0,72V$.

$$S = \frac{2 * 8m * 92A}{0.72 * 56} = 36.50 \text{ mm}^2$$

Esta es la dimensión mínima que debe tener el cable desde los paneles hasta el regulador, se hará soporte en la tabla de conversión de la AWG para escoger el cable normalizado para la dimensión mínima del cable. El valor normalizado arriba de los 36.5mm^2 es 42.41mm^2 o en AWG cable calibre 1.

Cableado desde regulador hasta baterías e inversores.

Para esta sección lo habitual es colocar el regulador, las baterías e inversores próximos, sin llegar a estar muy cerca debido a que los gases que genera las baterías pueden estropear los circuitos del regulador e inversor, se propone utilizar como máximo 1,5 m de cable entre los equipos, aplicando la ecuación (51) anterior a esta longitud, el diámetro obtenido es muy diminuto, debido a esto se recomienda utilizar cables de entre 25 y 35mm^2 , en este caso se utilizará un cable de 35mm^2 , que equivalente a la norma AWG sería un cable de calibre 2. En muchos casos la hoja técnica del regulador e inversor especifica la sección de cableado a utilizar.

En la figura 15, teniendo en cuenta todos los datos obtenidos en esta sección del proyecto, se presenta el esquema del plano de instalación eléctrica del sistema:

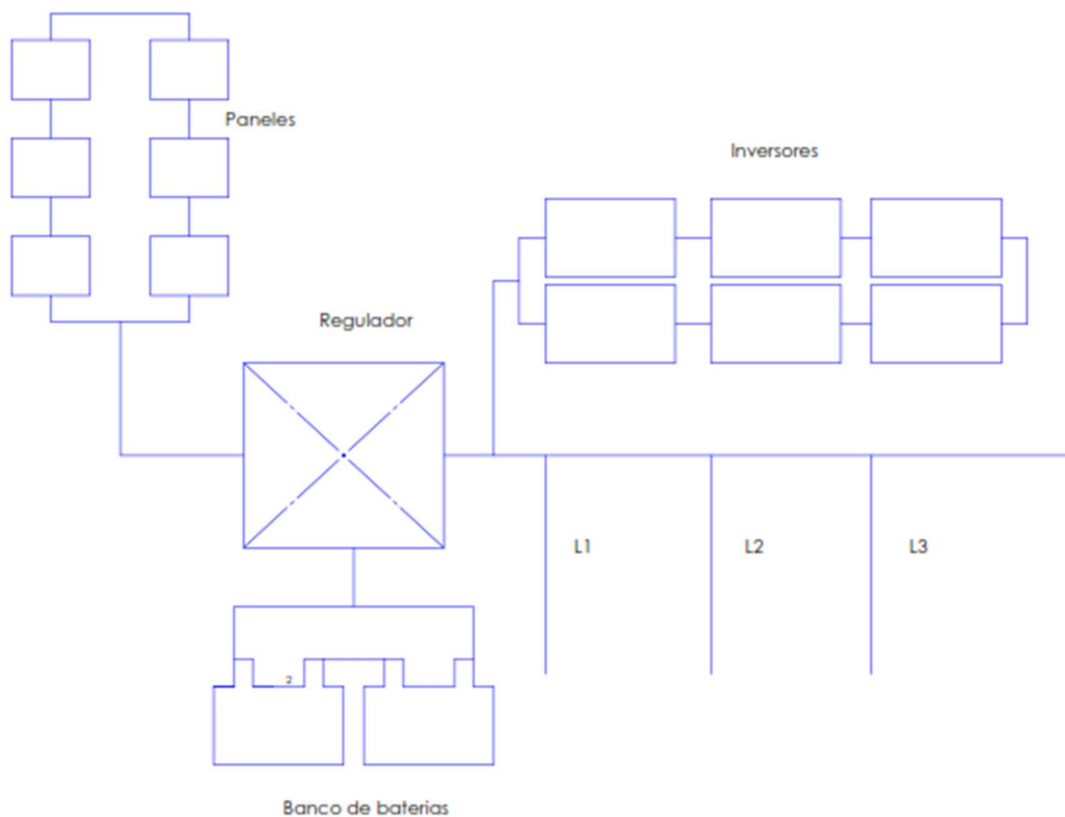


Figura 15. Esquema montaje eléctrico. Fuente del autor.

4.4. Comparación calculadora solar y cálculos realizados.

En este apartado se compararon los datos obtenidos en los ítems 4.2 de este capítulo con los datos entregados por una aplicación especializada en calcular los equipos para instalaciones fotovoltaicas. Esto se hizo con el fin de observar la exactitud de los datos obtenidos por los métodos matemáticos realizados en este documento.

La aplicación utilizada se denomina *calculationsolar* que se encuentra en la página web “www.calculationsolar.com/es/calcular.php”. Esta aplicación solicita como datos de entrada: Las coordenadas del sitio donde se va a instalar el sistema fotovoltaico, la inclinación, el consumo diario y el tipo de energía (DC o AC) a 110V o 220V, que en el caso del presente proyecto corresponde a: 8.75, -75.883, 6°, 12100W y 220V. Adicionalmente se ingresan los datos técnicos de los equipos seleccionados (paneles, regulador, inversor y baterías) para el cálculo de mismo sistema elaborado por el autor. Una vez la aplicación realiza los cálculos correspondientes entrega un informe que se encuentra en el anexo J.

Tabla 18. Comparacion entre cálculos manuales y Calculationsolar. Fuente del autor.

	Cálculos manuales	Calculationsolar
HSP	4 h/dias	4.83 h/dias
N° Paneles	12	12
Potencia simultanea	17280Wh/d	17664 Wh/d
N° Inversores	6	6
Capacidad del sistema de baterias	319 Ah	348Ah
N° de baterias en paralelo	6	6
N° Baterias en serie	4	4
Capacidad de carga	100A	100A

El análisis entregado por *calculationsolar* presenta que el mes más desfavorable según consumos es octubre y la inclinación optima anual debería ser de 9,74°. En la tabla 16 se realiza una comparación entre los cálculos manuales realizados anteriormente y los entregados por la aplicación.

Como se evidencia en la tabla los cálculos entregados por *calculationsolar* son similares a los obtenidos en este documento, en algunos casos se evidencia una diferencia entre algunos datos calculados como los son las horas solar pico (HSP), la potencia en la que todos los equipos estarán trabajando que es la potencia simultanea y la capacidad del sistema de baterías. La diferencia se debió a que las HSP entregadas por la aplicación son 0.83 mayor a la obtenida en los cálculos realizados dando así una mayor potencia entregada por el sistema. Además, la aplicación otorga el porcentaje de eficiencia de cada equipo al momento de trabajar, en este punto se puede observar que los equipos tienen una eficiencia entre el 85% y el 100% sobre la necesidad real.

CAPITULO 5: EVALUACION DE COSTOS

En este capítulo se detalla el estudio de costos de este proyecto, se presentan las cotizaciones para los sistemas fotovoltaicos y de refrigeración y se realiza un análisis de las mismas para así realizar tomar la decisión de elegir la que mejor se ajusta al proyecto. Se presentan los costos totales para la realización del proyecto y los beneficios de ley que cobijan a las personas que realicen instalaciones de energía no convencionales.

5.1. Comparación de costos de sistema fotovoltaico.

El análisis de costos del diseño de este proyecto tomó como referencia cotizaciones del mercado con características similares al diseño propuesto, esto debido a que los proveedores cotizan sobre el inventario que poseen al momento de realizar las cotizaciones.

Para la elaboración de las cotizaciones se escogieron dos empresas las cuales solicitaron, el consumo total diario y son ellos quienes sugieren que equipos usar para satisfacer la demanda de la energía suministrada. Por otra parte el autor de este informe realizo una tercera cotización haciendo una valoración de cada equipo por separado con empresas extranjeras y otra con empresas nacionales con el fin de buscar proveedores de los distintos equipos y elegir los del precio más favorables en cada caso.

En la tabla 19 se presentan las 4 cotizaciones donde se exponen la descripción de los equipos, las cantidades, valor unitario, valor total y observaciones sobre el envío. Además, se observa que la cotización con mayor valor es la realizada con compañías internacionales, los factores que hacen que se incrementen los costos en esta propuesta son el precio del dólar, el costo de la importación y también el transporte desde la zona franca en Bogotá hasta la ciudad de Montería, siendo esta la cotización menos favorable.

Las propuestas que realizaron las dos empresas nacionales tienen precios muy cercanos, pero estos ofrecen equipos con características, precios, cantidades y tamaños distintos. Por otro lado las empresas no prestan el servicio de transporte desde la ciudad de origen (Medellín y Bogotá) hasta el destino (Montería). Por último la cotización realizada por el autor de este documento, en la cual se contactaron diferentes proveedores nacionales es la cotización más baja presentada, en la que además se integra el valor del envío.

Tabla 19. Comparacion de cotizaciones de empresas en el mercado nacional e internacional. Fuente del autor.

Empresa	Producto o servicio a cotizar	Unidades	Costo unitario	Valor total	Observaciones
Energia y Movilidad S.A.S.	Paneles solares BIFACIAL MONO 385W	14	\$ 560.000,00	\$ 48.203.310,44	La empresa no presta el servicio de flete para la entrega de los productos ni la instalacion.
	Inversor solar QUATTRO Bus Victron	5	\$ 4.587.532,57		
	Regulador solar MPPT 150/85 Tr Victron	1	\$ 2.345.967,61		
	Bateria solar Gel 12V 200ah	12	\$ 1.056.000,00		
Solartex Colombia S.A.S.	Paneles solares 330 watts policristalino QCELLS	16	\$ 520.000,00	\$ 47.405.046,00	La empresa no presta el servicio de flete para la entrega de los productos ni la instalacion.
	Inversolar solar Hybrido UPS 3000 watts 48V120V	6	\$ 3.600.000,00		
	Regulador solar MPPT 100A 12-48V 150V	1	\$ 1.907.882,00		
	Bateria solar Gel Netion 200 amperes 12 voltios	14	\$ 980.528,00		
Compañias internacionales	Panel solar 400w 48V Policristalino	12	\$ 850.000,00	\$ 75.000.000,00	La oferta comercial incluye la entre de la mercancia en bodegas, el valor incluye importancio de los productos
	Inversor solar de 12v 220v 3000w	3	\$ 5.200.000,00		
	Regulador de carga solar 150A	1	\$ 4.000.000,00		
	Paquete bateria litio recargable 12V 250 ah	10	\$ 1.520.000,00		
Cotizacion del autor del proyecto	Panerl solar 400w 48V Monocristalino	12	\$ 620.000	\$ 44.585.948	Los valores suministrados preveen gastos de envios pero no la instalacion de los componentes.
	Inversor solar de 48v 110/220v 3000w	6	\$ 3.000.000		
	Regulador MPPT de 100A y 96V	1	\$ 1.890.000		
	Bateria gel 12V 100ah	24	\$ 600.000		

Las diferencias entre las cotizaciones de las empresas nacionales antes mencionadas y la realizada por el autor se deben a la no integración del valor de transporte de los equipos y otra razón se atribuye a la prestación de la asesoría para la elección de los equipos y guía de instalación, debido a que este último es un servicio que las empresas tampoco prestan. Cabe resaltar que en el precio final de todos los artículos esta agregado el IVA y en el caso de la cotización internacional se le ha sumado el presunto costo de la importación de los equipos.

5.2. Comparación de costos de sistema refrigeración.

En el caso del sistema de refrigeración se realizó una cotización a 2 empresas locales y la del autor de este proyecto la cual es la compilación de varios proveedores directos de equipos de refrigeración. Las dos empresas que se presentan en la tabla 18, son empresas dedicadas a la instalación de sistemas de refrigeración.

Tabla 20. Cotizaciones del sistema de refrigeración con proveedores nacionales. Fuente del autor.

Industrial 360 S.A.S.	Compresor OSKA8591-K	1	\$ 3.850.352,00	\$ 9.640.378,02
	Evaporador Seria AD	1	\$ 1.627.784,00	
	Condensador EOS	1	\$ 2.052.789,00	
	Valvula de expansion termostática	1	\$ 570.233,00	
Obras Montajes y Seguridad industrial S.A.S.	Compresor Disco NH3	1	\$ 3.740.667,00	\$ 9.108.893,08
	Evaporador Serie AT NH3	1	\$ 1.522.975,00	
	Condensador IDC3	1	\$ 1.870.450,00	
	Valvula de expansion termostática	1	\$ 520.440,00	
Cotizacion del autor del proyecto	Compresor NH3 GEA	1	\$ 3.750.200,00	\$ 8.411.153,24
	Evaporador TA10	1	\$ 1.233.420,00	
	Condensador DVT 001	1	\$ 1.624.332,00	
	Valvula de expansion termostática	1	\$ 460.244,00	

Las cotizaciones entregadas por las empresas Industrial 360 S.A.S. y Obras Montajes y Seguridad Industrial S.A.S. se realizaron teniendo en cuenta las características elegidas en el capítulo 3 de este documento y estos ofrecieron los equipos que tienen en su inventario de las marcas que ellos distribuyen.

El valor de las tres cotizaciones es muy aproximado entre ellas. La realizada por el autor es la más económica, se cree que la variación de los costos de las tres cotizaciones se debe a que las 2 empresas presentadas se desempeñan como intermediarios entre los grandes proveedores y el cliente final, también se presume que

ellos agregan el costo de la asistencia en la selección de los equipos. Todas las cotizaciones en su valor final tienen incluido el IVA y transporte.

5.3. Costos totales

En la tabla 19 se han discriminado los equipos, materiales y demás objetos que hacen parte del diseño, se describen las cantidades necesarias, su valor unitario y su valor total, sumado a esto los honorarios del ingeniero encargado del proyecto, dando un total de sesenta y dos millones setecientos setenta mil cuatrocientos tres pesos (\$62.770.403 M/CTE), los cuales cubren los costos de transporte e instalación de los equipos y la construcción del cuarto frío en mampostería a todo costo.

Tabla 21. Costos totales. Fuente del autor.

Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Total
Compresor serie F NH3 GEA	1/4 HP	1	\$ 3.750.200,00	\$ 3.750.200,00
Evaporador TA10	1/4HP	1	\$ 1.233.420,00	\$ 1.233.420,00
Condensador DVT 001	1/4HP	1	\$ 1.624.332,00	\$ 1.624.332,00
Valvula de expansion termostática	3/8"	1	\$ 460.244,00	\$ 460.244,00
Tuberia tipo L diametro 3/8"	m	10	\$ 90.000,00	\$ 900.000,00
Fibra de vidrio	m ²	17,8	\$ 8.551,00	\$ 152.207,80
Panel aislante tipo sandwich	m ²	30	\$ 60.000,00	\$ 1.800.000,00
Modulos fotovoltaicos	400W	12	\$ 620.000,00	\$ 7.440.000,00
Inversor 110/220 48V	3000W	6	\$ 3.000.000,00	\$ 18.000.000,00
Bateria de gel 12V	100Ah	24	\$ 600.000,00	\$ 14.400.000,00
Regulador MPPT 96V	100A	1	\$ 1.890.000,00	\$ 1.890.000,00
Cable AWG 1	m	8	\$ 50.000,00	\$ 400.000,00
Cable AWG 2	m	12	\$ 60.000,00	\$ 720.000,00
Subtotal				\$ 52.770.403,80
Construccion de cuarto en mamposteria todo costo			\$ 6.000.000,00	\$ 6.000.000,00
Honorarios Ingeniero			\$ 4.000.000,00	\$ 4.000.000,00
Total				\$ 62.770.403,80

5.4. Retorno sobre la inversión y ahorro por ley 1715 de 2014

Teniendo en cuenta el resultado del apartado anterior y haciendo una suposición de que la zona objeto de estudio se encuentra conectado al sistema eléctrico nacional, se quiere evidenciar el ahorro y los beneficios económicos que la instalación fotovoltaica de brindaría al cliente de este proyecto.

- En primer lugar se hizo un estimado de las ganancias mensuales adicionales del cliente, teniendo en cuenta que hoy la finca produce 80 kg de queso y una vez culminado el proyecto pasaría a producir 210 kg diarios de producto almacenados en el cuarto frío. Teniendo en cuenta que el queso en la ciudad de Montería tiene un precio oscilatorio se fijó un valor por kilo de 10 mil pesos y una ganancia

del 25% del valor anterior, teniendo una ganancia diaria de \$525.000 COP y una ganancia mensual de \$15.750.000 COP, esto en condiciones ideales.

Para estimar el tiempo en el cual se pagará todo el sistema, se estimó que el 40% de las ganancias serán destinadas a la recuperación de la inversión de los sistemas de refrigeración y fotovoltaicos. Según lo anterior mensualmente habrá un retorno aproximado \$6.300.000 M/CTE. Teniendo en cuenta lo anterior y previendo el mejor de los escenarios posibles para el cliente este demorará aproximadamente 10 meses en recuperar la inversión realizada.

- Además del ahorro monetario, la ley 1715 de 2014 presenta algunos incentivos para las personas que realicen inversiones en la instalación de fuentes no convencionales de energía (FNCE) en su artículo 11 donde establece “*Como Fomento a la Investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción de energía eléctrica con FNCE y la gestión eficiente de la energía, los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en este sentido, tendrán derecho a deducir de su renta, en un período no mayor de 15 años, contados a partir del año gravable siguiente en el que haya entrado en operación la inversión, el 50% del total de la inversión realizada*”. Por lo tanto el cliente acogiéndose a la ley 1715 de 2014 podría estar ahorrándose \$31.385.000 COP en impuesto de renta en un periodo no mayor a 15 años.
- Como un análisis adicional y bajo la suposición de que en algún momento el corregimiento de Guateque fuese conectado al SIN, se realizó una proyección de cuanto pagaría anualmente el cliente en energía eléctrica, teniendo en cuenta que el valor de kWh en la ciudad de Montería para el año 2021 es de \$544 pesos con un incremento anual del 0,67% según el DANE sobre el consumo del sistema. Se estima que el cliente pagaría en energía eléctrica si instalara el sistema este año dos millones cuatrocientos tres mil pesos (\$2.403.000 COP) y este valor aumentaría anualmente 0,67%.

Analizando la información hasta aquí presentada se evidencia que el proyecto tiene un retorno sobre la inversión menor a un año haciéndolo atractivo y rentable para el dueño de la finca e incluso para otras fincas aledañas al corregimiento.

CONCLUSIONES

- Mediante el uso de un estudio morfológico y la aplicación de una matriz Pugh, se determinó que la alternativa de refrigeración por compresión, paneles monocristalinos, construcción en mampostería, baterías estacionarias y refrigerante natural es la que se presenta como mejor opción para la resolución del problema por cumplir con los criterios de evaluación.
- Teniendo en cuenta las características de refrigeración del producto, la temperatura externa y los agentes externos se determinó que la carga térmica, con un factor de sobredimensionamiento del 10%, es de 1.232 kW, con una capacidad refrigeración de 0.077kW. Además se determinaron las temperaturas del evaporador y condensador fueron como -3.777°C y 54°C respectivamente; un flujo másico de refrigerante de 0.0054 kg/min y un COP de 3.08.
- Se determinó que el consumo diario de todo el sistema de refrigeración es de 12100W; se obtuvo que en los meses donde se presenta menor radiación solar solo hay 4 horas solar pico, es decir, 4 horas donde la radiación sobre los paneles es máxima, a partir de ahí se calculó una cantidad necesaria de 12 paneles solares, 1 regulador, 24 baterías para un día de autonomía además al tener en cuenta el uso simultaneo de todos los equipos se tuvo una potencia de 17280W a partir de este dato se estableció el uso de 6 inversores de 3000w 110/220V para una conexión trifásica.
- Se realizó una evaluación de retorno de la inversión y se determinó que al momento de la puesta en marcha del cuarto frío este recuperaría la inversión en un tiempo de 11 meses. Además, si el cliente se acoge a los incentivos de la ley de energía renovables 1715 de 2014 podría deducir el 50% de la inversión realizada en su renta en un tiempo no mayor a 15 años.
- Al comparar las cotizaciones para el sistema fotovoltaico, se observa que la presentada por el autor realizada con proveedores nacionales es de menor costo frente a la internacional debido a los costos de importación y transporte. Frente a las empresas nacionales de intermediación de equipos presenta valores cercanos, no superiores a \$4.000.000 COP.

RECOMENDACIONES

- De implementarse la construcción de la cámara frigorífica, se sugiere la compra de productos de la región y equipo técnico local a fin de reducir costos.
- Se sugiera realizar formatos de control de temperatura y presión de trabajo y calidad de los productos con el fin de conocer posibles deficiencias que pueda presentar el sistema de refrigeración posterior o en el momento de su instalación.
- Se recomienda realizar una capacitación a los operarios para que estos puedan realizar operaciones de mantenimiento al sistema de refrigeración y al sistema fotovoltaico, sobre su funcionamiento, las medidas preventivas y correctivas para la conservación de la mismas.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- 1 S. d. s. p. d. Superservicios, «superservicios.gov.co,» Diagnostico de la prestación de servicio de energía eléctrica, 2017. [En línea]. Available: //www.superservicios.gov.co
- 2 N. Suarez y I. Tobasura, «Lo rural, un campo inacabado.,» *scielo*, vol. 61, nº 2, pp. 4480-4495, 2008.
- 3 Procolombia, «Logística de perecederos y cadena de frío en Colombia,» Procolombia, Bogota D.C., 2014.
- 4 J. Viloria de la Hoz, «La economía ganadera en el departamento de Córdoba,» Centro de estudios económicos regionales, Montería, 2004.
- 5 M. d. A. Minagricultura, «minagricultura,» 15 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.minagricultura.gov.co>
- 6 FEDEGAN, «Federacion Colombiana de Ganaderos,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.fedegan.org.co/quienes-somos>.
- 7 W. Whitman, Tecnología de la refrigeracion y aire acondicionado, Bogota D.C.: Paraninfo, 2000.
- 8 J. Bravo Méndez, Estudio Analpítico de la Transferencia de Calor en un Absorcedor de Burbujas., Mexico D.F.: Instituto Politécnico Nacional, 2011.
- 9 J. V. sachdeva y S. Kachhwaha, «Performance Analysis of a Vapour Compression-Absortion Cascaded Refrigeration System With undersized Evaporator and Condenser,» Journal of energy un Southern Africa, Delhi, 2014.
- 10 C. Yi, H. Wei, S. Luili y J. Hongguang, «A New Absortion-compression Refrigeration System Using a Mid-temperature Heat Sorces for Freezing Application,» ScienceDirect, Beijing, 2015.

- 11 G. Figaredo, «Caracterización experimental y modelización de una enfriadora de absorción de simple/doble efecto de H₂O-libre con accionamiento a dos temperaturas para climatización de edificios.» Universidad Rovira i Vigili, Tarragona, 2013.
- 12 C. Ledezma, «Estudio termodinámico de un sistema de refrigeración con módulo termoelectrónico para enfriamiento del refrigerador.» Instituto Politécnico Nacional, México D.F., 2012.
- 13 Y. Cengel y M. Boles, Termodinámica, México D.F.: McGraw Hill, 2009.
- 14 E. Njörk, B. Palm y J. Nordenberg, «A thermographic study of the on-off behavior of an all-refrigerator,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, nº 14-15, pp. 1974-1984, 2010.
- 15 V. Faires y C. Simmang, Termodinámica, México D.F.: Unipon Tipográfica, 1983.
- 16 K. Quesada Valverde, «Refrigerante natural como alternativa para la climatización hotelera, analizado desde el ámbito ambiental, energético, eficiencia y económico.» Instituto Tecnológico de Costa Rica: Escuela de ingeniería electromecánica, Cartago, 2018.
- 17 J. P. Plazas Monroy, «Los refrigerantes y el medio ambiente,» Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2012.
- 18 C. J. Hermes y C. Melo, «Assessment of the energy performance of household refrigerators via dynamic simulation,» *Applied thermal engineering*, vol. 29, nº 5-6, pp. 1153-1165, 2009.
- 19 d. Córdor, «Diseño de una cámara frigorífica para camarón,» Universidad de las Américas., Lima, 2006.
- 20 S. Arteaga, «Cálculo y dimensionamiento de una cámara de refrigeración para productos orgánicos perecederos.» Escuela de ingeniería de Antioquia, Envigado, 2016.
- 21 Jara, Vásquez y Gatica, «Cálculo de una cámara de frío para conservación de hielo, hortalizas y frutas congeladas,» Universidad del Bío-Bío, Chile, 2013.
- 22 R. García, «Diseño del sistema de refrigeración de una bodega de vinificación en tinto,» Universidad de Cádiz, Madrid, 2008.

- 23 C. T. Phan, E. B. Pantastico, K. Ogata y K. Chachin, «Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetable,» The avi publishione Company, 2005.
- 24 Muñoz-Delgado, «Refrigeración y congelacion de alimentos vegetales.,» Fundacion española de nutricion, Madrid, 2013.
- 25 E. G. Hall, «Refrigeration applications to fish and vegetables in south asia,» International institute of refrigeration, Roma, 2003.
- 26 International Institute of Refrigeration, «Packing stations for fruits and vegetable,» Institute of refrigeration, Paris, 2001.
- 27 B. Ahmed y S. M. Zubair, «Performance degradation of a vapour compression refrigeration systema under fouled,» Internationa Jorunal of refrigeration., 2011.
- 28 R. Veisseyre, Lactologia Técnica, Getafe: Editorial Acribia, 2008.
- 29 L. Páez, L. Nancy, S. Keyla, A. Spaldiliero y O. Verde, «Características fisico-químicas de la leche cruda en als zonas de aroa y Yaracal,» *Científica esime*, vol. 12, nº 2, pp. 34-25, 2002.
- 30 Rangel-Romero, Rojas-garnica, Rodriguez-Serrano y Rangel-Tlaseca, «Análisis termodinámico de un ciclo de refrigeracion real con refrigerante R-134A. para la obtencion de un COP optimo de operacion,» Universidad Tecnologica de Puebla, Puebla, 2017.
- 31 C. Bao Rios, «Desarrollo de una herramienta de cálculo del rendimiento estacional de bombas de calor segun norma UNE-En 14825,» Escola Tècnica Superior d'Energiyeria Industrial de Barcelona, Barcelona, 2017.
- 32 S. Segui, S. Orts y F. J. Gimeno, «Módulos fotovoltaicos,» Centro de formacion Permante. Universidad politecnica de Valencia, Valencia, España, 2014.
- 33 R. Fernández, «El inicio del fin de la era de los combustibles fosiles,» Rev. Viento sur, Madrid, 2006.
- 34 M. Abella, «Sistemas fotovoltaicos,» Escuela de organizacion industrial, Madrid, España, 2011.

- 35 P. Doria y C. Narvaez, «Estudio de viabilidad de la implementacion de un sistema fotovoltaico on grid para la integracion energetica renovable de la sede central de la Universidad de Córdoba,» Facultad de Ingenieria Mecanica, Monteria, 2016.
- 36 J. Baez y R. Forero, «Energia solar fotovoltaica, una alternativa sustentable para el futuro,» Universidad Santo Tomas, Bogota D.C., 2018.
- 37 N. Kannan y D. Vakeesan, «Solar energy for furute worl: A review,» Sustain Energy, 2016.
- 38 I. Rodriguez, «Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilizacion en las regiones de la costa y sierra del ecuador,» Universidad politecnica de Catalunya, Barcelona, 2015.
- 39 J. Beltran, «Prototipo fotovoltaico con seguimiento del sol para procesos electroquimicos,» Centro nacional de investigacion y desarrollo tecnologico coordinacion de mecatronica, Cuernavaca , 2007.
- 40 P. Cheremisinoff y T. Regino, Principles and applications of solar energy, Michigan: Ann Arbor Science, 2008.
- 41 Alcaldia de Monteria, Como es Montería, Montería: Alcaldia de Monteria, 2018.
- 42 IDEAM, «Cromatografía de las principales ciudades,» Instituto de Hidrologia Meteorologia y estudios ambientales, Bogota D.C., 2020.
- 43 M. Palacios y J. Mendoza, «Desarrollo de integracion tecnologica de recursos energeticos renovables en sistemas productivos agricolas y agroindustriales Monteria, Cordoba, Caribe,» Universidad Pontificie Bolivariana, Monteria, 2016.
- 44 S. Henandez, R. Collado, C. Fernandez y L. Baptista, Metodologia de la investigacion, Mexico D.F: McGraw Hill, 2014.
- 45 J. M. Izar, C. B. Ynzunza Cortes y A. Castillo Ramirez, Aplicacion del proceso analitico de jerarquizacion y la matriz Pugh en la seleccion del personal docente de posgrado, Mexico D.F.: Academia de ciencias Atizapan de zaragoza, 2012.
- 46 I. N. d. V. d. M. y. A. INVIMA, «Consolidado gestión de informacion de seguridad de alimentos,» Invima, Montería, 2020.

- 47 M. d. S. y. P. s. Min. Salud y Proteccion social, *Resolucion Numero 2674*, Bogota D.C., 2013.
- 48 J. M. Mier Alvarado, «Diseño y ejecucion de una nueva cámara de maduracion y secado de queso y ampliacion de central frigorifica,» Escuela de ingenierias industriales, Valladolid, 2015.
- 49 D. Torres Cicuéndez, «Diseño de cámara para la congelacion y almacenamiento de pan,» Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2014.
- 50 H. C. Teran Herrera, O. B. Arteaga Lopez, W. E. Sanchez Ocaña, Y. Morales Tamayo y J. G. fausto Andres, «Diseño de cámaras frigorificas,» Universidad de las fuerzas armadas, Quito, 2019.
- 51 J. Surra Zapata, «Estudio tecnico de calculos y seleccion de equipamiento para la instalacion de 6 camaras frigorificas para el almacenamiento de melocoton y nectarina en la localidad de Zaidin, Huesca,» Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2014.
- 52 E. G. Pita, *Principios y sistemas de refrigeracion*, Mexico D.F.: Editorial Limusa S.A., 1991.
- 53 M. A. Diaz Castillo y J. C. Zapata Sigueñas, «Diseño de una camara friogorifica para la refrigeracion de 3 TN de pescado en el mercado zonal de lambayeque,» Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2020.
- 54 R. J. Dossat, *Principios de refrigeracion*, Mexico D.F.: Cecsa, 1997.
- 55 L. Peralta y E. Rodriguez, «La energia solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. caso: vereda Carupana, Municipio de Tauramena, departamento de Casanare,» universidad Javeriana, Bogota D.C., 2011.
- 56 IDAE, «Sistemas fotovoltaicos,» Instituto para la diversificacion y ahorra de la energia, Madrid, 2015.
- 57 J. A. Ladrón de Guevara, «Diseño y cálculo de una instalacion fotovoltaica aislada,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2014.
- 58 F. D. J. Acevedo Garces, «Diseño de una instalacion solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios,» Universidad nacional abierta y a distancia, Bogota D.C., 2016.

ANEXOS

Anexo A. Ficha técnica aislante tipo Sándwich.

Paneles de Cubierta · Panel Sandwich Group

CUBIERTA FRIGORIFICA

Tablas de cargas del Panel Cubierta Frigorífica

	Espesor del panel (mm)			
	80	100	120	150
Longitud del panel (mm)	Estándar de 2500 mm a 16000 mm			
Anchura del panel (mm)	1000 mm			
Conductividad térmica (W/mK)	PUR 0,023 W/mK / PIR 0,022 W/mK			
Soporte exterior	Perfil metálico grecado de 5 grecas			
Peso del panel (kg) por metro lineal Espesor Acero: 0,5 mm ± 0,1mm	12,10	12,90	13,70	14,90

CHAPAS EN ACERO 0.5/0.5 mm –APOYO 120 mm				
Carga uniformemente distribuida	ESPESOR NOMINAL DEL PANEL mm			
	80	100	120	150
80	500	570	630	730
100	450	510	580	670
120	420	480	540	620
140	390	450	500	580
160	370	420	480	550
180	355	400	450	520
200	330	380	430	500
220	320	360	410	470
250	300	340	385	445

Más características técnicas de la Cubierta Frigorífica

Espesor mm	Transmisión Térmica		Peso Panel
	W/m ² °C	Kcal/m ² h °C	kg/m ² (0,5/0,5)
80	0,28	0,24	12,10
100	0,22	0,19	12,90
120	0,19	0,16	13,70
150	0,15	0,13	14,90

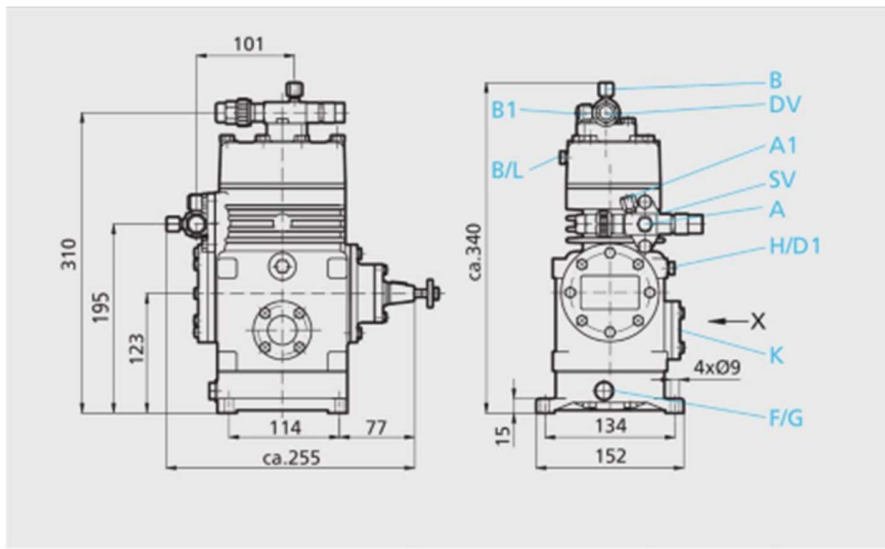
* Para espesor de chapa de 0,4/0,4

Desviación (mm)		
Largo	L ≤ 3 m L > 3 m	± 5 mm ± 10 mm
Ancho útil		± 2 mm
Espesor	D ≤ 100 mm D > 100 mm	± 2 mm ± 2 %
Desviación de la perpendicularidad		6 mm
Desalineamiento de los parámetros metálicos internos		± 3 mm
Acoplamiento chapas inferiores		F = 0 + 3 mm

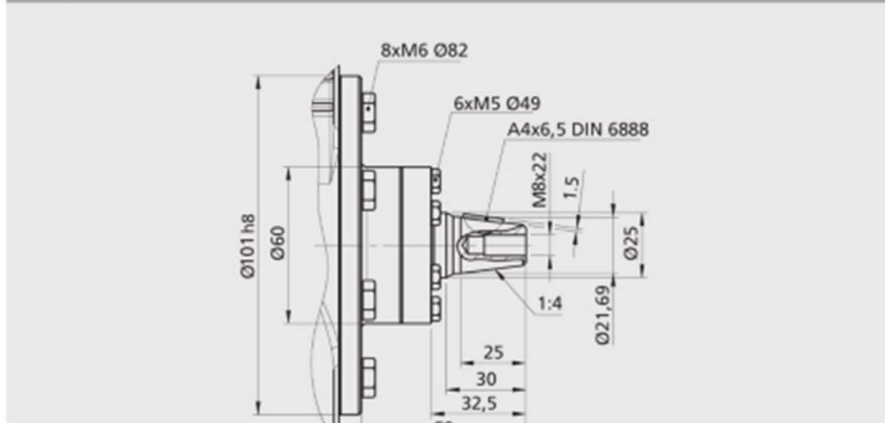


Valores orientativos para los diferentes grosores que fabrica Panel Sandwich Group. Para más información, consulte a su comercial.

Anexo B. Ficha técnica compresor abierto Serie F HN3

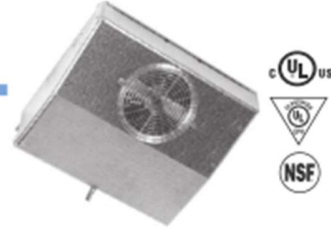


Shaft end



Anexo C. Ficha técnica evaporador Modelo TA

Model TA Thin Profile Air Defrost Reach-In Unit Cooler



Features

- Textured aluminum cabinet.
- Molded Lexan® guards and fans.
- Drain fitting mounted at 45-degree angle so drain can be run through back or bottom of refrigerator.
- Room for expansion valve inside the unit.
- Stainless steel screws.
- Motors are thermally protected and permanently lubricated.
- Convenient, moistureproof motor plug.
- Compact design! Does a big job in a small space.
- Optional Bohn-Kote® coated coil available (Model TAK) for optimum protection in corrosive environments.
- Internal junction box for electrical connection.
- All models are UL listed for the United States and Canada.
- UL classified to NSF standards.

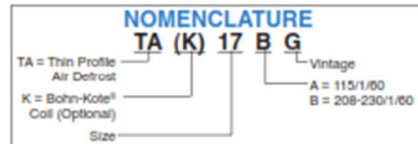
Application

Model TA is a thin profile unit which mounts in the top of a refrigerator and makes the entire top shelf area usable. The attractive low silhouette makes the unit particularly desirable for display type refrigerators. It can also be used in back bars, under counter cabinets, or wherever space is at a premium.

For 35° to 45°F fixtures at 10° to 15° TD applications with 16 hours maximum compressor run time per day.

Drain fitting at 45-degree angle so drain can be run through back or bottom of refrigerator.

New! Sweat inlet connection to reduce leaks
(flare connection available as a ship loose option)



Performance and Electrical Data

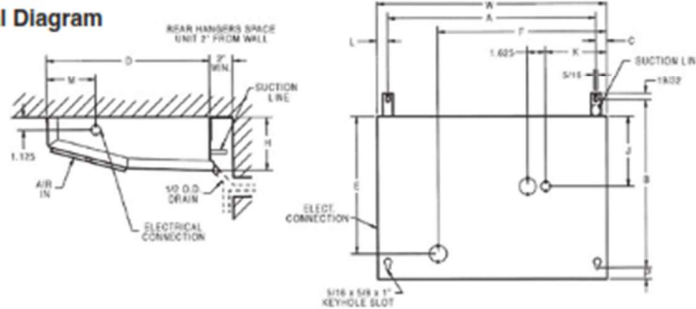
MODEL	BTUH 10°F TD	MOTOR DATA				CONNECTIONS (INCHES)			APPROX. SHIP WT. (LBS.)
		CFM	QTY	115/1/60 TOTAL FLA	208-230/1/60 TOTAL FLA	INLET	COIL SUCTION	DRAIN	
10	1000	120	1	0.8	0.4	3/8 OD	3/8 ID	1/2 OD	14
13	1300	170	2	1.6	0.8	3/8 OD	3/8 ID	1/2 OD	17
17	1700	210	2	1.6	0.8	3/8 OD	3/8 ID	1/2 OD	21
23	2300	330	3	2.4	1.2	3/8 OD	3/8 ID	1/2 OD	28
30	3000	360	3	2.4	1.2	3/8 OD	1/2 ID	1/2 OD	33
†43	4300	540	4	3.2	1.6	1/2 OD	5/8 ID	1/2 OD	44
†55	5500	650	5	4.0	2.0	1/2 OD	5/8 ID	1/2 OD	53

† Models 43 and 55 use external equalized expansion valve.

Physical Data

MODEL	DIMENSIONS (INCHES)											
	A	B	C	D	E	F	H	J	K	L	M	W
10	14-5/8	14	15/16	13-1/2	10-1/2	11-3/8	4-1/2	8-7/8	2-1/2	15/16	4-3/8	16-1/2
13	18-5/8	14	15/16	13-1/2	10-1/8	10-1/4	4-1/2	8-3/8	9-1/2	15/16	4-3/8	20-1/2
17	22-1/8	15	15/16	14-1/2	11-1/8	12	4-1/2	9-3/8	11-1/4	15/16	4-3/8	24
23	29-3/4	15	15/16	14-1/2	13	20-7/8	4-1/2	10-3/4	10-1/4	15/16	4-3/8	31-5/8
30	38-1/8	15	15/16	14-1/2	13	29-3/4	4-1/2	10-3/4	9-3/4	15/16	4-3/8	40
43	51-1/2	15	15/16	14-1/2	13	48-3/4	4-1/2	10-3/4	13-1/4	15/16	4-3/8	53-3/8
55	51-1/2	15	15/16	14-1/2	13	49	6-3/4	10-3/4	11	15/16	4-3/8	53-3/8

Dimensional Diagram



Bohn Reach In Unit Coolers

3

Anexo D. Ficha técnica condensador

Descripción general

Detalles rápidos

Lugar del origen:	Zhejiang, China	Marca:	Ruixue
Número de Modelo:	FNH-5.4/18	Tipo:	Condensador
Uso:	Partes de refrigeración	Certificación:	CE
Estructura:	Cara soplado	Material:	Acero y cobre
Capacidad de inter...	5.4kw	Área:	18m2
Diámetro:	400mm	Volumen de aire:	3400m3/H
Potencia del ventila...1*180		Entrada:	19mm
Salida:	16mm	Artículo:	Intercambiador de Calor de carcasa del tubo

Material de la hoja:	Aluminio o acero inoxidable oResina
Material de la carcasa:	Acero inoxidable o acero galvanizado
Voltaje del Motor:	Según el requisito del cliente
Conexión	De la caja de terminales
Clase de protección:	IP54
Original:	Ventiladores de marca internacional y China disponibles

Alta eficiencia de

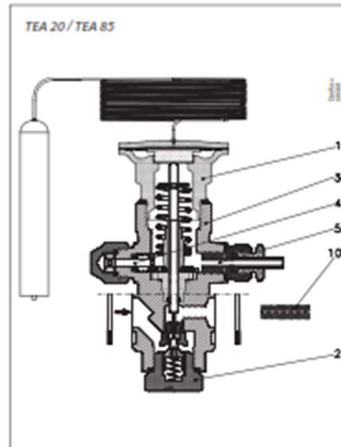
Material:	De cobre
Tubérculo OD:	9,52 MM 12,7 MM
Dentro de tipo:	Ambos suave y ranurado
Línea:	Geometría disponible 21,65*25 y 38,1*33
Ventajas:	Aumenta las áreas de intercambio de calor interior del tubo y la intensidad del refrigerante. Al menos un 15% de eficiencia de transferencia de calor aumentada

Anexo E. Ficha técnica válvula de expansión termostáticas



Folleto técnico | Válvulas de expansión termostáticas para amoníaco, tipo TEA

Diseño/ Funcionamiento



1. Elemento termostático (diafragma)
2. Conjunto de orificio
3. Cuerpo
4. Husillo de ajuste de recalentamiento (ver "Instrucciones")
5. Conexión de igualación de presión
10. Orificio de salida independiente (sólo para TEA 20-1)

General

La TEA tienen un conjunto de orificio intercambiable y un elemento termostático. La TEA está formado por tres componentes intercambiables:

- Elemento termostático(1)
- Conjunto de orificio (2)
- Cuerpo (3), con conexión de bridas

La válvula tiene igualación externa. En la TEA 20-1 (3.5 kW) se utiliza un orificio de salida que viene por separado (10).

El sensor de doble contacto asegura una reacción rápida y precisa a las variaciones de temperatura en el evaporador. Además, permite un montaje sencillo y rápido del sensor.

Las válvulas resisten bien los efectos de un desescarche con gas caliente.

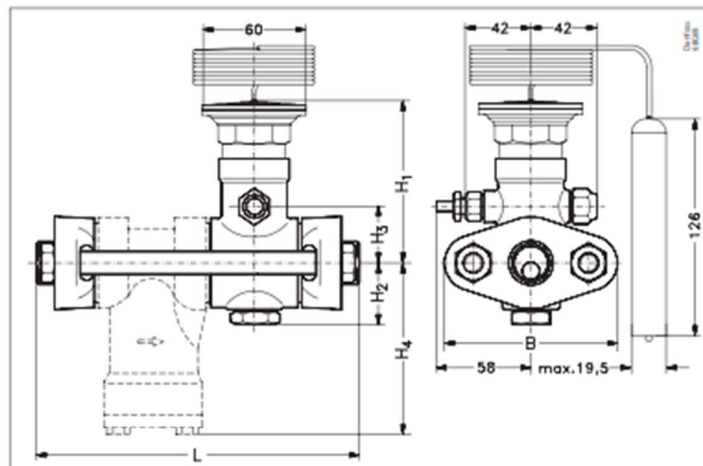
El movimiento del husillo se transmite a una rueda dentada lo que asegura que el ajuste del recalentamiento se hace de forma suave y precisa.

La estrangulación de la sección del orificio tiene una larga vida útil, el cono de válvula y asiento están hechos de una aleación especial de acero que proporcionan unas buenas cualidades frente al desgaste.

Nota:

La TEA no es capaz de cerrar totalmente, por lo tanto se necesita una válvula solenoide para cerrar el paso de líquido cuando el sistema está parado.

Dimensiones y pesos



Tipo	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	L		B	Peso	
	mm	mm	mm	mm	Sin filtro mm	Con filtro mm		Sin filtro kg	Con filtro kg
TEA 20	94	38	23	96	110	104	80	2.1	3.0
TEA 85	104	37	35	106	125	199	95	3.0	4.5

Anexo F. Ficha técnica panel solar

www.jinkosolar.com



Cheetah HC 72M

390-410 Watt

MONO PERC HALF CELL MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

- Half Cell
- Mono PERC 72 Cell

PERC



KEY FEATURES

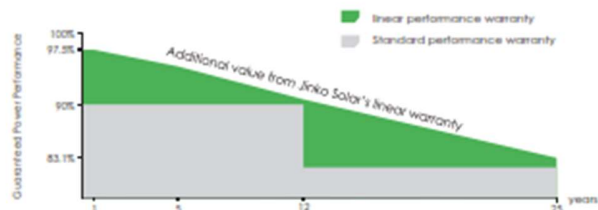
- 5 Busbar Solar Cell**
 5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.
- High Efficiency**
 Higher module conversion efficiency (up to 20.38%) benefit from half cell structure (low resistance characteristic).
- PID Resistance**
 Excellent Anti-PID performance guarantee limited power degradation for mass production.
- Low-light Performance**
 Advanced glass and cell surface textured design ensure excellent performance in low-light environment.
- Severe Weather Resilience**
 Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).
- Durability Against Extreme Environmental Conditions**
 High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

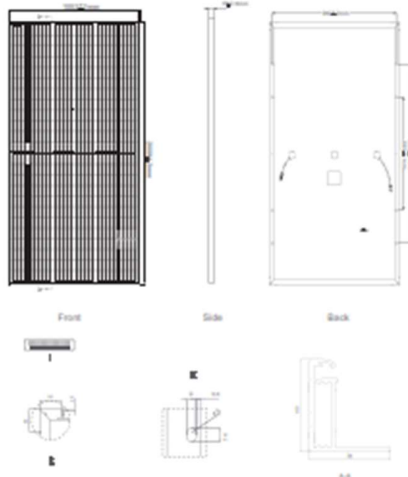
12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



- ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001 certified factory
- IEC61215, IEC61730, UL1703 certified product



Engineering Drawings

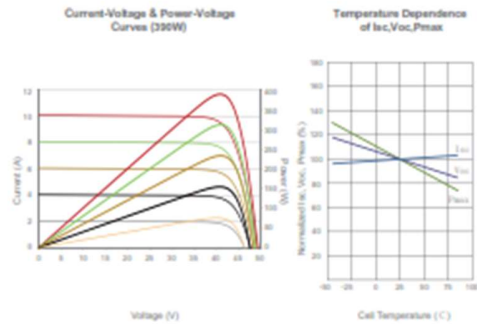


Packaging Configuration

(Two pallets =One stack)

27pcs/pallet , 54pcs/stack, 594pcs/40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono PERC 158.75×158.75mm
No. of Half-cells	144 (6×24)
Dimensions	2008×1002×40mm (79.06×39.45×1.57 inch)
Weight	22.5 kg (49.6 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm ² , (+) 290mm, (-) 145mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM390M-72H		JKM395M-72H		JKM400M-72H		JKM405M-72H		JKM410M-72H	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	390Wp	294Wp	395Wp	298Wp	400Wp	302Wp	405Wp	306Wp	410Wp	310Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.1V	39.1V	41.4V	39.3V	41.7V	39.6V	42.0V	39.8V	42.3V	40.0V
Maximum Power Current (Imp)	9.49A	7.54A	9.55A	7.60A	9.60A	7.66A	9.65A	7.72A	9.69A	7.76A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.3V	48.0V	49.5V	48.2V	49.8V	48.5V	50.1V	48.7V	50.4V	48.9V
Short-circuit Current (Isc)	10.12A	8.02A	10.23A	8.09A	10.36A	8.16A	10.48A	8.22A	10.60A	8.26A
Module Efficiency STC (%)	19.38%		19.63%		19.88%		20.13%		20.38%	
Operating Temperature (°C)	-40°C→85°C									
Maximum System Voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0→±3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.36%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 🌡 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 🌡 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

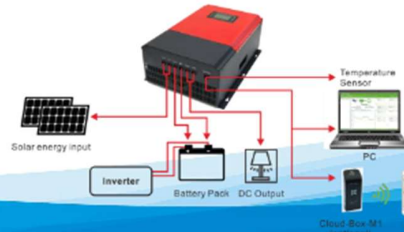
The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JKM390-410M-72H-A2-EN

Anexo G. Ficha técnica regulador MPPT

High power MPPT Solar Charge Controller



- ◆ It has an efficient MPPT algorithm, MPPT efficiency $\geq 99.5\%$, and converter efficiency up to 98%.
- ◆ Charge mode: three stages (constant current, constant voltage, floating charge), it prolongs service life of the batteries.
- ◆ Four types of load mode selection: ON/OFF, PV voltage control, Dual Time control, PV+Time control.
- ◆ Three kinds of commonly used lead-acid battery (Seal/Gel/Flooded) parameter settings can be selected by the user, and the user can also customize the parameters for other battery charging.
- ◆ It has a current limiting charging function. When the power of PV is too large, the controller automatically keeps the charging power, and the charging current will not exceed the rated value.
- ◆ Support multi-machine parallel to realize system power upgrade.
- ◆ High definition LCD display function to check the device running data and working status, also can support modify the controller display parameter.
- ◆ RS485 communication, we can offer communication protocol to convenient user's integrated management and secondary development.
- ◆ Support PC software monitoring and WiFi module to realize APP cloud monitoring.
- ◆ CE, RoHS, FCC certifications approved, we can assist clients to pass various certifications.
- ◆ 3 years warranty, and 3-10 years extended warranty service also can be provided.



Galaxy	Series	Galaxy-B96			Galaxy-B192\Galaxy-B216 (220) \Galaxy-B240					Galaxy-B384		
	Power model	70A	80A	100A	50A	60A	70A	80A	100A	70A	80A	
Product category	Controller Properties	MPPT (maximum power point tracking)										
	MPPT efficiency	$\geq 98\%$	$\geq 98\%$	$\geq 98\%$	$\geq 98\%$	$\geq 98\%$	$\geq 98\%$	$\geq 98\%$	$\geq 98\%$	$\geq 98\%$	$\geq 98\%$	
	System voltage	DC96V			DC192V\DC216V(DC220V)\DC240V					DC384V		
	Range of $V_{identification}$	DC72V-DC128V			DC144V-DC256V\DC162V-DC288V\DC180V-DC320V					DC288V-DC512V		
Input Characteristics	Heat-dissipating method	Intelligent fan cooling										
	Open circuit V_{max-pv}	DC430V			DC430V	DC430V	DC660V	DC660V	DC660V	DC850V		
	Start charge $V_{start-pv}$	$V_{bat}+20V$	$V_{bat}+20V$	$V_{bat}+20V$	$V_{bat}+20V$	$V_{bat}+20V$	$V_{bat}+20V$	$V_{bat}+20V$	$V_{bat}+20V$	$V_{bat}+20V$	$V_{bat}+20V$	
	Low protection V_{low-pv}	$V_{bat}+10V$	$V_{bat}+10V$	$V_{bat}+10V$	$V_{bat}+10V$	$V_{bat}+10V$	$V_{bat}+10V$	$V_{bat}+10V$	$V_{bat}+10V$	$V_{bat}+10V$	$V_{bat}+10V$	
	Over protection $V_{stop-pv}$	DC430V	DC430V	DC430V	DC430V	DC430V	DC660V	DC660V	DC660V	DC850V	DC850V	
	Rated PV power	7280W	8320W	10400	11700W\13000W	12480W\15600W	14560W\18200W	16640W\20800W	20800W\26000W	29120W	33280W	
Charge Characteristics	Selectable Battery Types	Sealed lead acid, Gel battery, Flooded (Other types of the batteries also can be defined)- Default Gel battery										
	Charge rated current	70A	80A	100A	50A	60A	70A	80A	100A	70A	80A	
	Charge Method	3-Stage: constant current(fast charging)-constant voltage-floating charge										
LOAD Characteristics	Load voltage	The same as the battery voltage			The same as the battery voltage					-	-	-
	Load rated current	70A	80A	100A	50A	60A	-	-	-	-	-	
	Load control mode	On/Off mode, PV voltage control mode, Dual-time control mode, PV+Time control mode			-					-	-	-
Display & Communication	Display mode	LCD128*64 dots/ backlight display										
	Communication mode	8-pin RJ45 port/RS485/support PC software monitoring/support WIFI module to realize APP cloud monitoring										
Other Parameters	Protect function	Input-output over / under voltage protection, Prevention of connection reverse protection etc.										
	Operation Temperature	$-20^{\circ}\text{C} - +50^{\circ}\text{C}$										
	Storage Temperature	$-40^{\circ}\text{C} - +75^{\circ}\text{C}$										
	IP(Ingress protection)	IP21										
	Net Weight (kg)	14.7kg			14.7kg	18.8kg			18.8kg			
	Gross Weight (kg)	16.6kg			16.6kg	20.6kg			20.6kg			
Product Size (mm)	371*500*187			371*500*187			391*500*227		391*500*227			
Packing Size(mm)	590*420*270			590*420*270			590*440*320		590*440*320			

Anexo H. Ficha técnica batería solar.

NETION - Óptimo Voltaje

Batería Solar con Display Gel 12V-100AH

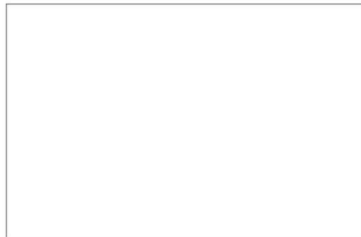


● Imagen de referencia

● Especificaciones

Voltaje Nominal	12 V	
Capacidad (índice de 10 horas) 25A	100Ah	
Dimensiones	Largo	488 ±2mm
	Ancho	239 ±2mm
	Altura	217 ±2mm
	Altura Total	222 ±2mm
Peso Aproximado	30.9kg ±3%	

● Dimensiones Externas



● Características

Capacidad (25 °C)	10 HR (10A)	100 Ah
	1 HR (55A)	57 Ah
	3 HR (25A)	77 Ah
Tipo de Terminal		T 3
Resistencia Interna Carga Completa (25 °C)		Aprox 4.2m Ω
Capacidad afectada por la temperatura	40 °C	104%
	25 °C	100%
	0 °C	83%
	- 15 °C	65%
Auto descarga (25°C)	3 Meses	Capacidad Restante : 91%
	6 Meses	Capacidad Restante : 82%
	12 Meses	Capacidad Restante : 65%
Temperatura Nominal de Funcionamiento		25°C ± 3 °C (77 °F ± 5°F)
Rango de Temperatura de Funcionamiento	Descarga	-15 °C ~ -50 °C (5 °F ~ -122 °F)
	Carga	-10 °C ~ -50 °C (14°F ~ -122 °F)
	Almacenamiento	-20 °C ~ -50 °C (-4 °F ~ -122 °F)
Carga (voltaje constante)	Cíclico (25°C)	Carga inicial menor a 30A Voltaje 14.5 - 14.9V
	Flotación (25°C)	Voltaje de carga 13.6 - 13.8V

● Los datos anteriores son obtenidos con los primeros 3 ciclos de carga/descarga. No son valores mínimos.

● Construcción

Componente	Placa Positiva	Placa Negativa	Contenedor	Cubierta	Separador	Electrólito	Válvula de Seguridad	Terminal
Materia Prima	Dióxido de Plomo	Plomo	ABS	ABS	AGM	Gel	Caucho	Cobre

● Características de descarga de corriente constante : A (25 °C , 77 °F)

FV / Time	10min	15min	30 min	1 h	2 h	3 h	5 h	8 h	10 h	20 h
9.60 V	217.8	173.3	106.9	64.4	36.1	26.1	18.3	12.1	10.1	5.4
10.2 V	206.9	166.3	103.0	61.8	35.6	25.7	18.0	12.0	10.0	5.3
10.5 V	201.0	162.4	100.0	60.5	35.3	25.5	17.8	12.0	10.0	5.3
10.8 V	194.0	158.4	97.8	58.7	34.9	25.2	17.6	11.9	10.0	5.2

● Características de descarga de potencia constante : W (25 °C , 77 °F)

FV / Time	10 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h	5 h	8 h	10 h	20 h
9.60 V	2352.2	1902.8	1199.9	733.6	418.8	306.9	216.8	144.5	121.8	64.3
10.2 V	2234.2	1826.6	1155.3	703.9	412.8	302.9	212.9	143.9	120.8	63.6
10.5 V	2170.1	1782.0	1145.4	699.9	408.9	300.0	209.9	143.6	119.8	63.4
10.8 V	2095.8	1739.4	1097.9	669.2	404.9	297.0	207.9	142.6	118.2	63.0

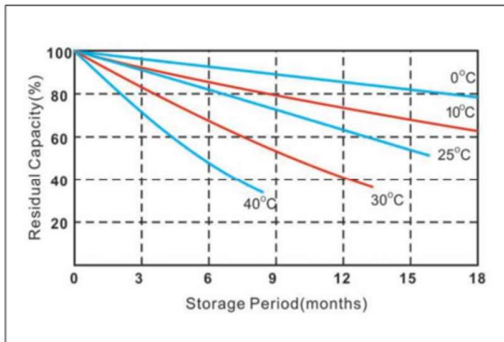
NETION - Óptimo Voltaje

Batería Solar con Display Gel 12V-100AH

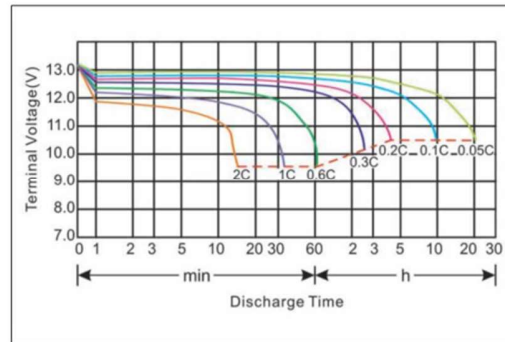
- Capacidad a diferente temperatura

Batería Tipo		-20°C	-10°C	0°C	5°C	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	45°C
GEL	12V	50%	70%	83%	85%	90%	98%	100%	102%	104%	105%

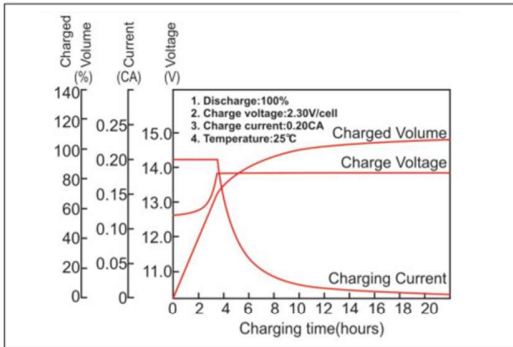
- Capacidad Residual



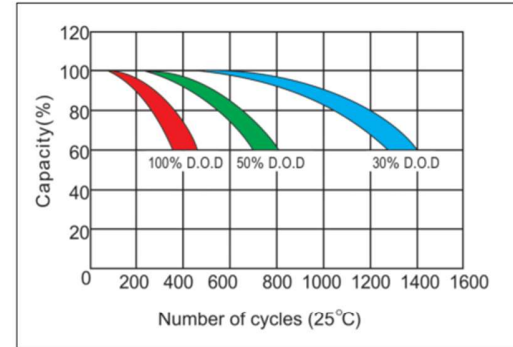
- Corriente de Descarga 25°C



- Característica de carga constante de Voltaje



- Ciclos de servicio en relación con la descarga



Anexo I. Ficha técnica Inversor.



Model	EP100-1024 TLV	EP100-1024 TLV	EP100-1512 TLV	EP100-1524 TLV	EP100-2012 TLV	EP100-2024 TLV	EP100-2512 TLV	EP100-4018 TLV	EP100-5018 TLV	EP100-5048 TLV	EP100-6048 TLV
Rated power(W)	1000	1500	1500	2000	2000	2500	3000	4000	5000	5000	6000
Power Factor	1										
Wave form	Pure sine wave / Same as input waveform (Egane mode)										
Output voltage RMS	100V/110V/120VAC/200V/220V/240VAC±1%										
Output frequency	50HZ or 60HZ (±0.3HZ) (as be set)										
Overload protection	Breaker + software protection										
Output short circuit	Breaker + software protection										
Inverter efficiency(peak)	≥95%										
Overload	100%Load+10% (more than stop output and fault code E1) 110%Load+10% (more than stop output and fault code E2) 120%Load+10% (more than stop output and fault code E3)										
Surge rating	3000VA	4500VA	6000VA	8000VA	10000VA	13000VA	15000VA	18000VA	20000VA	20000VA	24000VA
Capacity of starting electric motor	1P	1P	1.5P	1.5P	2P	2P	2P	2P	2P	2P	2P
Battery voltage	12VDC/24VDC			24VDC/48VDC				48VDC			
Minimum start voltage	11VDC/22VDC/44VDC										
Low battery voltage out off	(low voltage fault code E4) 10.5V/11V for 12V model/22V for 24VDC / 44 for 48VDC										
Low battery voltage alarm	A00 + 1V/battery / low battery alarm one second one time (10.5V/11V) + 0.5V for 12V model/22V for 24VDC / 44 for 48VDC										
High battery voltage alarm	A00 + 1V/battery / high voltage one second one time/fault 30s fault E5 (13.5V/14.5V) + 1V for 12V model/22V for 24VDC / 44 for 48VDC										
Save mode	Load+0V(16V/30V/200V)										
Input waveform	Pure sine wave										
Normal input voltage	220Vac / 230Vac / 240Vac										
Max input voltage	270Vac/300V										
Input frequency	50HZ/60HZ (auto sensing)										
Efficiency(AC mode)	≥95% (load, full battery)										
Transfer time AC TO DC	15ms(max)										
Transfer time DC TO AC	15ms(max)										
Boost Voltage	1.1 (V)(Default) Range of adjustment 1.3 to 1.6 (V)*2 for 24VDC/4 for 48VDC (Regulation step 0.1V)										
Float Voltage	13.5V(Default) Range of adjustment 13.5, 13.7, 13.9 for 24VDC/4 for 48VDC (Regulation step 0.1V)										
12V	30A	45A	65A	1	1	1	1	1	1	1	1
24V	20A	30A	35A	45A	45A	45A	45A	45A	45A	45A	45A
48V	1	1	1	20A	30A	35A	45A	45A	45A	45A	45A
	Min charge current 1.5A, charge by every 5A.										
Dimensions (W*H*D)	277*186*430mm					277*186*430mm					
Ship Dimensions (W*H*D)	370*360*530mm										
Warranty	One year standard, 2 years optional (EP2)										

Anexo J. Informe calculationsolar

Para el cálculo del rendimiento (Performance Ratio) se han utilizado los siguientes parámetros:

Coefficiente pérdidas en batería	5 %
Coefficiente autodescarga batería	0,5 %
Profundidad de descarga batería	60 %
Coefficiente pérdidas conversión DC/AC	5 %
Coefficiente pérdidas cableado	5 %
Autonomía del sistema	3 d
Rendimiento General	82.88 %

Lo que nos proporciona los siguientes resultados de energía.

TOTAL ENERGIA REAL DIARIA (WH/DIA): 17664.09

Se trata de una (vivienda de Uso habitual con los siguientes consumos distribuidos por meses a lo largo del año.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% mes	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Consumos (W)	17664	17664	17664	17664	17664	17664	17664	17664	17664	17664	17664	17664

HORAS SOL PICO

Para el cálculo de las horas son pico, se ha utilizado la base de datos NREL-NASA, contemplando la inclinación y orientación elegidas, así como los datos de localización del lugar.

La declinación solar se ha calculado con la siguiente fórmula:

$$[1] \delta = 23,45 \cdot \sin \left(360 \cdot \frac{284 + \delta_n}{365} \right)$$

δ : declinación (grados)
 δ_n : día del año (1...365, tomado 1 para el día de enero)

Se ha elegido un día de cada mes, que viene a coincidir con un día a mediados de mes.

Para el cálculo de la elevación solar se han tomado los valores:

- $(90^\circ - \varphi - \delta)$ en el solsticio de invierno
 - $(90^\circ - \varphi + \delta)$ en el solsticio de verano
- siendo φ la latitud del lugar y δ la declinación.

Para determinar la inclinación óptima se han utilizado las siguientes premisas:

- $\beta = \varphi - \delta$ en el solsticio de verano
 - $\beta = \varphi + \delta$ en el solsticio de invierno
- pasando por el valor $\beta = \varphi$ en los equinoccios
siendo φ la latitud del lugar y δ la declinación.

Para la estimación del parámetro rad_glo_op , se ha usado la siguiente fórmula:

$$G_a(\beta_{opt}) = \frac{G_a(0)}{1 - 4,46 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{opt} - 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{opt}^2}$$

$G_a(\beta_{opt})$: valor medio anual de la irradiación global sobre superficie con inclinación óptima ($kW \cdot h/m^2$)
 $G_a(0)$: media anual de la irradiación global horizontal ($kW \cdot h/m^2$)
 β_{opt} : inclinación óptima de la superficie ($^\circ$)

Para la obtención del factor de irradiancia (FI) se han utilizado las siguientes expresiones:

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2] \quad \text{para } \beta \leq 15^\circ$$

FI: Factor de radiación (sin unidades)
 β : Inclinación real de la superficie ($^\circ$)
 β_{opt} : inclinación óptima de la superficie ($^\circ$)
 α : acimut de la superficie ($^\circ$)

Finalmente las horas sol pico (HSP) es el resultado de multiplicar la radiación global óptima ($G_a(\beta_{opt})$) por el factor de irradiación (FI).

	Ene	Feb	Mar	Abl	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Días mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Declinación	-21.27°	-13.62°	-2.02°	9.78°	19.26°	23.39°	21.18°	13.12°	1.81°	-10.33°	-19.6°	-23.4°
Nº día/año	15	45	76	106	137	168	198	229	259	290	321	351
Elevación solar	59.98°	67.63°	79.23°	91.03°	100.51°	104.64°	102.43°	94.37°	83.06°	70.92°	61.65°	57.85°
Inclinación optima	30.02°	22.37°	10.77°	1.03°	10.51°	14.64°	12.43°	4.37°	6.94°	19.08°	28.35°	32.15°
rad_glo_hor	5.79	5.9	5.97	5.63	5.09	5.21	5.44	5.32	4.94	4.67	4.75	5.14
rad_glo_op	6.58	6.34	6.08	5.63	5.18	5.38	5.57	5.34	4.98	4.93	5.33	5.96
FI	0.93	0.97	1	1	1	0.99	1	1	1	0.98	0.94	0.92
HSP/día	6.12	6.15	6.08	5.63	5.18	5.33	5.57	5.34	4.98	4.83	5.01	5.48
HSP/mes	189.72	172.2	188.48	168.9	160.58	159.9	172.67	165.54	149.4	149.73	150.3	169.88
Temp día max	30.7°	31.82°	31.63°	29.41°	28.92°	29.17°	29.49°	29.24°	28.54°	28.27°	28.53°	29.16°
Consu/HSP día	2886.29	2872.21	2905.28	3137.49	3410.06	3314.09	3171.29	3307.88	3547.01	3657.16	3525.77	3223.37

CALCULOS DE MODULOS

Para el calculo del campo fotovoltaico se ha tenido en cuenta la inclinación y orientación elegidas, las HSP, el ratio de aprovechamiento del regulador de carga y las temperaturas medias mensuales diurnas del lugar elegido. Dando los siguientes valores:

- * El mes más desfavorable según consumos: Octubre
- * Inclinación optima anual: 9.74°
- * Inclinación optima anual por consumos: 16.06°
- * Inclinación elegida: 6°
- * Azimut módulos : 0°
- * Temperatura media mensual máxima diaria (3 meses): 28.45°
- * Horas Sol Pico en meses más desfavorables: 4.83 HSP
- * Energía Real Diaria desde módulos: 17664.09 Wh/d
- * Ratio de aprovechamiento regulador: 1
- * Potencia pico módulos calculada: 3708 Wp

La elección del módulo, tiene en cuenta los distintos parametros electricos, que determinan el rendimiento, las unidades necesarias y su acoplamiento con el regulador y batería. A continuación se observan los detalles del modulo y los calculos elegidos.

JINKO JKM400M-72H MONOCRISTALINO			
Voltaje a circuito abierto (voc):	49.8 V	Voltaje a potencia máxima (vmp):	41.7 V
Corriente de cortocircuito (isc):	10.36 A	Corriente a potencia máxima (imp):	9.6 A
Potencia máxima:	400 W	Coefficiente de temperatura de Pmax:	-0.36 %/°C
Potencia real a Temperatura media max :	398.758 Wp	Nº de módulos serie:	2
Potencia pico módulos total :	4800 Wp	Nº de series paralelo:	6
Optimización instalación/necesidades mes mas desfavorable :	1.29	Total modulos :	12
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de			129 %

CALCULOS REGULADORES

Para la elección del regulador se tienen en cuenta los valores de tensión del sistema, los parametros de los módulos fotovoltaicos, lo que nos aporta un determinado grado de optimización. Ver a continuación:

- * Tensión sistema: 48 V
- * Tensión modulos Circuito abierto: 49.8 V
- * Tensión modulos maxima potencia : 41.7 V
- * Corriente de cortocircuito modulo: 10.36 A
- * Corriente a potencia máxima modulo: 9.6 A
- * Nº de módulos serie instalar: 2
- * Nº de módulos paralelo instalar: 6
- * Total modulos instalar: 12
- * Intensidad modulo a tensión sistema (abierto): 10.36 A
- * Intensidad modulo a tensión sistema (cerrado) : 9.6 A
- * Intensidad total sistema (abierto) : 62 A

La elección del regulador ha sido la siguiente:

VICTRON MPPT 250100 MPPT			
Tensión:	12-24-48 V	Voltaje máximo:	245 V
Potencia nominal:	5800 Wp	Consumo propio:	35 mA
Capacidad de carga:	100 A	Ratio aprovechamiento :	0.99
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de		120 % Nº Reguladores :	1

CALCULOS BATERIAS

Para el calculo de la bateria, se ha tenido en cuenta, la energia necesaria, la tensión del sistema, así como la profundidad de descarga y la autonomía de dicho sistema en días.

- * Tensión nominal de baterías: 48 V
- * Profundidad de descarga de baterías: 60 %
- * Autonomía del sistema: 3 días
- * Energia Real Diaria: 17664 Wh/día
- * Capacidad útil baterías calculada: 348 Ah
- * Capacidad real baterías calculada: 402 Ah

De lo que se desprende, que, adaptándonos al fabricante, utilizaremos una bateria con 24 vasos en serie de 1 series en paralelo de 2311 Ah en C100 , por serie, dando un total de 2311 Ah en C100 y 48 V. Con esta acumulación se tendría la capacidad de almacenamiento de 3 días, con los consumos teóricos.

ECOSAFE TZS-12 TUBULAR-PLATE					
Capacidades de carga en función a sus horas de descarga:					
C 10: 1680 Ah	C 20: 1897 Ah	C 40: 2243 Ah	C 100: 2311 Ah	C 120: 2340 Ah	
Tensión:		12 V	Nº de elementos serie :		24
Capacidad nominal acumulador :		2311 Ah	Nº de series paralelo :		1
Tensión nominal acumulador :		48 V	Total elementos :		24
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de					126 %

INVERSOR-CARGADOR

Para el dimensionado del inverter-cargador se han utilizado los siguientes datos:

- * Tensión sistema DC: 48 V
- * Tensión salida AC: 230 V
- * Potencia máxima: 2197 W
- * Coeficiente Simultaneidad: 0.7
- * Potencia mínima necesaria: 1538 W
- * Factor de seguridad: 0.8
- * Potencia de calculo : 1922 W

La elección del inverter-cargador ha sido la siguiente:

VICTRON MULTIPLUS 48/3000/35-16			
Tensión:	48 V	Potencia nominal:	3000 W
Potencia continua:	2500 W	Potencia instantanea:	6000 W
Consumo en vacio :	16 W	Eficiencia :	95 %
Ratio aprovechamiento :	77 %	Nº inversores :	6
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de			130 %