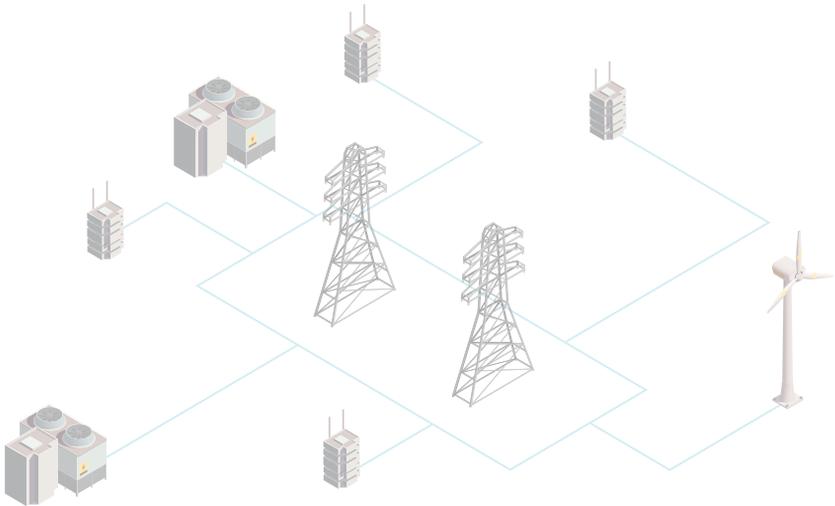


Facultad de Arquitectura y Urbanismo
CARRERA DE ARQUITECTURA

INSTALACIONES III

LIBRO DOCENTE

Cristian Guamán Sánchez



INSTALACIONES III

Cristian Fernando Guamán Sánchez

Instalaciones III

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

UCuenca Press

©Universidad de Cuenca, 2022

Autor:

Ing. Cristian Fernando Guamán Sánchez

María Augusta Hermida Palacios

Rectora de la Universidad de Cuenca

UCuenca Press

Coordinador editorial: Daniel López Zamora • Editora: Ángeles Martínez Donoso •

Administrador de Imprenta: Mario Rodríguez Manzano • Diseño: José Arias Ortega

Ciudadela Universitaria

Doce de Abril y Agustín Cueva

(+ 593 7) 405 1000

Casilla postal 01.01.168

www.ucuenca.edu.ec

Primera edición. Formato digital

Derecho de Autor: CUE-004673

ISBN Digital: 978-9978-14-497-8

Cuenca - Ecuador

2022

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1	
CAPÍTULO UNO		
INSTALACIONES EN EDIFICIOS Y		
TERMODINÁMICA BÁSICA		13
1.1 Reseña histórica	13	
1.2 Instalaciones en edificaciones.....	14	
1.3 Códigos de colores en instalaciones de edificios	15	
1.3.1 Instalaciones contra incendios	16	
1.3.2 Instalaciones de disposición de basura.....	17	
1.3.3 Instalaciones de gas	17	
1.3.4 Instalaciones eléctricas.....	17	
1.3.5 Instalaciones de ventilación	18	
1.3.6 Instalaciones de agua.....	18	
1.4 Leyes de la termodinámica.....	18	
1.4.1 Ley cero.....	18	
1.4.2 Primera Ley.....	19	
1.4.3 Segunda Ley.....	19	
1.4.4 Tercera Ley.....	18	
1.5 Conceptos básicos de termodinámica	20	
1.5.1 Dilatación térmica	20	
1.5.2 Transferencia de calor	21	
CAPÍTULO DOS		
REFRIGERACIÓN		25
2.1 Conceptos básicos de refrigeración	26	
2.1.1 Refrigeración ambiental	27	
2.1.2 Refrigeración molecular	27	
2.2 Cuartos fríos	27	
2.2.1 Paneles verticales	28	
2.2.2 Techo	28	
2.2.3 Suelo.....	29	
2.3 Elementos del circuito de refrigeración	29	
2.4 Ejemplos de funcionamiento	30	
2.4.1 Ejemplo de funcionamiento de un cuarto frío de un supermercado	30	

CAPÍTULO TRES

MEDIDAS DE TEMPERATURA Y CALEFACCIÓN	35
3.1 Conceptos básicos	35
3.1.1 Temperatura	35
3.1.2 Calor	35
3.1.3 Escalas de temperatura.....	35
3.1.4 Calefacción ambiental	36
3.1.5 Calentamiento global	36
3.2 Calefacción en edificaciones	36
3.3 Calefacción individual.....	37
3.3.1 Radiador de aceite	37
3.3.2 Radiador de cuarzo	38
3.3.3 Placa ardiente	39
3.3.4 Convectores	40
3.3.5 Acumuladores de calor	40
3.3.6 Bomba de calor	41
3.3.7 Chimenes a leña (biomasa)	42
3.4 Calefacción centralizada.....	43
3.4.1 Distribución hidráulica	43
3.4.2 Losa radiante.....	43
3.4.3 Zócalos de calefacción	44
3.5 Colectores solares	45
3.6 Ejercicios de aplicación	46

CAPÍTULO CUATRO

INSTALACIONES ELÉCTRICAS ESPECIALES	51
4.1 Grupo electrógeno	51
4.2 Componentes del grupo electrógeno.....	52
4.3 Aspectos técnicos constructivos.....	52
4.3.1 Aireación y evacuación de gases	52
4.3.2 Errores típicos en el diseño del cuarto de máquinas.....	53
4.4 Transformadores	53
4.5 Acometidas eléctricas en media tensión	54
4.6 Construcción de pozos y ductos.....	54
4.7 Pararrayos	57
4.7.1 Esquema y funcionamiento de un sistema de pararrayos	58
4.7.2 Tipos de pararrayos	58
4.7.2.1 Pararrayo tipo Franklin	59

4.7.2.2 Pararrayo tipo radioactivo	59
4.7.2.3 Pararrayo tipo piezoeléctrico	60
4.7.2.4 Pararrayos tipo ion	60
4.7.2.5 Pararrayo tipo jaula de Faraday	61
4.8 Conexión de puesta a tierra.....	61
4.9 Ascensores.....	62
4.9.1 Ascensores hidráulicos	63
4.9.2 Ascensores eléctricos.....	64
4.9.3 Montacargas.....	65
4.10 Ejercicios de aplicación	66

CAPÍTULO CINCO

INTEGRACIÓN FOTOVOLTAICA	71
5.1 Energía solar fotovoltaica.....	71
5.2 Ventajas y desventajas.....	72
5.3 Geometría solar.....	73
5.4 Inclinación y orientación de paneles	74
5.5 Componentes de una instalación solar fotovoltaica	74
5.5.1 Paneles solares.....	75
5.5.2 Inversor.....	77
5.5.3 Baterías	78
5.6 Ejercicio de aplicación sistema fotovoltaico	79
5.6.1 Datos de partida	79
5.6.2 Selección de módulos fotovoltaicos	80
5.6.3 Selección del inversor de red	83
5.6.4 Selección del inversor cargador.....	84
5.6.5 Selección de baterías	84

CAPÍTULO SEIS

ACÚSTICA	87
6.1 Conceptos básicos de acústica	87
6.1.1 Escala de decibelios	89
6.2 Balance energético del sonido.....	89
6.3 Reverberación	90
6.3.1 Cálculo del tiempo de reverberación	91
6.3.2 Ejercicio práctico	91
6.4 Confort acústico	93

CAPÍTULO SIETE

VENTILACIÓN	95
7.1 Ventilación natural	96
7.1.1 Tipos de ventilación natural	97
7.2 Ventilación mecánica	99
7.2.1 Tipos de ventilación mecánica	100
7.3 Cálculo de caudal de aire	102
7.3.1 Ejemplo de cálculo de caudal.....	102

CAPÍTULO OCHO

ENERGÍA EÓLICA	105
8.1 Introducción.....	105
8.2 Potencia del viento	106
8.3 Límite de Betz	107
8.4 Potencia generada y rendimiento de un aerogenerador	107
8.5 Rosa de los vientos.....	108
8.6 Distribución de Weibull.....	109
8.7 Cálculo de los parámetros c y k mediante el método de mínimos cuadrados	110
8.8 Corrección de la distribución de Weibull por la altura	112
8.9 Aerogeneradores en microrredes	112
8.10 El regulador en sistemas eólicos	113
8.11 Ejemplo de cálculo sistema eólico.....	114
8.11.1 Datos de partida.....	114
8.11.2 Selección de aerogenerador	114
8.11.3 Selección del inversor.....	116

CAPÍTULO NUEVE

DISEÑO DE UNA VIVIENDA DE CONSUMO

ENERGÉTICO CASI NULO	117
9.1 Introducción.....	117
9.1.1 Descripción del proyecto	117
9.1.2 Localización.....	119
9.1.3 Alcance	121
9.2 Descripción de las alternativas	121
9.2.1 Datos de partida.....	121
9.2.2 Simulación en Heed 4.0	123
9.2.3 Simulación en Software Calener VYP	132

9.3 Opción 1	135
9.4 Opción 2.....	137
9.5 Opción 3.....	140
9.6 Justificación de la alternativa seleccionada	143
9.7 Descripción de la opción escogida	144
9.7.1 Dimensionado del sistema fotovoltaico.....	144
9.7.1.1 Datos de ubicación y orientación	144
9.7.1.2 Cálculo de las cargas eléctricas	144
9.7.1.3 Radiación solar disponible	146
9.7.1.4 Cálculo de los paneles necesarios	147
9.7.1.5 Cálculo de los reguladores	149
9.7.1.6 Cálculo de las baterías	150
9.7.1.7 Cálculo del inversor	151
9.7.1.8 Resumen	152
9.7.1.9 Modelizado en homer-pro®	153
9.8.1 Dimensionado de la calefacción y ACS.....	157
9.8.1.1 Dimensionado de la calefacción	158
9.8.1.2 Dimensionado de la demanda de ACS.....	159
9.8.1.3 Dimensionado de la chimenea.....	165
9.9.1 Presupuesto y estudio de viabilidad.....	165
9.9.1.1 Presupuesto de construcción	166
9.9.1.2 Presupuesto de las instalaciones eléctricas	168
9.9.1.3 Presupuesto de las instalaciones térmicas.....	169
9.9.1.4 Presupuesto y estudio de viabilidad	170
9.9.2 Resumen de resultados y conclusiones	171
Bibliografía	173
Índice de figuras.....	177
Índice de tablas	181

INTRODUCCIÓN

Este documento explica los diferentes tipos de instalaciones que se pueden emplazar en una edificación. Cada tipo es abordado de forma técnica y demostrativa con el fin de informar y facilitar su aplicación y concreción en proyectos arquitectónicos.

En primera instancia, se presentan los conceptos básicos de cada uno de los puntos abordados y luego se desarrollan los conceptos particulares. En esta parte, se emplea el modelo teórico que “permite descubrir en el objeto de investigación las relaciones esenciales y las cualidades fundamentales, no detectables de manera sensoperceptual. Por ello se apoya básicamente en los procesos de abstracción, análisis, síntesis, inducción y deducción” [1].

Una vez comprendidos los conceptos, así como el funcionamiento de cada uno de los sistemas, se ofrecen ejemplos de implementación basados siempre en proyectos reales construidos al rededor de todo el mundo. Como aspectos prácticos, además, se plantean problemas numéricos y con ellos se demuestra cómo funcionan las instalaciones especiales, dónde deben ser ubicadas en los proyectos arquitectónicos, considerando la sostenibilidad y la eficiencia energética.

CAPÍTULO UNO

INSTALACIONES EN EDIFICIOS Y TERMODINÁMICA BÁSICA

1.1 Reseña histórica

A lo largo de la historia, las instalaciones en edificios han experimentado cambios debido principalmente al avance tecnológico. Además, las instalaciones dependen de la ubicación geográfica de las poblaciones, de los hábitos de la sociedad, así como de los materiales disponibles en la zona de asentamiento.

En el siglo XIX, las instalaciones complementarias para una vivienda local o edificación no formaban parte intrínseca de la construcción, sino que eran aspectos constructivos externos de las edificaciones. Las instalaciones básicas de agua, calefacción por chimenea y cocinas a leña se ubicaban externamente a la vivienda, aunque eran parte de una edificación que para la época representaban condiciones de confort.

A mediados del siglo XX y conforme avanzaba la tecnología, se produjeron cambios drásticos en este modelo. Las instalaciones ya comprendían sanitarios dispersos con tuberías de abastecimiento y de evacuación, cables trenzados eléctricos, instalación de las primeras bombillas incandescentes, instalación de tubos de escape de humo producto de la combustión interna en la vivienda, instalación de sistemas de calefacción y aire acondicionado, instalación centralizada de gas, sistemas domóticos, entre otros.

En el siglo XXI, las instalaciones en general son un aspecto fundamental en toda construcción y pueden representar entre un 15 % y un 60 % del costo total de la obra producto de la complejidad del diseño y por la calidad de materiales y equipos necesarios para su implementación.

1.2 Instalaciones en edificaciones

Las *instalaciones en edificaciones* comprenden materiales y accesorios para distribuir, receptor y emitir energía o fluidos propios del uso de la vivienda. Además de las instalaciones básicas como son agua potable, alcantarillado e instalaciones eléctricas, en la actualidad se suma una diversidad de mecanismos, sistemas y elementos tecnológicos que permiten al ser humano disponer de una vivienda que le proporciona bienestar y confort.

El diseño, implementación y construcción de cada uno de estos sistemas está a cargo de profesionales especialistas en las diferentes áreas: el ingeniero eléctrico se encarga de las instalaciones eléctricas; el ingeniero electrónico de los sistemas domóticos; los arquitectos del diseño, orden y accesibilidad; el ingeniero mecánico de las instalaciones de calefacción y aire acondicionado; el ingeniero civil del diseño estructural, y así una variedad de profesionales.



Figura 1. Instalaciones en una vivienda
Fuente [elaboración propia]

El sistema de estas instalaciones debe observar dos principios: enfocarse en el menor consumo de recursos y adaptarse al espacio del que se dispone, de modo que se integre de forma óptima al proyecto de una manera funcional y estética. Y como los mecanismos tecnológicos, que permiten el funcionamiento de los edificios, han ido ganando terreno, se necesita un

espacio o diseño para que cumplan con su funcionalidad y al mismo tiempo no sean un obstáculo estético de la infraestructura.

1.3 Códigos de colores en instalaciones de edificios

Los sistemas de instalaciones se rigen bajo normas internacionales y conceptos estandarizados, uno de ellos es la cromática de los elementos para la instalación, es decir, el color con el que se que representan sus diferentes funciones o servicios.

Se ha prefigurado una cromática para las tuberías. Estos elementos, dependiendo de su diámetro y del tipo de material, sirven para llevar fluidos, cables u otro de tipo de elementos según el área en donde se las implemente. En la Tabla 1 se presentan los colores de tuberías y sus respectivos usos.

Tabla 1. Código de colores en tuberías

COLOR TUBERÍA	DESCRIPCIÓN
Rojo	Bomberos
Naranja	Tóxicos y corrosivos
Amarillo	Inflamables
Café	Líquidos combustibles
Verde	Agua potable, refrigeración, calefacción
Azul	Aire comprimido
Blanco	Tuberías de vacío
Negro	Aguas negras

Fuente [elaboración propia]

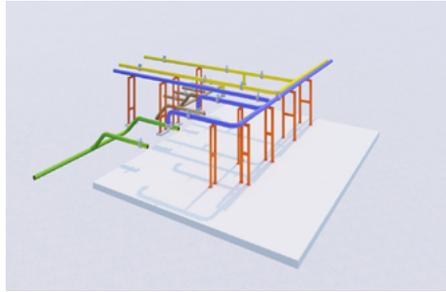


Figura 2. Edificación con código de colores
Fuente [elaboración propia]

Análogamente a los sistemas de tuberías, los conductores que llevan corriente eléctrica llevan colores que se encuentran homologados internacionalmente. Es así que el color blanco se usa para conductores neutros, que son los que tienen un voltaje cero, por ellos circula la corriente de regreso hacia el panel de carga. Los colores negro, rojo y café son utilizados para conductores que tienen voltaje. Finalmente, los conductores de color verde o desnudo se usan para la tierra y su objetivo es evitar descargas. Lo descrito se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Código de colores en conductores

COLOR CABLE	DESCRIPCIÓN
Blanco	Neutro
Negro-rojo-café	Fase
Verde o desnudo	Tierra

Fuente [elaboración propia]

1.3.1 Instalaciones contra incendios

Los materiales que forman parte de una edificación poseen un grado de combustibilidad que está ligado a una norma y al tiempo en el cual este combustiona con la presencia de fuego. Los sistemas contra incendio **pretenden** evitar la proliferación de fuego y garantizar el salvamento de personas y animales que habitan en la edificación. Están acoplados con dispositivos como detectores de calor, detectores de humo, detectores térmicos, detectores fotoeléctricos, detectores iónicos, estaciones manuales, entre otros. Comúnmente, las instalaciones contra incendios de una edificación llevan agua presurizada, espuma o polvo extintor de fuego, dependiendo del grado de combustibilidad e importancia del edificio.

1.3.2 Instalaciones de disposición de basura

Toda actividad emprendida por los seres humanos genera desechos o basura. Existen, *grosso modo*, dos tipos de basura, la residencial y la industrial, las que a su vez se clasifican en otros subgrupos que no se mencionan aquí. En algunos casos, estos desechos pueden ser reciclados y reusados para otros propósitos, en otros casos pueden ser desechados en un relleno sanitario y una tercera alternativa es incinerarlos, opción esta última menos recomendada porque los gases de combustión producen contaminación del medio ambiente.

Cuando se trata de basura producida en espacios multifamiliares, las instalaciones para reciclar deben cumplir algunos requerimientos como poseer una tapa para evitar la proliferación de malos olores y evitar el acceso de roedores e insectos; el material debe ser duro, resistente e impermeable y, de ser el caso, se deben instalar desagües. En las casas de salud, los desechos son procesados por personal especializado.

1.3.3 Instalaciones de gas

Este tipo de instalación consta de tuberías cuyo objetivo es llevar gas. El grado de resistencia de estas tuberías debe ser alto debido al gran nivel de combustibilidad del gas. Las tuberías empleadas deben cumplir normas tanto para soportar esfuerzos mecánicos como de presión. Algunos materiales de tuberías empleadas para transportar gas están hechos de plomo, cobre, acero; las uniones siempre serán fabricadas mediante suelda de estaño o suelda oxiacetilénica y nunca se utilizarán uniones roscadas o manguitos roscados.

1.3.4 Instalaciones eléctricas

Las instalaciones eléctricas se caracterizan principalmente porque conducen energía eléctrica en condiciones óptimas, es decir, sin pérdidas por caídas de tensión, sin pérdidas por efecto Joule y en las mejores condiciones de seguridad.

Para su instalación, se parte desde el cable de acometida, que puede ser en media o baja tensión, dependiendo del nivel de la carga, para luego continuar con los cables de los circuitos de distribución y finalizar con los circuitos individuales de los sistemas de tomacorrientes, circuitos de iluminación y circuitos especiales.

1.3.5 Instalaciones de ventilación

Los sistemas o instalaciones de ventilación sirven para renovar el aire contaminado o sucio por aire limpio en una edificación. Existen dos tipos de ventilación: la ventilación natural y la ventilación mecánica. El cálculo de renovación del aire se realiza en m^3/h y depende del volumen del lugar para el cual se esté proyectando el diseño.

En cuanto a las instalaciones de ventilación, se establecen procesos como filtrado, calentamiento o enfriamiento del aire, ventiladores, amortiguadores de ruido y, en función de la magnitud de la edificación, a veces se llega a requerir un cuarto de máquinas.

1.3.6 Instalaciones de agua

Los sistemas de instalaciones de agua pueden dividirse en dos grupos: tuberías de agua potable y tuberías de aguas servidas. Las primeras son sistemas encargados de llevar agua potable desde la matriz hasta los diferentes puntos de distribución que por lo general son llaves o grifos. En cuanto a las aguas servidas, son instalaciones hidrosanitarias que conducen las aguas negras desde cada punto hasta el alcantarillado público. El material más frecuente en la construcción de las tuberías es el PVC.

1.4 Leyes de la termodinámica

La termodinámica es una rama de la física que estudia lo relacionado con transferencias de calor, conversión de energía y la capacidad de los sistemas para producir trabajo. El *calor* es la energía que se transmite de un cuerpo a otro, por ejemplo, si se ponen en contacto un cuerpo caliente y uno frío, el cuerpo caliente entrega energía calorífica mientras que el cuerpo frío absorbe, esto ocurre para estar en equilibrio térmico. La *temperatura*, según el diccionario de Real Academia de la Lengua Española, ‘es una magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente’ [2].

Las leyes de la termodinámica explican los comportamientos globales de los sistemas macroscópicos en situaciones de equilibrio. En el sistema internacional, la temperatura se mide en grados Kelvin (K) y se rige por cuatro leyes: ley cero, primera ley, segunda ley y tercera ley.

1.4.1 Ley cero

Si dos sistemas están en equilibrio térmico de forma independiente con

un tercer sistema, deben estar en equilibrio térmico entre sí. Por ejemplo, si un cuerpo A está en equilibrio térmico con un cuerpo B, y el cuerpo B está en equilibrio térmico con un cuerpo C, necesariamente el cuerpo A debe estar en equilibrio térmico con el cuerpo C. La ley se esquematiza en la Figura 3.

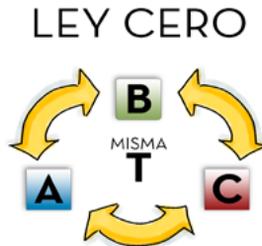


Figura 3. Ley cero termodinámica
Fuente [elaboración propia]

1.4.2 Primera ley

Es un concepto conocido que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. Por ejemplo, en una represa eléctrica, el agua del embalse es una gran cantidad energía potencial que mediante la circulación a través de tuberías, por efecto de la gravedad, se convierte en energía cinética que hace girar a una turbina mecánica; esta energía mecánica es convertida en energía eléctrica mediante el acople de la turbina al eje de un generador eléctrico.

PRIMERA LEY



Figura 4. Primera ley termodinámica
Fuente [elaboración propia]

1.4.3 Segunda ley

Cualquier proceso termodinámico aumenta o deja igual la entropía del universo. La entropía es una magnitud termodinámica que indica el grado de desorden molecular de un sistema.

SEGUNDA LEY

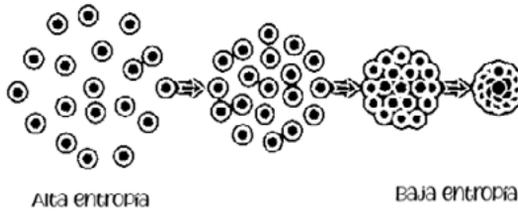


Figura 5. Segunda ley termodinámica
Fuente [elaboración propia]

1.4.4 Tercera ley

No se puede enfriar un sistema termodinámico al cero absoluto en un número finito de procesos térmicos.

TERCERA LEY

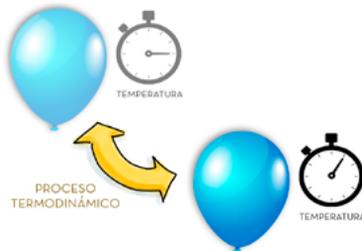


Figura 6. Tercera ley termodinámica
Fuente [elaboración propia]

1.5 Conceptos básicos de termodinámica

1.5.1 Dilatación térmica

La *dilatación térmica* es la variación de dimensión de los cuerpos cuando se producen cambios en la temperatura. Un aumento de temperatura implica, normalmente, un incremento de las distancias interatómicas e intermoleculares debido a que se acrecienta la vibración térmica de cada uno de los átomos. En un termómetro de mercurio, el incremento del calor provoca que ese elemento se dilate y nos indique el valor de la temperatura, mientras que con la ausencia de calor el Hg se contrae.

Un ejemplo de la vida cotidiana es el concreto que se usa en las vías, las cuales están construidas mediante secciones o bloques con pequeñas separaciones, debido a que el calor da lugar a que el concreto se expande. Con la separación, se evita que se produzcan quebraduras.

1.5.2 Transferencia de calor

La transferencia de calor se produce principalmente cuando existe una diferencia de temperatura entre dos cuerpos. En general, el cuerpo caliente pierde calor, mientras que el cuerpo frío absorbe calor. La transferencia de calor puede ser de tres tipos: conducción, convección y radiación.

La *conducción* ocurre cuando el calor se transmite entre los dos puntos de un cuerpo, los cuales se encuentran a diferente temperatura, sin que se produzca desplazamiento de moléculas entre ellos. Por ejemplo, cuando un extremo de una barra metálica se calienta con fuego, la temperatura aumenta y se transfiere al otro extremo de la barra sin necesidad de desplazamiento de materia, como se ilustra en la Figura 7.

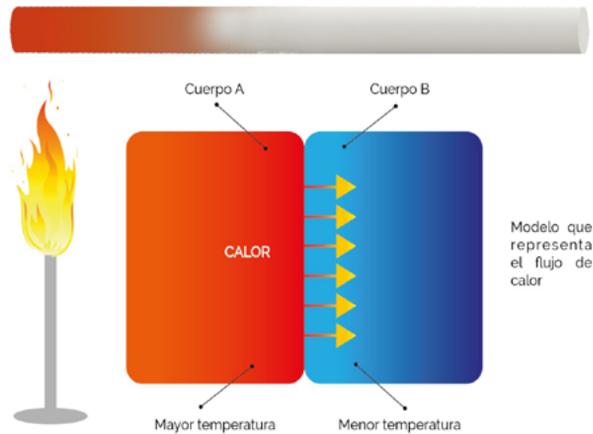


Figura 7. Conducción de calor por conducción
Fuente [elaboración propia]

La *convección* es una transferencia de calor que ocurre básicamente entre fluidos como gases o líquidos que posee una diferencia de densidad. Por ejemplo, en un globo aerostático, el aire caliente al expandirse pesa menos que el aire frío, lo que ocasiona que el globo se eleve.

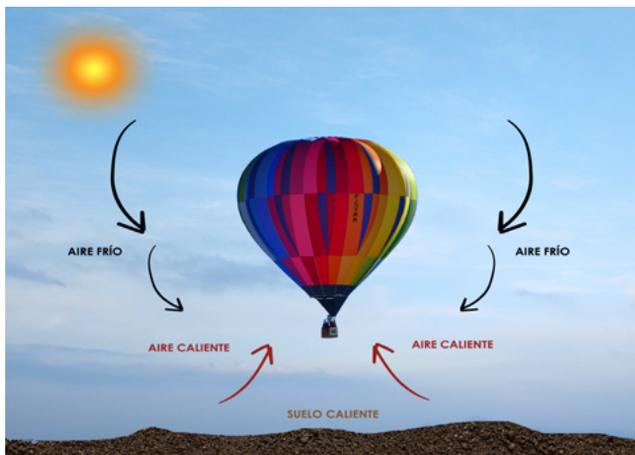


Figura 8. Transferencia de calor por convección
Fuente [elaboración propia]

La transferencia de calor por *radiación* se produce por medio de ondas electromagnéticas entre cuerpos que no están en contacto. Por ejemplo, la radiación emitida por el Sol o cuando se desea calentar un espacio de una vivienda con una chimenea mediante la combustión de biomasa.



Figura 9. Transferencia de calor por radiación
Fuente [elaboración propia]

En la Figura 10 se ofrece un ejemplo claro de los tres tipos de transferencias de calor.

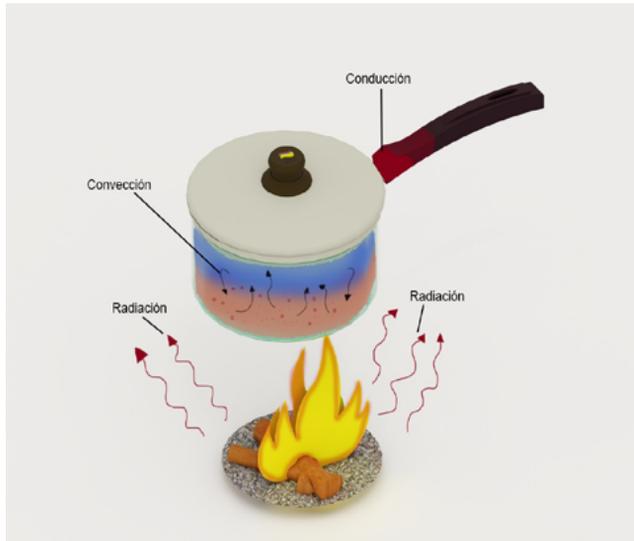


Figura 10. Ejemplo práctico de tipos de transferencia de calor
Fuente [elaboración propia]

CAPÍTULO DOS

REFRIGERACIÓN

La refrigeración es un proceso termodinámico mediante el cual se extrae calor de un cuerpo o espacio, bajando así su temperatura, que luego es evacuada al exterior. En tal virtud, la función de los equipos de los sistemas de refrigeración no es producir frío, sino extraer el calor, lo que provoca que el espacio tienda a enfriarse.

Los sistemas de refrigeración están diseñados principalmente para reducir la temperatura de un producto almacenado en cuartos fríos o cámaras de refrigeración. Pueden contener, por ejemplo, productos químicos de empresas farmacéuticas o simplemente alimentos para evitar la proliferación de bacterias.

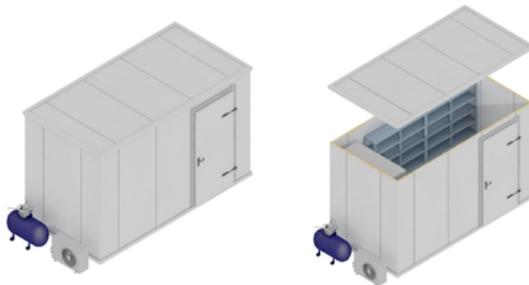


Figura 11. Cuarto frío

Fuente [elaboración propia]

Algunas aplicaciones de la refrigeración son:

- climatización
- conservación de alimentos
- motores de combustión interna
- máquinas
- procesos industriales
- enfriamiento a bajas temperaturas

Estos sistemas poseen circuitos de refrigeración por los cuales circula un refrigerante que posee propiedades químicas que son beneficiosas para intercambiar calor y obtener temperaturas bajas de acuerdo con los requerimientos del local que se desea enfriar [3].

2.1 Conceptos básicos de refrigeración

Los principales estados de la materia son sólido, líquido y gaseoso. Cuando se pasa directamente del estado sólido al gaseoso se conoce el nombre de *sublimación*, y el proceso inverso como *sublimación inversa*. Cuando un elemento pasa del estado sólido al líquido, se denomina *fusión* y el proceso inverso, *solidificación*. Cuando un elemento en estado líquido pasa al estado gaseoso, recibe el nombre de *vaporización*, y el proceso inverso se conoce como *licuación* o *condensación*. Lo expuesto se esquematiza en la Figura 12.



Figura 12. Estados de la materia
Fuente [elaboración propia]

2.1.1 Refrigeración ambiental

Es el proceso por el cual se reduce la temperatura de un espacio específico para cumplir una función determinada como enfriar alimentos, conservar determinadas sustancias químicas o conseguir un ambiente agradable.



Figura 13. Cuarto frío
Fuente [elaboración propia]

2.1.2 Refrigeración molecular

La congelación disminuye el movimiento interno molecular para evitar el deterioro de la materia y la proliferación de bacterias.

2.2 Cuartos fríos

Se denomina *cuarto frío* a un espacio que se encuentra térmicamente aislado mediante sistemas de refrigeración que extraen calor del interior hacia el exterior. Los cuartos fríos sirven especialmente para la conservación de alimentos y sustancias químicas del sector industrial y farmacéutico [4].

La constitución de los materiales que forman parte del cuarto frío depende de los requerimientos térmicos y del medioambiente en el que se instale, es decir, depende de la temperatura interna y externa a la que se someta.



Figura 14. Cuarto frío
Fuente [elaboración propia]

Los materiales o paneles idóneos para construir cuartos fríos son el poliestireno, poliuretano expandido y poliisocianurato.

A continuación, se describen algunas características de los materiales que constituyen el cuarto frío tanto para paneles verticales como para techos y suelo.

2.2.1 Paneles verticales

Los paneles verticales del cuarto frío deben ser recubiertos por una gran cantidad de aislamiento para evitar transferencias de calor por convección y conducción entre la parte exterior e interior del cuarto, y minimizar así las pérdidas. Estos componentes se fabrican de diferentes espesores y se los utiliza de acuerdo con los requerimientos térmicos de cada cámara de frío. Por ejemplo, se usará un elemento más grueso cuanto mayor sea el gradiente de temperatura entre la parte interna y externa del cuarto frío.

2.2.2 Techo

Si el cuarto frío es relativamente pequeño, se pueden emplear para el techo los mismos materiales que se usan para los paneles verticales. Si las cámaras de frío tienen un tamaño importante, el techo debe ir anclado a la estructura principal mediante elementos especiales, dependiendo del peso del material que se proyecta necesario. En algunos casos, por la magnitud de la cámara de frío, el material del techo debe estar construido de tal manera que permita el tráfico peatonal o de vehículos pequeños.

2.2.3 Suelo

De igual modo, los materiales del suelo se construyen con base en el tamaño y requerimientos térmicos de la cámara de frío. Si la cámara trabaja a temperaturas debajo de la temperatura de congelación del agua, el suelo debe ser especialmente tratado de tal manera que no ingrese humedad desde la tierra y así evitar su congelación. Una recomendación es usar paneles frigoríficos a lo largo de toda el área.

2.3 Elementos del circuito de refrigeración

Para poder asimilar de mejor forma el principio de funcionamiento de un cuarto frío, se puede comparar con un refrigerador doméstico. En el circuito de refrigeración circula un gas refrigerante que pasa a través del condensador, evaporador, válvula de expansión, compresor.

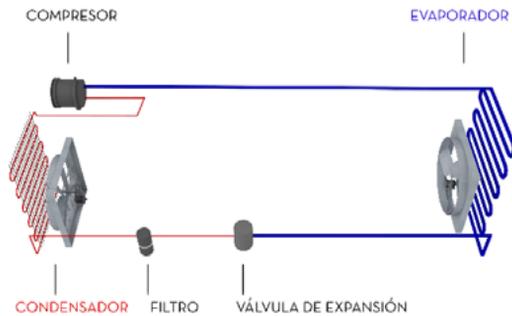


Figura 15. Elementos circuito de refrigeración
Fuente [elaboración propia]

Sus elementos son:

Gas refrigerante: en los años 80 y 90, los refrigerantes preferidos fueron los clorofluorocarbonos como el R-12 y el R-22, los cuales se están eliminando por su elevada afectación a la capa de ozono. En su lugar, en la actualidad se está empleando el gas refrigerante R-134^a, un HFC (hidrofluorocarbono) que, como todos los refrigerantes de este tipo, no daña la capa de ozono por su gran estabilidad térmica y química, baja toxicidad, además no es inflamable y posee una alta compatibilidad con la mayoría de los materiales. Las ventajas del R-134^a se pueden resumir así:

- El refrigerante R134a no contiene átomos de cloro, por tanto, no produce ningún daño a la capa de ozono.
- R134a es seguro de usar, ya que es ignífugo, no explosivo, no tóxico, no irritante y no corrosivo.
- En comparación con el R12, tiene una mejor conductividad de calor, lo que reduce considerablemente el consumo de refrigerante. Además, ambos poseen una conductividad térmica similar, así que la modificación de su sistema de refrigeración es mucho más fácil [5].

Compresor: su principal función es comprimir las moléculas del gas refrigerante de tal manera que aumenta su presión y temperatura. El compresor se ubica externamente a la cámara de refrigeración.

Condensador: al igual que el compresor, el condensador va ubicado en una parte externa del cuarto frío. Su función es actuar como un intercambiador de calor: el gas refrigerante libera el calor y pasa de estado de vapor a líquido.

Válvula de expansión: se encarga principalmente de liberar la presión que fue generada por el compresor.

Evaporador: es un intercambiador de calor, en el que el gas refrigerante absorbe calor y pasa de estado líquido a vapor.

2.4 Ejemplos de funcionamiento

2.4.1 Ejemplo de funcionamiento de un cuarto frío de un supermercado

El sistema que se analiza se grafica en la siguiente figura.

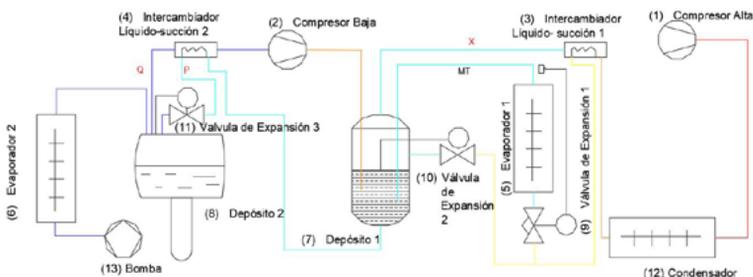


Figura 16. Refrigeración molecular
Fuente [elaboración propia]

- El refrigerante R134a. se moviliza por todo el circuito térmico.
- Se parte de la salida del compresor de alta (1) en donde el refrigerante está a alta presión, a alta temperatura y en estado de vapor; de aquí el refrigerante entra al condensador (12) que es un intercambiador refrigerante-agua.
- Desde allí el refrigerante avanza hasta el intercambiador líquido succión (3), que es un intercambiador interno que recibe el refrigerante a alta presión, caliente y en estado líquido, luego el refrigerante se preenfía a costa del refrigerante que viene por la tubería (X).
- A la salida del intercambiador (3), el circuito continúa hasta un punto en el que hay dos derivaciones, se considera principal por (Y) en donde se encuentra la válvula de expansión (9), que es controlada por temperatura; esta válvula de expansión baja la presión de alta a media o intermedia.
- El primer evaporador (5) es un intercambiador refrescante con aire, que toma el aire de la sala que se está enfriando (sala donde va a estar el producto fresco a 4°C), la cual está a una Media Temperatura (MT). A la salida del evaporador, el refrigerante se calienta y está sobrecalentado o saturado, desde allí es enviado al primer depósito (7). A este depósito también está conectada una válvula de expansión (10), cuyo objetivo es mantener el nivel en el depósito (7).
- En el primer depósito (7) se separa el líquido y el vapor, que están en condiciones de saturación. El vapor saturado se dirige por (X), el cual está fresco porque está a presión baja y pasa por el intercambiador (3), en donde el refrigerante se recalienta y vuelve al proceso a la entrada del compresor de alta (1).
- Ahora, desde el depósito (7), en donde el líquido está saturado, pasa al intercambiador líquido-succión (4), que es similar al intercambiador (3), sitio en el que el refrigerante se precalienta con este que está más frío.
- De la salida del intercambiador de calor (4), el refrigerante está más templado y circula en dirección por (P) hasta pasar por la válvula de expansión (11), la cual es igual a la válvula de expansión (9). Todo el flujo debe pasar por esta válvula para que el nivel del flujo en el segundo depósito (8) se mantenga constante.
- En el segundo depósito (8), que es la zona de baja presión donde el líquido está saturado, la bomba (13) abastece al evaporador modulado (6). Este evaporador alimenta a otra sala de refrigeración, que está a

-18 °C, y descarga el vapor saturado en el segundo depósito (8), y así se repite el ciclo.

- Por la tubería (Q), se toma vapor saturado del segundo depósito (8), se precalienta en el intercambiador (4), una vez que está precalentado entra en el compresor de baja (2) y la salida del compresor de baja se conecta al primer depósito (7).

Componentes de un sistema de enfriamiento

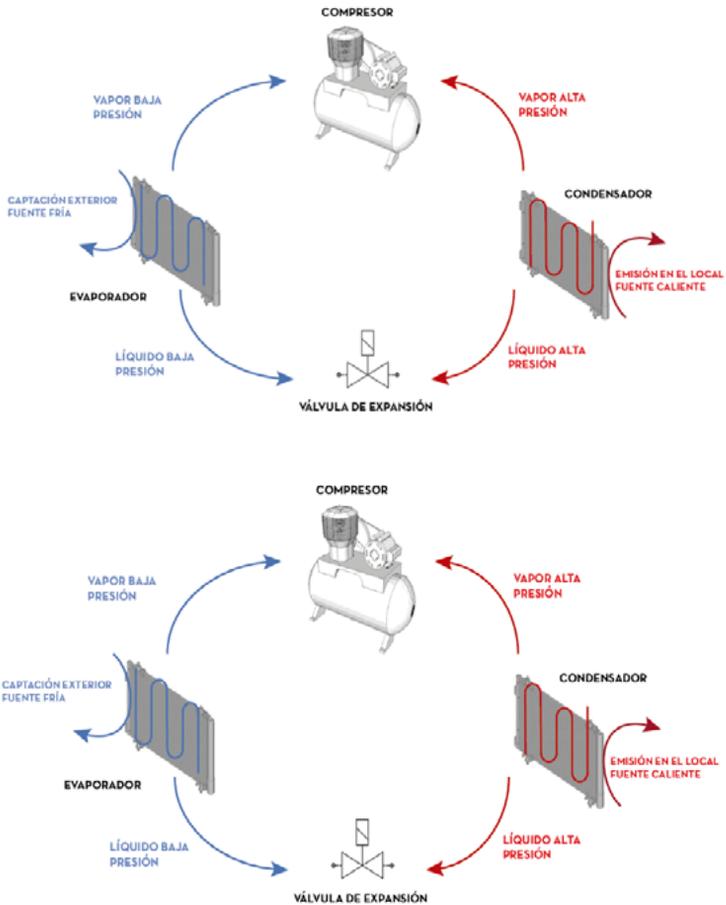


Figura 17. Componentes de un sistema de enfriamiento
Fuente [elaboración propia]

- a. El refrigerante es el fluido que circula por la bomba de calor que absorbe, transporta y libera calor.
- b. El evaporador es un intercambiador donde el refrigerante absorbe calor y cambia de estado de líquido a vapor.
- c. El compresor comprime las moléculas del gas refrigerante, lo que aumenta su presión y temperatura.
- d. El condensador es un intercambiador donde el refrigerante libera el calor y cambia de estado de vapor a líquido.
- e. La válvula de expansión libera la presión producida por el compresor.

CAPÍTULO TRES

MEDIDAS DE TEMPERATURA Y CALEFACCIÓN

3.1 Conceptos básicos

3.1.1 Temperatura

Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, la temperatura ‘es una magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente’ [2]. Su unidad en el sistema internacional es el grado Kelvin (K).

3.1.2 Galor

Es la energía que se transmite de un cuerpo a otro, por ejemplo, ante un cuerpo caliente y uno frío, el cuerpo caliente entrega energía calorífica, mientras que el cuerpo frío la absorbe, esto ocurre para estar en equilibrio térmico.

3.1.3 Escalas de temperatura

En el año de 1724, Gabriel Fahrenheit, mediante un proceso de gradación en un termómetro de mercurio, marcó 32 ° F al punto de congelamiento y 96° a 100° F la temperatura normal del cuerpo humano; además estableció 212 ° F como punto de ebullición del agua. Esta escala es usada por británicos y estadounidenses.

En el año de 1744, Anders Celsius estableció una escala centígrada entre el congelamiento y la ebullición del agua, por eso se denomina *grados centígrados* o *Celsius*. La temperatura de fusión o congelamiento del agua es de 0°C y la temperatura de ebullición del agua es de 100° C a nivel del mar.

La expresión para convertir de grados centígrados a grados Kelvin es:

$$K=C+273$$

La expresión recíproca es:

$$C=K-273$$

Para la conversión de grados centígrados a Fahrenheit se emplea esta fórmula:

$$C=5/9 (F-32)$$

3.1.4 Calefacción ambiental

La calefacción es la acción y efecto de calentar. El proceso se lleva a cabo con un conjunto de aparatos destinados a aumentar la temperatura de un edificio o parte de él.

3.1.5 Calentamiento global

Toda actividad humana, ya sea la quema de combustibles fósiles, biomasa, produce emisiones de diferentes tipos de gases, incluso los humanos emiten CO₂. Estas emisiones se acumulan en la atmósfera terrestre y, como consecuencia, se produce el efecto invernadero. Los rayos del Sol inciden en la Tierra, una parte de ellos se absorbe, otra se refleja y una parte se queda en la atmósfera.

3.2 Calefacción en edificaciones

La calefacción es cualquier equipo o conjunto de equipos que es usado para elevar la temperatura de un espacio. Este aumento puede lograrse de diversas formas y mediante diversas fuentes energéticas. Una forma de obtener calor es mediante el uso de combustibles fósiles como gasolina, diésel o kerosene, pero su combustión produce contaminación del medio ambiente. Se puede conseguir calor sin contaminar el medio ambiente al usar energías renovables a través de los beneficios de los rayos solares, mediante

colectores solares. La energía eléctrica convencional o proveniente de paneles fotovoltaicos puede alimentar eléctricamente un sistema de calefacción. Otra opción es tomar directamente los rayos provenientes del Sol, opción más conocida como *calefacción pasiva*.

La temperatura de confort en el momento de diseñar un sistema de calefacción se encuentra en la banda que varía desde los 18 a 22 grados centígrados, dependiendo de las costumbres y cultura de la zona en donde se vaya a plasmar el diseño [6]. De acuerdo con la localización del convertidor térmico, los sistemas de calefacción pueden ser individuales o centralizadas, diferencia que se explica en la Figura 18.

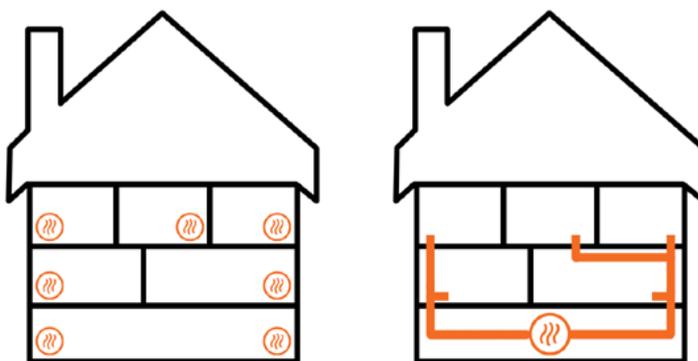


Figura 18. Calefacción distribuida (izquierda) - Calefacción centralizada (derecha)
Fuente [elaboración propia]

3.3 Calefacción individual

Esta calefacción consiste en calentar el aire circundante u objetos cercanos, posee capacidad para aplicar calor en sectores cerrados o específicos. Para implementarla, se coloca la calefacción a lo largo de la edificación con alimentación individual. El sistema de calefacción más común es la bomba de calor reversible, cuyo funcionamiento se describirá en los apartados posteriores.

3.3.1 Radiador de aceite

Los radiadores de aceite están compuestos por unas resistencias eléctricas en la parte interna, estas se calientan mediante la circulación de co-

riente, lo que se conoce como efecto Joule. Las resistencias calientan el aceite que el equipo lleva en la parte interna. El calor del aceite es transmitido por medio de convección a la carcasa del calefactor, que puede ser de aluminio o acero. Este calor en la superficie del dispositivo es transmitido al ambiente por radiación, de ahí nace el nombre de *radiador*.

Los radiadores de aceite funcionan con energía eléctrica, por esta razón es muy costoso mantenerlos y representan un valor significativo en la planilla de energía. Algunas de las ventajas del radiador de aceite son el bajo riesgo para niños y mascotas, sin dejar de lado que estos equipos conservan el calor aproximadamente una hora luego de su desconexión a la fuente de voltaje. Otra ventaja es que son silenciosos, no producen residuos contaminantes, son económicos y su limpieza es relativamente sencilla.



Figura 19. Radiador de aceite
Fuente [elaboración propia]

3.3.2 Radiadores de cuarzo

Estos equipos están formados por tubos de cuarzo que se calientan por efecto de la circulación de una corriente eléctrica. El calor es emitido al ambiente por radiación, específicamente por ondas infrarrojas.

Una de las ventajas de su uso es la alta temperatura irradiada; además de que no producen humos contaminantes, lo que es beneficioso para el medio ambiente. La eficiencia del equipo ronda los valores del 85 %. En cuanto a las desventajas, se corre un alto riesgo de que niños y mascotas sufran quemaduras, y está el elevado consumo eléctrico por lo que es recomendable instalarlo en áreas pequeñas.



Figura 20. Radiador de cuarzo
Fuente [elaboración propia]

3.3.3 Placa radiante

La placa radiante consiste en una placa de yeso laminado resistente a la corrosión que internamente posee una resistencia que emite calor en forma de radiación infrarroja, a través de una superficie que calienta directamente el área en donde se instala. Estos equipos se instalan directamente en las paredes, aunque existen modelos para colocarlos en el techo del ambiente que se desea calentar.

Entre las ventajas, se debe indicar que no existe emisión de líquidos ni gases contaminantes para el medio ambiente, es silenciosa, sus dimensiones son pequeñas y se calienta rápidamente. Las desventajas son su costo elevado, proporcional al tamaño de la placa, y el que la temperatura elevada provoca que el aire se seque.

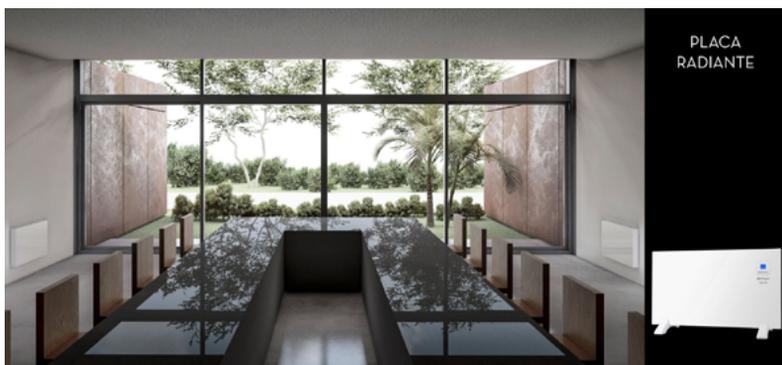


Figura 21. Placa radiante
Fuente [elaboración propia]

3.3.4 Convectores

Los convectores son equipos que tienen resistencias en la parte interior que sirven para calentar el aire frío del ambiente en donde se instala. El aire frío entra por la parte inferior del equipo y luego el aire caliente es emitido por la parte superior con la ayuda de un ventilador o de forma natural.

Las ventajas son que se obtiene calor al instante, temperatura que es regulada a través de un termostato; su precio comercial es barato, su instalación es sencilla, no emiten gases contaminantes y su consumo eléctrico es moderado, ya que es menor al consumo de la placa radiante. Entre las desventajas se advierte la acumulación de polvo por lo que no es recomendable usarlo para personas que sufren de alergias, otras desventajas son que se trata de un equipo que produce ruido por el funcionamiento del ventilador y que no es eficiente para calentar espacios grandes.



Figura 22. Convector
Fuente [elaboración propia]

3.3.5 Acumuladores de calor

Son equipos que poseen un gran aislamiento térmico; en la parte interna poseen resistencias eléctricas que calientan un material refractario con la capacidad de acumular calor. Estos equipos tienen la ventaja de que pueden almacenar energía calorífica. Son especialmente aptos para sitios como Europa, en donde el precio de la energía eléctrica varía en función de la hora, por lo que este equipo puede ser cargado en las horas en las que el precio de energía es bajo y se puede desconectar en los periodos de precio de energía altos, momento en el que empiezan a emitir el calor acumulado, lo que supone un beneficio para los usuarios. Otras ventajas son que no producen gases contaminantes que afecten al medio ambiente, son fáciles de

instalar, no necesitan un mantenimiento excesivo y se pueden programar de acuerdo con el pliego tarifario de la región. La principal desventaja es su elevado costo económico.



Figura 23. Acumulador de calor
Fuente [elaboración propia]

3.3.6 Bomba de calor

La bomba de calor es un dispositivo que es capaz de transferir calor desde un punto frío a otro caliente. Es un equipo con una elevada eficiencia, ya que aprovecha al máximo la energía que se encuentra en el ambiente. Su ventaja es que puede funcionar como calefactor o como aire acondicionado, dependiendo de la temperatura que se requiera. Es el único equipo que puede trabajar de esta forma y sin emisión de gases contaminantes. Una de las desventajas es que en regiones de temperaturas extremadamente frías el equipo reduce su eficiencia al 50 %.

Su eficiencia se mide con el *Coefficient of Performance* (COP). El COP de una bomba de calor es 2 y 5, de una caldera de gas oscila entre 0,9 y el de un radiador eléctrico en 1. Un COP de 1 significa que un kilovatio de hora eléctrico es igual a un kilovatio de hora térmico, por ejemplo, un COP de 2 y 5 significa que con un kilovatio de energía eléctrica se entrega de 2 a 5 kilovatios de hora térmico, que demuestra la capacidad del equipo.



Figura 24. Bomba de calor
Fuente [elaboración propia]

3.3.7 Chimeneas a leña (biomasa)

El principio de funcionamiento es a presión negativa. El aire frío entra, se calienta y procede a subir. Los gases de combustión se expulsan por el cañón, si bien están regulados por el tiro de la chimenea, el fuego calienta el ambiente mediante radiación. Es poco eficiente, ya que la mayor parte del calor se escapa por el ducto o chimenea. Es recomendable emplazar una chimenea en lugares en donde sea factible contar con una gran cantidad de biomasa o leña. Los materiales usados para construir chimeneas son acero, vidrio y ladrillo refractario.



Figura 25. Chimenea de biomasa
Fuente [elaboración propia]

3.4 Calefacción centralizada

La calefacción centralizada representa un mayor poder energético que la calefacción individual. Es un foco de calefacción que se distribuye en todos los ambientes de un edificio o vivienda. Por la necesidad de calentar mayores áreas, los equipos son grandes y, en consecuencia, ocupan mayor espacio en la vivienda. El calor es distribuido por tuberías, zócalos, ductos con una gran calidad de aislamiento, de tal manera que el calor no se pierda en el trayecto de distribución. Entre los sistemas escogidos para calefacción centralizada están la losa radiante, zócalos de calefacción, bombas de calor.

3.4.1 Distribución hidráulica

Consiste en calentar agua mediante una caldera y distribuirla a los diferentes ambientes mediante losa radiante, radiadores o zócalos de calefacción.

3.4.2 Losa radiante

La losa radiante está formada por ductos de polietileno reticulado colocados en el piso en forma de serpentin o espiral, por los que circula agua caliente proveniente de una caldera, un sistema de colectores solares o energía geotérmica. Estos tubos se fabrican con una gran calidad de aislamiento para impedir que el calor se escape hacia abajo del piso.



Figura 26. Losa radiante en sala de estar
Fuente [elaboración propia]

Una de las ventajas de este sistema es el ahorro. La inversión inicial es grande, pero hay que considerar que el agua que circula debe tener una temperatura que oscile entre los 35 a 45 grados centígrados; no así en los radiadores en donde las temperaturas de funcionamiento son mayores, lo que implica un mayor gasto económico y de energía.

La desventaja es que, cuando se usa como sistema de refrigeración, la eficiencia se reduce significativamente, además de que es un sistema que justifica la inversión cuando es una obra nueva, al limitar el uso de pisos cerámicos por la conductividad térmica.

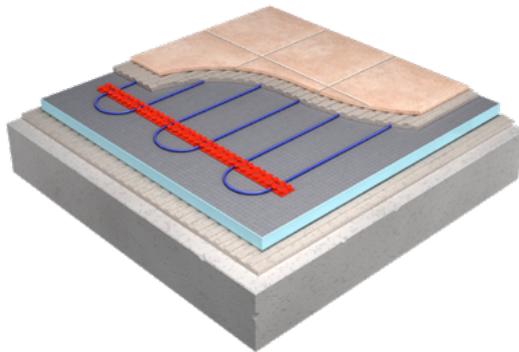


Figura 27. Losa radiante
Fuente [elaboración propia]

3.4.3 Zócalos de calefacción

Un zócalo de calefacción es un sistema que se ubica en el perímetro inferior de la habitación por el cual circula agua caliente a una temperatura aproximada de 40°C proveniente de calderas, colectores solares, energía geotérmica.

Las ventajas de este sistema de calefacción son la no acumulación de calor en el techo, su fácil instalación en la obra inicial y el que evita que las paredes se humedezcan. Uno de sus problemas es que el calor se concentra en el margen de la habitación y, al colocar algún objeto frente al zócalo, se pierde calor.



Figura 28. Calefacción por zócalos
Fuente [elaboración propia]

3.5 Colectores solares

Los colectores solares se instalan poco a poco en las cubiertas de las viviendas con el objeto de calentar agua para Agua Caliente Sanitaria (ACS) y sistemas de calefacción. Para la implementación de un sistema de colectores solares, primero se debe analizar la radiación solar disponible en la zona y para ellos se efectúan mediciones reales que se pueden obtener del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMI), en el caso de Ecuador. Cuando no se dispone de esta información, se puede recurrir a otra herramienta de apoyo como la base de datos de la NASA que dispone de datos de medición de radiación solar que son de gran ayuda para diseñar un sistema de colectores solares.



Figura 29. Colector solar térmico
Fuente [elaboración propia]

Los colectores solares están formados internamente por tubos concéntricos que en la parte exterior del tubo poseen aceite que tiene un elevado poder calorífico y por la parte externa circula agua. El agua fría de la red ingresa por la parte inferior del colector solar; cuando los rayos del sol inciden sobre el panel el aceite se calienta y este calor se transmite al agua mediante transferencia de calor por conducción. El agua caliente sale por la parte superior del panel y se conecta directo a la red de ACS, sistema de calefacción o se almacena en un tanque térmico.

Los colectores solares se pueden conectar en serie y paralelo y cada configuración implica ventajas y desventajas. Al conectar los colectores solares en paralelo se puede trabajar con grandes caudales de agua, pero se requiere de una mayor longitud de tubería; la temperatura del agua es menor. Cuando la configuración de paneles es en serie, el diámetro de la tubería es menor, por tanto, se necesita menor espacio para la conexión y se obtiene mayor temperatura en relación con la conexión en paralelo. Uno de los inconvenientes es la reducción del rendimiento de los paneles, por lo que esta configuración no es recomendada.

3.6 Ejercicios de aplicación

a. Convertir 80° F a grados centígrados

Se aplica la ecuación:

$$C=5/9 (F-32)$$

Reemplazando en la fórmula se tiene:

$$C=5/9 (80-32)=26.66 \text{ } ^\circ\text{C}$$

b. Convertir 100°C a grados Fahrenheit

Se aplica la ecuación:

$$C=5/9 (F-32)$$

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$100=5/9 (F-32)$$

De donde:

$$F=186.4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

c. Convertir 300°K a grados centígrados

Se emplea la ecuación:

$$C=K-273$$

Se aplica la ecuación:

$$C=300-273=27^{\circ}\text{C}$$

d. Convertir 100°C a grados Kelvin

Utilizando la ecuación:

$$K=C+273$$

Utilizando la ecuación:

$$K=100+273=373^{\circ}\text{K}$$

e. Explicar el funcionamiento del siguiente sistema de calefacción y ACS.

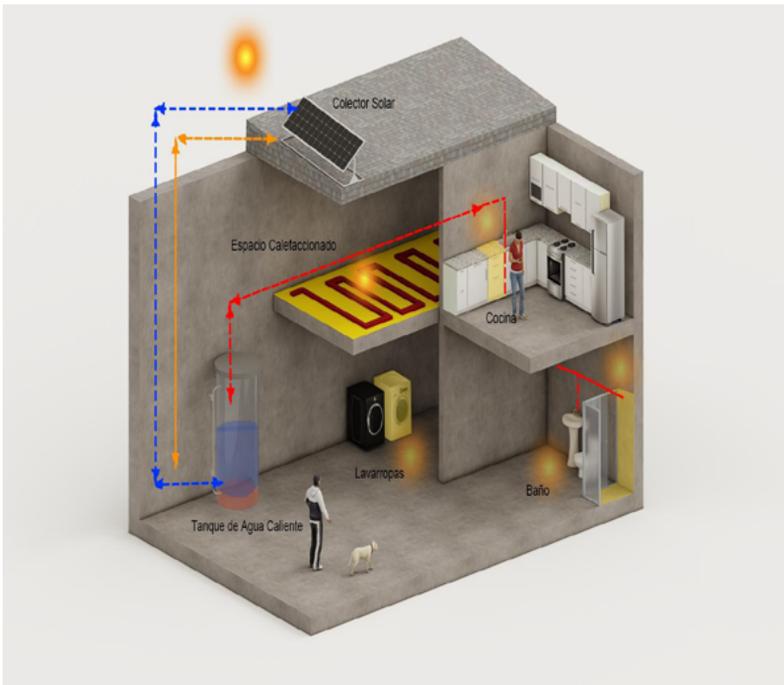


Figura 30. Ejemplo de funcionamiento de sistema de calefacción
Fuente [elaboración propia]

Se receipta energía a través del colector solar térmico: los rayos del Sol llegan a la Tierra mediante la transferencia de calor por radiación. Estos rayos solares inciden sobre la superficie del colector solar, el cual está conformado en la parte inferior por tubos concéntricos en forma de serpiente. Por la parte exterior del tubo concéntrico circula aceite o algún líquido con un elevado poder calorífico, y por la parte interior del tubo concéntrico circula agua. Los rayos del Sol calientan el aceite rápidamente y, mediante transferencia de calor con conducción, se transfiere el calor al agua proveniente de la red pública, es decir, por la parte inferior ingresa el agua fría y por la parte superior sale agua caliente. Esta agua caliente se puede enviar directamente al sistema de tuberías de ACS, pero lo recomendable es enviarlo a un tanque térmico para conservar el agua caliente. El tanque térmico puede tener una resistencia eléctrica para calentar aún más el agua. Se sugiere emplear una resistencia eléctrica que puede alimentarse de un panel solar fotovoltaico.

El agua caliente es distribuida a la tubería de ACS, que se puede utilizar para los baños, cocina, lavadora. Otra cantidad de agua es usada para el sistema de calefacción de losa radiante.

Ejemplo de cálculo de demanda de ACS

Para conocer la demanda total de ACS se calculará con una referencia de temperatura de 60°C. La vivienda referencial será el tipo común de la ciudad de Cuenca: una construcción de dos pisos y tres habitaciones, con un total de cuatro habitantes. Como primer paso para el cálculo, se obtendrá el consumo de ACS en litros/día-persona. Tomando como referencia el Código Técnico de la Edificación en el documento básico DB-HE-4, se observa que una vivienda consume 28 litros/día-persona. El segundo paso es determinar el número de personas que consumen el ACS, para este apartado se estima que en una vivienda tipo viven cuatro personas, el padre, la madre y dos hijos. Entonces se calcula el número de litros/día de ACS que la vivienda necesita con estas fórmulas:

$$\text{ACS(litros/día)} = \text{litros/día-persona} \times (\text{N}^\circ \text{ de personas})$$

$$\text{ACS(litros/día)} = 28 \text{ litros/día-persona} \times (4 \text{ personas})$$

$$\text{ACS(litros/día)} = 112 \text{ litros/día}$$

Los cálculos dejan ver que la vivienda necesita 112 litros/ día de ACS, demanda que puede ser solventada por diferentes sistemas de calefacción, por ejemplo, con colectores solares térmicos, caldera eléctrica, caldera a combustión, elección que se sujeta a las necesidades y posibilidades económicas de los dueños de la vivienda.

CAPÍTULO CUATRO

INSTALACIONES ELÉCTRICAS ESPECIALES

4.1 Grupo electrógeno

Un generador eléctrico o grupo electrógeno es un equipo que sirve para generar energía eléctrica mediante la operación de un motor de combustión interna que generalmente funciona a diésel o gasolina. El funcionamiento de este equipo se activa cuando se suspende el suministro de energía de la red eléctrica pública [7]. Por lo general, el grupo electrógeno se emplaza en edificios multifamiliares, en la parte baja del edificio. Se debe anotar que el funcionamiento del motor produce ruido, vibración y emisión de gases contaminantes para el medio ambiente.



Figura 31. Generador eléctrico de combustión
Fuente [elaboración propia]

4.2 Componentes del grupo electrógeno

Un grupo electrógeno típico está compuesto por un motor, radiador, generador y cuadro eléctrico.

El **motor a combustible** funciona de modo similar al motor de un vehículo convencional, y funciona con combustible como diésel o gasolina. Se recomiendan los grupos electrógenos a diésel, ya que es un combustible menos peligroso que la gasolina [8]. El objetivo es convertir la energía del combustible en energía mecánica.

El **radiador** lleva el fluido caliente y cuando circula lo enfría para evitar que se produzcan un sobrecalentamiento del motor.

El **generador** posee un eje que está conectado al eje del generador, de tal manera que la energía mecánica se transmita al generador y se produzca energía eléctrica.

Y el **cuadro eléctrico** regula el funcionamiento del grupo electrógeno, enciende el equipo cuando existe un corte de suministro eléctrico de la red pública. Posee equipos para medir magnitudes eléctricas, sistemas de protección como interruptores termo-magnéticos y un sistema de barras de cobre.

Como se mencionó, la puesta en marcha del grupo electrógeno produce ruido y vibración por lo que es recomendable instalarlos sobre una losa aislada para que no se transmitan las vibraciones a la losa principal. En la actualidad se ofertan generadores que disponen de un sistema para aislar el ruido y para ser usados en lugares como bibliotecas, hospitales o edificios multifamiliares.

4.3 Aspectos técnicos constructivos

Al diseñar el cuarto de máquinas, que es el lugar donde va ubicado el grupo electrógeno, no se deben perder de vista algunos aspectos técnicos constructivos para obtener como resultado un ambiente seguro para las personas que viven en el edificio.

4.3.1 Aireación y evacuación de gases

En el diseño del cuarto de máquinas es imprescindible implementar un agujero o abertura para el tubo de escape de gases producto de la combustión interna del motor, puede incluir un purificador de gases y un

silenciador. No es recomendable diseñar espacios cerrados, ya que el motor necesita oxígeno para su funcionamiento y de la circulación de aire para la refrigeración.

4.3.2 Errores típicos en el diseño del cuarto de máquinas

Algunos de los errores típicos que se cometen en el momento de diseñar el cuarto de máquinas son los siguientes:

- El aire producto de la combustión es expulsado en el interior del edificio, debido a la inexistencia de una abertura para el tubo de escape.
- Error de dimensionamiento de puertas de acceso, que provoca que al ingresar con el generador para el montaje se deban reconstruir nuevamente los accesos. Es recomendable, previo el diseño del cuarto de máquinas, obtener las especificaciones técnicas y dimensiones del generador que se vaya a instalar en el lugar.
- El tanque de combustible queda muy lejos del generador.
- Construir cuartos de máquinas muy pequeños y estrechos.

4.4 Transformadores

Son dispositivos cuyo objetivo principal es aumentar o disminuir el nivel de tensión o voltaje. La medida de capacidad de los transformadores es el kilovoltio amperio y su simbología es el Kva. Los transformadores pueden ser de tipo monofásico y trifásico, la capacidad depende de cada uno de los requerimientos particulares de las cargas.

En el mercado circulan diversos tipos de transformadores, entre los principales están los convencionales y los *pad mounted*. Los transformadores de tipo convencional son idóneos en las redes aéreas de los sistemas de distribución eléctrica pública, mientras que los transformadores *pad mounted* se usan más en redes soterradas y edificios que requieren su propia estación de transformación.

Para seleccionar un transformador es indispensable que los datos sobre los voltajes proporcionados coincidan con los de la red eléctrica pública de la región en donde se vaya a instalar. Otro aspecto clave es la frecuencia del equipo: en la mayoría de países de América, la frecuencia es de 60 Hz, mientras que en Europa la frecuencia es de 50 Hz [9].



Figura 32. Transformador
Fuente [elaboración propia]

4.5 Acometidas eléctricas en media tensión

Una acometida eléctrica de media tensión son los conductores que bajan por el poste desde la red de media tensión y van directamente a través de ductos y pozos hasta la cabina de transformación. Habitualmente se construyen acometidas de media tensión en áreas de proyectos grandes con el fin de evitar caídas de tensión y reducir pérdidas de energía.

Para la bajante de la acometida se podrán utilizar los siguientes elementos con diámetro mínimo de 2":

- tubería de policloruro de vinilo PVC
- tubo rígido de acero metálico
- tubería de polietileno de alta densidad flexible

4.6 Construcción de pozos y ductos

De acuerdo con las especificaciones técnicas estipuladas en la página web unidadesdepropiedad.com, iniciativa del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), se debe cumplir con la homologación en cuanto a la construcción de pozos para acometidas eléctricas soterradas. La prescripción es construir pozos de revisión cada 30 m o 60 m, en función de la topología del sitio: si el terreno es plano, es recomendable construir pozos cada 30 m. También se construyen pozos para cambiar la dirección de la acometida.

Los ductos que unen los respectivos pozos deben ir colocados con separadores. Los separadores deben ser láminas de PVC, usualmente de color naranja; la separación mínima entre ductos de un mismo banco tanto horizontal y vertical debe ser de 5 cm, al margen del diámetro de la tubería y del nivel de voltaje empleado. La distancia longitudinal entre cada separador será de 2.5 m. En la Figura 33 se presentan diferentes diseños de separadores de PVC [10].

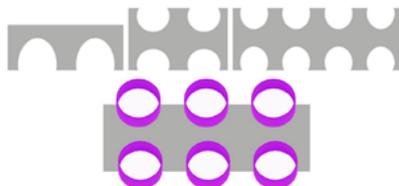


Figura 33. Representación de separadores de tubería
Fuente [elaboración propia]

La profundidad de los ductos depende específicamente del lugar por donde se construyan; en el caso de que los ductos estén en zonas en las cuales circulen vehículos, su profundidad debe ser de 0.8 m, y en zonas exclusivamente peatonales la profundidad debe ser de 0.6 m.

De acuerdo con la homologación del MEER, el fondo de la zanja tendrá un terminado uniforme sobre el cual se colocará una cama de ripio de 5 cm, que sirve como sistema de filtrado de agua. El dimensionamiento de los pozos obedece específicamente a la aplicación que se le dé, puede ser para acometidas en media y baja tensión o para conductores de alumbrado público.

En la Tabla 3 se especifican las dimensiones de cada uno de los pozos de acuerdo con los requerimientos.

Tabla 3. Cuadro de dimensiones para pozos

Tipos	Largo (M)	Ancho (M)	Profundidad (M)	Aplicación
Tipo A	0,6	0,6	0,75	AP-ACOMETIDA
Tipo B	0,9	0,9	0,9	MV-BV-AP
Tipo C	1,2	1,2	1,2	MV-BV-AP
Tipo D	1,6	1,2	1,5	MV-BV-AP
Tipo E	2,5	2,00	2,00	MV-BV-AP

Fuente [elaboración propia]

Los pozos construidos vistos en axonometría se muestran en la Figura 34:

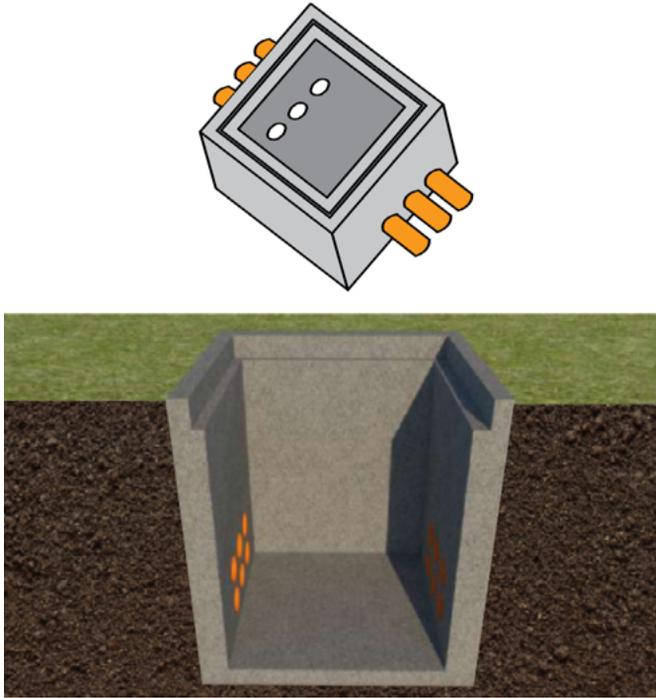


Figura 34. Representación de pozos en 3D
Fuente [elaboración propia]

Por lo general, para los sistemas de acometida trifásica se construyen pozos con 6 ductos, de los cuales tres están destinados para las fases, uno para el neutro y dos ductos de reserva. Las tapas de los pozos deben ser de hormigón armado, con un marco y brocal metálico construido de pletina de acero, con un espesor de 4 mm y 50 mm de base por 75 mm de alto, con una abertura de 110 grados tanto para el bronce como para el marco de la tapa. Esta estructurase se esquematiza en la Figura 35.

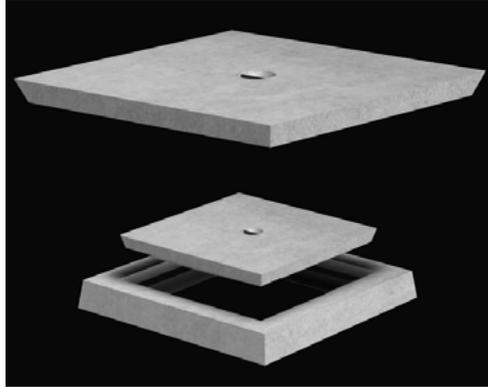


Figura 35. Representación 3d tapa de pozos
Fuente [elaboración propia]

El piso de los pozos se fundirá completamente con una capa de hormigón de mínimo 10 cm y se ubicará un drenaje que a su vez deberá tener un sifón que debe estar conectado al sistema de alcantarillado público a través de una tubería de PVC de mínimo 50 mm. La losa de piso deberá tener una inclinación del 1,5 % hacia el drenaje.

4.7 Pararrayos

De acuerdo con la definición del diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, un pararrayo es un ‘artificio compuesto de una o más varillas de hierro terminadas en punta y unidas entre sí y con la tierra húmeda, o con el agua, por medio de conductores metálicos, el cual se coloca sobre los edificios o los buques para preservarlos de los efectos de la electricidad de las nubes’ [2].

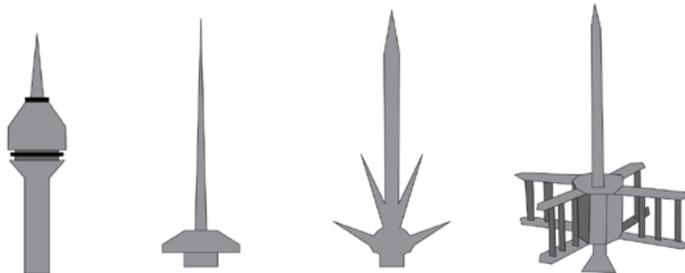


Figura 36. Pararrayos
Fuente [elaboración propia]

La principal función del pararrayo es proteger las estructuras del daño que puede producir el impacto de un rayo y lo logra mediante la transmisión correcta a tierra de la corriente del rayo directo en forma controlada. El rayo es una descarga atmosférica que se produce entre las nubes o entre las nubes y la tierra. Se produce una gran descarga de energía que alcanza rangos de voltaje de 300 kV y corrientes de 200 kA.

4.7.1 Esquema y funcionamiento de un sistema de pararrayos

Un sistema de pararrayos está formado por los siguientes elementos:

- pararrayo
- mástil del pararrayo
- conductor de cobre
- electrodo o malla de puesta a tierra
- conectores de cobre-cobre

El pararrayo capta o atrae al rayo. Cuando se produce la descarga atmosférica, se disipa una gran cantidad de energía a un electrodo o malla de puesta a tierra a través de un conductor de cobre con una baja resistencia eléctrica.

Los pararrayos deben colocarse principalmente en estructuras que cumplen con ciertas características:

- edificaciones que sobresalen en altura
- construcciones que contengan elementos explosivos, como talleres, fabricas, químicos, pirotécnicos y combustibles
- construcciones con aglomeraciones masivas de personas como teatros, cines, instalaciones deportivas, iglesias, hospitales, colegios
- edificaciones con equipamiento electrónico sensible

Para determinar el número de rayos que inciden sobre una determinada región, se consultará un mapa isocerámico, que indica el número de días al año en los que habrá tormentas y que al menos se escuche un trueno.

4.7.2 Tipos de pararrayos

Existen diferentes tipos de pararrayos:

- tipo Franklin
- tipo radioactivo
- tipo piezoeléctrico
- tipo ion
- tipo jaula de Faraday

4.7.2.1 Pararrayo tipo Franklin

Los campos eléctricos son más intensos en las terminaciones que son en punta, por eso, los pararrayos tipo Franklin aplican este principio para atraer a los rayos. La cobertura de protección de estos pararrayos es como un cono cuyo diámetro de base mide lo mismo que la distancia que existe desde la punta del pararrayos a la tierra. Los pararrayos pueden ser punta simple (jaula de Faraday) o de puntas múltiples, esto conlleva algunas características para cada caso [11].

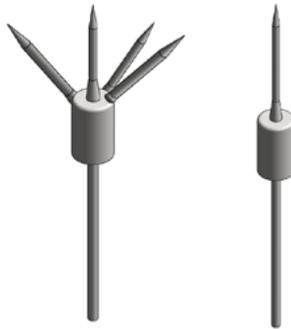


Figura 37. Pararrayo tipo Franklin
Fuente [elaboración propia]

4.7.2.2 Pararrayo tipo radioactivo

Su objetivo es ionizar el aire circundante, ya que posee una caja con isótopos radioactivos; los iones producidos atraen al rayo. El área de protección es una semiesfera cuyo radio mide 200 m. Algunos países prohíben este tipo de pararrayo porque contiene radiación.



Figura 38. Pararrayo tipo radioactivo
Fuente [elaboración propia]

4.7.2.3 Pararrayo tipo piezoeléctrico

Consiste en generar un gradiente de potencial que sirve para ionizar el aire que pasa por la punta del pararrayos. En condiciones atmosféricas extremas, este pararrayos funciona muy bien.



Figura 39. Pararrayo tipo piezoeléctrico
Fuente [elaboración propia]

4.7.2.4 Pararrayos tipo ion

Su principio de funcionamiento es similar al pararrayo tipo radioactivo, con la diferencia de que la emisión de iones se lleva a cabo mediante un dispositivo eléctrico y, además, posee un acelerador de partículas polarizadas. Los iones generados con un dispositivo eléctrico no son peligrosos para las personas ni para el ambiente.

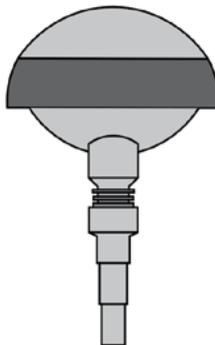


Figura 40. Pararrayo tipo ión
Fuente [elaboración propia]

4.7.2.5 Pararrayo tipo jaula de Faraday

En este tipo de pararrayo, se una malla a lo largo del techo de la edificación o se implantan puntas macizas de cobre en la periferia del techo para brindar una mayor protección al edificio. Este tipo se emplea en edificaciones con un alto nivel de riesgo de explosión como, por ejemplo, fábricas de pirotécnica o fábricas de combustibles químicos.

Cabe indicar que un sistema de pararrayos mal instalado resulta muy peligroso, ya que su función es captar el rayo para descargarlo a la tierra por medio de un “camino” seguro y con ello evitar daños a equipos, personas o estructuras.



Figura 41. Protección mediante jaula de Faraday
Fuente [elaboración propia]

4.8 Conexión de puesta a tierra

Es un sistema de protección para toda infraestructura, que permite contar con un mecanismo de seguridad que forma parte de las instalaciones eléctricas. Su función es la de conducir corrientes de falla hacia tierra e impedir que los usuarios entren en contacto con estas cargas eléctricas.

Esta conexión está formada por electrodos que están conectados por medio de un conductor a una varilla, construida normalmente con cobre. Esta varilla en la mayoría de los casos es ubicada fuera de la edificación, en un terreno que debe con valores de resistencia eléctrica bajas para que la corriente de falla fluya con gran facilidad [12].

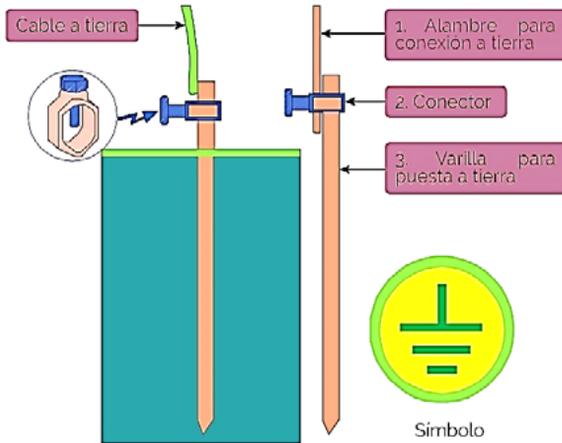


Figura 42. Sistema puesto a tierra con pica
Fuente [elaboración propia]

4.9 Ascensores

El ascensor es un sistema de transporte vertical diseñado para movilizar personas o bienes en diferentes alturas. Una breve reseña histórica indica que el 23 de marzo de 1857 la empresa Otis instaló el primer ascensor seguro para personas en los grandes almacenes E.V. Haughwout en Nueva York. Como dato adicional, las escaleras eléctricas se inventaron en 1900.

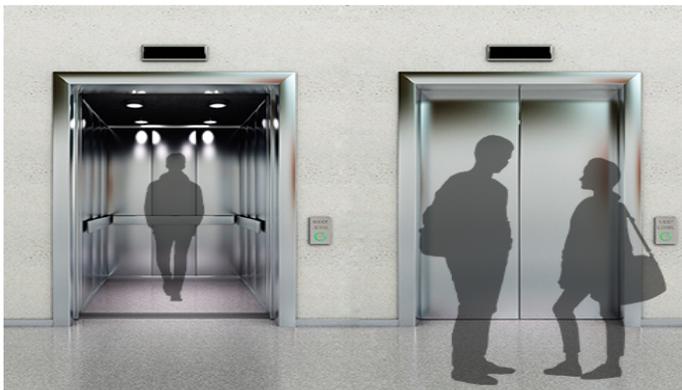


Figura 43. Ascensor en edificio
Fuente [elaboración propia]

Actualmente se pueden hallar dos tipos de ascensores: los hidráulicos y eléctricos, cada uno con sus ventajas y desventajas.

4.9.1 Ascensores hidráulicos

Este tipo de ascensor se caracteriza por llevar un pistón que internamente tiene aceite y funciona de manera hidráulica. Posee una máquina hidráulica que controla el aumento o disminución de la presión en el pistón para que se produzca el movimiento.

Las partes principales del ascensor hidráulico son:

- central hidráulica
- cilindro
- pistón
- válvulas de control del sistema hidráulico
- válvulas de control de tuberías

Se recomienda instalar este tipo de ascensores en edificios de poca altura, ya que ocupan espacios pequeños. Constan generalmente de dos guías laterales a la cabina, por lo que es llamado también *ascensor de mochila*.

Como el ascensor es hidráulico, es imprescindible darle un mantenimiento continuo para evitar la acumulación de impurezas en el aceite del sistema, un mantenimiento que implica costos que deben ser previstos al tomar la decisión de implementarlos [13].

Los ascensores hidráulicos pueden usar tres tipos de pistones:

a. Pistón de acción directa, ubicado en la base de la cabina. El movimiento del ascensor está relacionado directamente con el movimiento del pistón en una relación 1:1.

b. Pistón de acción indirecta, caracterizado porque el pistón no se ubica en la base de la cabina. El movimiento se lleva a cabo mediante un acople con cables de acero que unen la estructura del pistón con la parte superior de la cabina del ascensor.

c. Pistón telescópico, formado por dos o más vástagos. Al implementar este pistón a veces es necesario construir por debajo de la base del foso, lo que vuelve más complejo su mantenimiento.



Figura 44. Ascensor hidráulico
Fuente [elaboración propia]

4.9.2 Ascensores eléctricos

Este tipo de ascensor se caracteriza por su motor eléctrico que básicamente está formado por una cabina y un contrapeso, característica que establece la denominación del tipo acoplado a una polea tractora.

Los ascensores eléctricos demandan construir un cuarto de máquinas en el que se instalan los siguientes componentes:

sistema de tracción

- motor
- freno reductor
- polea de adherencia
- tambor de arrollamiento

El esquema de un ascensor se basa en un sistema de poleas movidas mediante un motor eléctrico que es controlado por un cuarto de máquinas principal, con un amplio rango de cargas y velocidades (0.5-7.5 m/s).

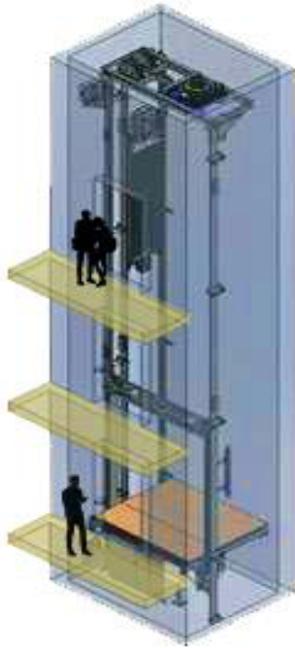


Figura 45. Ascensor eléctrico
Fuente [elaboración propia]

Su uso se extiende principalmente a edificios de cualquier tipo y altura y puede alcanzar grandes cargas y velocidades para lograr una gran eficiencia. Al carecer de un reductor mecánico, se obtiene una elevada eficiencia energética por los bajos consumos de energía.

El avance tecnológico ha permitido que no generen contaminación acústica, además de que el uso de variadores de velocidad reduce las vibraciones del motor y brinda confort en los desplazamientos. La implementación de un kit vibro-acústico evita que las vibraciones que se producen en el ascensor se transmitan a la estructura del edificio.

4.9.3 Montacargas

Es un sistema de transporte vertical diseñado para movilizar únicamente bienes en diferentes alturas, posee nivel de confort y acabados menores, carece de control de velocidad. Su tecnología es similar a la de los ascensores eléctricos o hidráulicos, pero su sistema de seguridad es mínimo, por lo que no son aptos para movilizar a personas.

Sus dimensiones habituales son de 1m^2 como mínimo y su altura de 1,20 m. En ocasiones se requieren montacargas de altas prestaciones, por ejemplo, para soportar vehículos habitualmente de 2000 hasta 4000 kg. Otros montacargas pueden ser muy simples y funcionar con poleas con motor o incluso manuales.

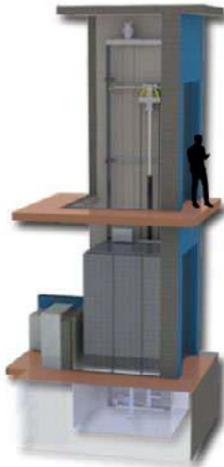


Figura 46. Montacargas en edificio
Fuente [elaboración propia]

4.10 Ejercicios de aplicación

a. Dimensionar un grupo electrógeno para una carga de 100kVA , las que tienen un factor de potencia de 0.9.

Para saber la capacidad del grupo electrógeno, se debe conocer la potencia activa. Luego se aplican las ecuaciones del triángulo de potencias y se tiene:

$$\cos(\phi) = P/S$$

La potencia activa $P=S*\cos(\phi)$

Al reemplazar los datos proporcionados en el enunciado queda:

$$P=100 \text{ kVA}*(0.9)$$

$$P=900 \text{ kW}$$

Una vez obtenida la potencia activa del caso, se escoge un generador que proporcione una potencia de 900 kW, que se encuentra fácilmente en cualquiera de las marcas comerciales, algunas de las marcas más reconocidas son Weg, Caterpillar, ABB, Siemens, etc.

b. Se necesita dimensionar un transformador para una carga de 40 kW, el factor de potencia es de 0.85. ¿Cuál es la capacidad de la estación de transformación?

Para saber la capacidad del grupo electrógeno se debe conocer la potencia aparente. Al aplicar las ecuaciones del triángulo de potencias se tiene:

$$\cos \cos (\emptyset) =P/S$$

La potencia aparente $S=P/(\cos \cos (\emptyset))$

Reemplazando los datos proporcionados en el enunciado queda:

$$S=(40 \text{ kW})/0.9$$

$$S=44.44 \text{ kVA}$$

Una vez obtenida la potencia aparente necesaria, se escoge un transformador que proporcione una potencia de 44.44 kW, es decir, se selecciona un transformador comercial cuya potencia sea de 50 kVA; se lo encuentra fácilmente en cualquiera de las marcas comerciales. Algunas de las marcas más reconocidas son Inatra, Ecuatran, Siemens, etc.

c. Un rayo posee un voltaje de 500 KV. Para un valor de la resistencia mínima del terreno, calcule la corriente y la potencia del rayo.

La resistencia mínima del terreno debe ser 25Ω.

Si se aplica la ley de Ohm, $V=I*R$

La corriente eléctrica es $I=V/R$

Reemplazando los datos del problema $I=500\text{kV}/25\Omega=20\text{kA}$.

La potencia eléctrica es $P=V*I$

Reemplazando los datos $P=500*20=10.000 \text{ kW}$

d. Un rayo tiene una corriente de 20 KA. Para un valor de la resistencia mínima del terreno, calcule el voltaje y la potencia del rayo.

La resistencia mínima del terreno debe ser 25Ω .

Si se aplica la ley de Ohm $V=I \cdot R$

Reemplazando los datos del problema $V=20 \text{ kA} \cdot 25\Omega=500 \text{ kV}$.

La potencia eléctrica es $P=V \cdot I$

Reemplazando los datos $P=500 \cdot 20=10.000 \text{ kW}$

CAPÍTULO CINCO

INTEGRACIÓN FOTOVOLTAICA

Según los objetivos planteados por el MEER del Ecuador, para el año 2020 el 86 % de la energía generada en el país debía provenir de centrales hidroeléctricas, mientras que el 2 % debía ser generada por fuentes de energías renovables. En el 2021, solo el 0.14 % de energía generada en el país es proveniente de paneles fotovoltaicos [14]. Uno de los proyectos fotovoltaicos más grandes del Ecuador está en la provincia de Imbabura, con una potencia de 998 kW.

5.1 Energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica consiste en convertir directamente en energía eléctrica la energía contenida en la radiación solar. Se caracteriza porque es una energía limpia, ya que no genera humos ni ruidos.

Los fotones llegan a la Tierra en forma de radiación solar, que son partículas en forma de energía. Estos fotones inciden sobre materiales semiconductores cristalinos que usualmente son de silicio o germanio, su efecto es producir una diferencia de potencial eléctrico. Si se conecta un conductor en los bornes del material semiconductor, se produce una circulación de electrones que da como resultado una circulación de corriente continua.

Una de las aplicaciones de energía fotovoltaica es el uso en lugares aislados de la red eléctrica convencional, específicamente para electrificar casas pequeñas, señalar vías, bombeo de agua, sistemas de comunicación, etc. [15].

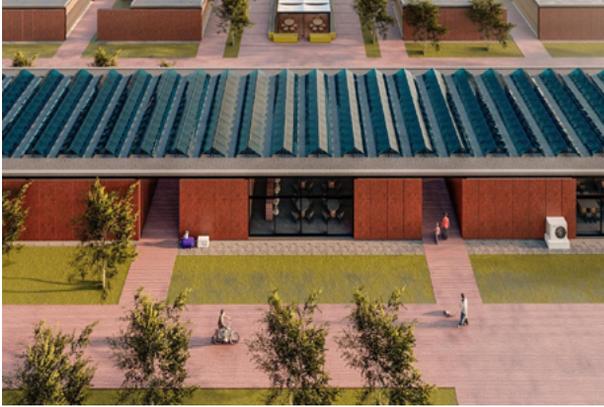


Figura 47. Paneles fotovoltaicos en cubierta de escuela
Fuente [elaboración propia]

5.2 Ventajas y desventajas

Las principales ventajas de usar sistemas fotovoltaicos son:

- Es una energía no contaminante para el medio ambiente.
- Es una energía gratuita, ya que proviene del Sol.
- Es una tecnología que se puede producir a cualquier escala, con un precio constante.
- Es una tecnología fácil de usar y de dar mantenimiento.
- Impulsa el desarrollo económico y es rentable frente a la energía convencional.
- El mercado oferta paneles de todas las dimensiones, de acuerdo con los requerimientos del usuario.

También existen limitaciones al usar esta tecnología:

- La energía solo puede ser producida en el día.
- En el caso de carecer de una conexión a la red eléctrica convencional, se necesita de un banco de baterías.
- Al ocupar un espacio físico importante, produce contaminación visual.
- El tiempo de recuperación de la inversión es a largo plazo.
- Su rendimiento es bajo comparado con otras tecnologías.

5.3 Geometría solar

El Sol es una estrella gaseosa, con forma esférica, y representa una gran fuente de radiación electromagnética. Los principales componentes del Sol son helio, hidrógeno y carbono. La radiación solar no es uniforme sobre la Tierra, ya que depende de la hora del día y la ubicación geográfica en donde se esté analizando.

Los movimientos de la Tierra son rotación y traslación. El primer movimiento sucede alrededor del eje polar, que es un eje imaginario no perpendicular al plano de la órbita y que está inclinado $23^{\circ} 27'$. El segundo movimiento consiste en el giro de la Tierra alrededor del Sol, giro que dura 365.25 días.

También es importante conocer el ápside, que es la línea imaginaria que une el afelio con el perihelio (punto más alejado con el punto más cercano del Sol). Los días del año en que el Sol alcanza su mayor o menor altura aparente en el cielo se conocen como solsticios, y son los días o noches de mayor duración del año.

Cuando se desea ubicar cualquier punto sobre la superficie de la Tierra, se pueden usar las coordenadas geográficas como son la *latitud* y *longitud*. La *latitud* es la distancia norte-sur medida desde el Ecuador; en el Ecuador es 0° y en los polos 90° . La *longitud* es la distancia este-oeste, medido desde el meridiano de Greenwich; toma valores de 0° en Greenwich hasta 180° .

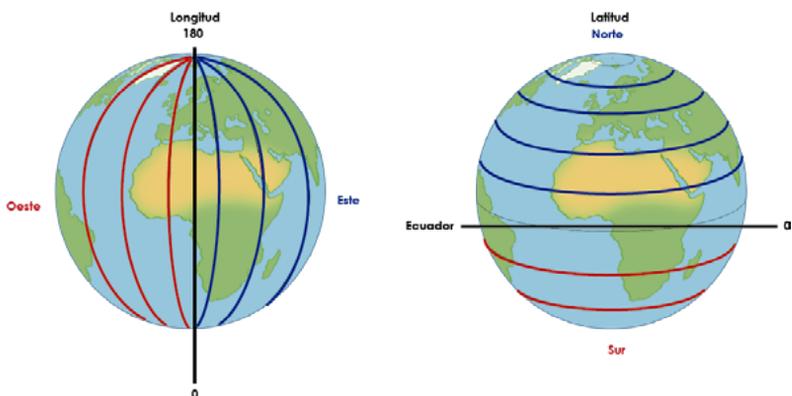


Figura 48. Longitud y latitud
Fuente [elaboración propia]

5.4 Inclinación y orientación de paneles

Es importante conocer la latitud del lugar en donde se va a implementar un huerto fotovoltaico. La inclinación óptima de los paneles va variando a lo largo del año y está relacionada directamente con la latitud de la zona de emplazamiento. Cuando las instalaciones son pequeñas, el ángulo de inclinación se puede cambiar de forma manual hasta unas cuatro veces al año. Cuando el huerto solar se instale en el hemisferio norte, los paneles solares deben orientarse hacia el sur y viceversa. Al diseñar el huerto solar, se deben evitar las posibles sombras, ya que reducen la eficiencia del sistema y ocasionan pérdidas.

En el Ecuador, la latitud está cerca de los 0° , por tanto, la inclinación de los paneles fotovoltaicos debe variar en ángulos de 5° a 15° con el fin de permitir la autolimpieza de los paneles.



Figura 49. Paneles fotovoltaicos en cubierta de viviendas
Fuente [elaboración propia]

5.5 Componentes de una instalación solar fotovoltaica

Los componentes de una instalación solar fotovoltaica son:

- paneles solares
- inversor
- baterías

5.5.1 Paneles solares

En la actualidad, los paneles fotovoltaicos son los dispositivos que mejor aprovechan la radiación solar para convertirla en energía eléctrica. Se confeccionan como placas rectangulares que se construyen de material semiconductor como el silicio y germanio [16].



Figura 50. Paneles fotovoltaicos en fachada de escuela
Fuente [elaboración propia]

Existen tres clases de paneles, cada uno con diferentes rendimientos:

- paneles monocristalinos
- paneles policristalinos
- paneles amorfos

Los paneles monocristalinos se construyen con silicio de alta pureza, es decir, con un solo cristal. Su eficiencia varía de un 11 % al 16 %.

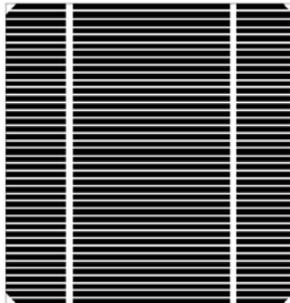


Figura 51. Panel fotovoltaico monocristalino
Fuente [elaboración propia]

Los paneles policristalinos se fabrican con silicio fundido en bruto, que produce diferentes redes cristalinas. Su eficiencia, comparada con los paneles monocristalinos, es menor, ya que varía de un 8% a un 14%.

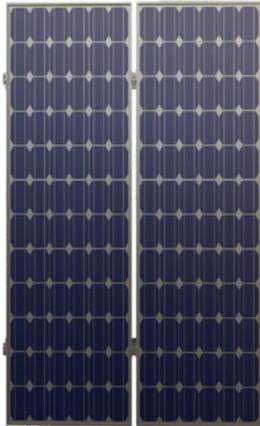


Figura 52. Panel fotovoltaico policristalino
Fuente [elaboración propia]

Un tercer tipo de panel es el amorfo, cuya eficiencia varía del 6% al 8%. Se llama *amorfo* por no existir una red cristalina, debido a que el material se deposita en unas capas finas que se unen entre sí.



Figura 53. Panel fotovoltaico amorfo
Fuente [elaboración propia]

Al adquirir paneles fotovoltaicos es necesario observar las especificaciones técnicas, que son necesarias para el correcto funcionamiento del huerto solar:

- potencia máxima
- corriente pico
- tensión pico
- intensidad de cortocircuito
- tensión del circuito abierto

Los paneles fotovoltaicos se pueden conectar en serie y paralelo. Al conectar paneles solares en paralelo se aumenta la corriente del arreglo fotovoltaico, pero si la conexión es en serie lo que aumenta es el voltaje. También es posible arreglos o combinaciones serie-paralelo.

5.5.2 Inversor

La corriente generada por los paneles fotovoltaicos es corriente continua, que no puede ser utilizada por los equipos convencionales que empleamos en la vida cotidiana, de ahí la exigencia de implementar un inversor, que es un equipo que se encarga de convertir la corriente continua en corriente alterna. El rendimiento de estos equipos oscila entre un 85 % y 95 %; pueden ser inversores monofásicos o trifásicos.

Cuando se adquiere un inversor, se deben identificar las características técnicas que son claves para el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico:

- tensión nominal
- potencia nominal
- capacidad de sobrecarga
- rendimiento
- forma de onda



Figura 54. Inversor fotovoltaico
Fuente [elaboración propia]

5.5.3 Baterías

Las baterías son dispositivos con la capacidad de convertir la energía química almacenada en energía eléctrica. La batería consta de celdas electroquímicas y de un electrodo positivo y negativo. En un arreglo fotovoltaico, la función principal es almacenar la energía generada en las horas de sol pico o en los instantes en que no se consume energía por parte de la carga instalada. La energía almacenada en las baterías es utilizada cuando la capacidad de generación es menor al consumo de la carga o cuando el precio de la energía alcanza los valores pico del pliego tarifario.

Desde un punto de vista general, se pueden distinguir dos tipos de baterías:

- Las baterías primarias en las cuales la energía se almacena en reactivos químicos. Al ser conectadas a una carga determinada, la energía se libera en un solo ciclo.
- Las baterías secundarias tienen la capacidad de acumular y descargar energía continuamente a través de reacciones químicas. Estas baterías son idóneas para sistemas fotovoltaicos y microrredes eléctricas.

Actualmente la tecnología más utilizada son las baterías de plomo ácido. Una de las desventajas es que el número de cargas y descargas es limitado. La eficiencia de estas baterías oscila alrededor del 75 %, considerando que el costo de esta tecnología es bajo.

Para adquirir baterías para un sistema fotovoltaico, se deben observar los siguientes aspectos técnicos:

- la tensión nominal
- la capacidad de descarga
- la capacidad nominal
- el régimen de carga o descarga
- la vida útil de la batería



Figura 55. Banco de baterías sistema fotovoltaico
Fuente [elaboración propia]

5.6 Ejercicio de aplicación sistema fotovoltaico

5.6.1 Datos de partida

Se pide diseñar un sistema fotovoltaico que cubra una demanda anual de 8929 kWh, sabiendo que el consumo mensual es de 707 kWh, la demanda pico de 12 kW y el consumo máximo diario de 32 kWh. El sistema se ubicará en la ciudad de Valencia en las coordenadas 39°28'54"N 0°20'38"O. El edificio cuenta con un área disponible en cubierta de 200 m² (10 m x 20 m) para la instalación de módulos FV. La orientación del edificio es de 45° relativa al norte. El presupuesto máximo es de 35 000 USD para la instalación y el precio de referencia del costo eléctrico es de 0.3 \$/kWh.

Algunos otros datos de partida para el diseño se muestran de manera condensada en la siguiente tabla:

Tabla 4. Datos de partida para cálculo de sistema fotovoltaico

Eficiencia del sistema	
Inversor	90 %
Cargador	85 %
Cableado	99 %
Eficiencia total	74 %
Demanda máxima diaria de energía kWh	32
Demanda máxima diaria de energía incluyendo pérdidas	43.2
Horas de sol pico	
HSP (h/año)	1,750
HSP (h/día)	4.79
Pérdidas por sombras (%)	0.993 %
HSP (descontando sombras) (h/día)	4.74

Fuente [elaboración propia]

Para determinar las horas pico solar, se compararon los datos de radiación media anual de 3 diferentes fuentes, tomando como referencia la menos favorable (Classic-PVGIS) que calcula una media de 4.79 h. p. s, que al aplicar las pérdidas por sombras baja hasta 4.74 h. p. s.

5.6.2 Selección de módulos fotovoltaicos

Después de hacer una revisión detallada de costos y rendimientos, se eligieron los módulos JKM200M-72 de la marca Jinko, principalmente por dos factores: entre los módulos disponibles eran los que mejor rendimiento ofrecían, y porque su precio por watio es el más bajo de entre todas las alternativas.

A continuación, la Tabla 5 resume las características del módulo seleccionado:

Tabla 5. Especificaciones técnicas panel fotovoltaico

Marca	JinKo
Modelo	JKM200M-72
Tipo	MONOCRISTALINO
Área células (cm ²)	72
V _{mpp} (V)	36.90
I _{mpp} (A)	4.52
P pico(kWp)	200
Voc (V)	45.60
Isc (A)	5.80
Longitud panel (mm)	1,580
Ancho panel (mm)	808
Área panel (m ²)	1.28
η	15.67%

Fuente [elaboración propia]

Tomando como dato de partida la energía diaria máxima demandada, la hora solar pico y los módulos fotovoltaicos seleccionados, el número de módulos para cubrir la demanda máxima es:

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Demanda diaria maxima}}{\text{HPS} * \text{Potencia módulos}}$$

$$(43.2 \text{ kWh}) / (4.74 * 0.2 \text{ kW}) = 45.56 \approx 46 \text{ Módulos}$$

Una vez obtenido el número de módulos, la distancia mínima entre

filas de módulos se calcula con base en la inclinación de los módulos y a la inclinación del Sol con respecto al horizonte. Para este caso, se tomó como día de referencia el 21 de diciembre que es el día más desfavorable del año, cuando la altura o inclinación del Sol con respecto al horizonte es mínima, tal como se ilustra en la Figura 56:

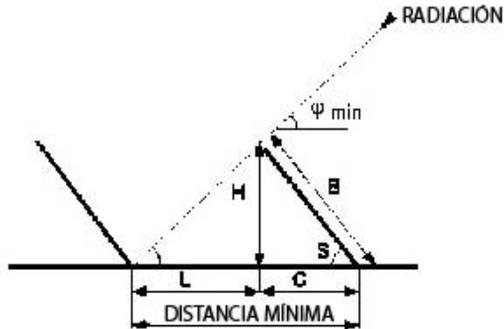


Figura 56. Variables para cálculo de sombra proyectada
Fuente [elaboración propia]

$$\text{Dist. min} = B \cdot \cos(S) + (B \cdot \sin(S)) / (\tan \varphi_{\min})$$

Si se desea instalar los módulos de manera horizontal, la distancia mínima entre la parte frontal de una fila y el inicio de la siguiente sería:

Tabla 6. Distancia mínima entre paneles colocados horizontalmente

Latitud	39.00
Día juliano (21 de diciembre)	355
Declinación, δ	-23.45
φ_{\min}	27.55
Inclinación paneles, S	35.00
Longitud del panel, B (m)	0.81
$d_{\text{mínima entre filas de módulos}}$ (m)	1.55

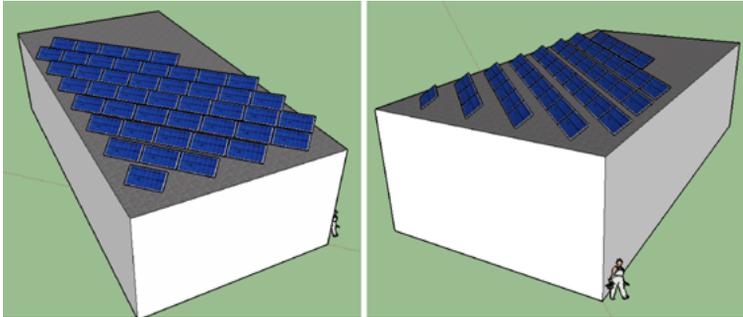


Figura 57. Disposición de paneles en forma horizontal

Si se desea una instalación de manera vertical (lado más corto del panel paralelo al suelo), la distancia mínima entre filas sería:

Tabla 7. Distancia mínima entre paneles colocados verticalmente

Latitud	39.00
Día juliano (21 de diciembre)	355
Declinación, δ	-23.45
φ_{\min}	27.55
Inclinación paneles, S	35.00
Longitud del panel, B (m)	1.58
$d_{\text{mínima entre filas de módulos}}$ (m)	3.03

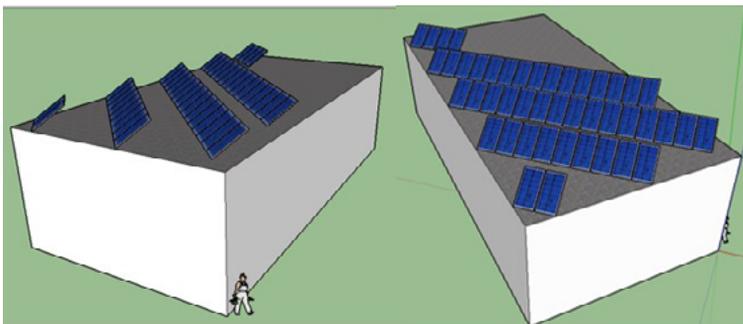


Figura 58. Disposición de paneles en forma vertical
Fuente [elaboración propia]

En las dos configuraciones se puede comprobar que queda espacio suficiente en la cubierta por lo que cualquiera de las **dos** opciones es viable.

5.6.3 Selección del inversor de red

Como la potencia pico instalada corresponde a 9.2 Kw, es necesario seleccionar un inversor o un grupo de inversores que sean capaces de disipar esta misma cantidad de potencia. Si bien el aspecto económico es vital en el momento del diseño, también lo es la fiabilidad del sistema, generalmente se observa que a medida que sube la potencia de los inversores su precio por vatio disminuye, lo que quiere decir que entre más grande sea la unidad más favorable será el inversor desde un punto de vista económico. Sin embargo, la desventaja en caso de fallo es que se desaprovecharía por completo la energía si no se disponen de unidades adicionales.

Si se evalúa el diseño desde el punto de vista de la fiabilidad, la mejor alternativa es instalar dos equipos **que** trabajen en paralelo para que, en caso de falla de alguno de los dos equipos, el sistema siga estando en capacidad de entregar al menos la mitad de la potencia total instalada y garantice así la continuidad de parte del suministro eléctrico en caso de fallo de alguno de los equipos.

Si se divide la potencia pico instalada entre **dos**, el resultado que cada inversor debe ser capaz de disipar **es de** al menos 4.6 kW, potencia que es la mínima a cubrir por parte del inversor. Se seleccionó el equipo RL5000 de Schneider, ya que cumple con la potencia mínima requerida para la aplicación y porque es el equipo con menor coste por vatio, con un precio de 0.217 \$/W.

La tensión máxima en circuito abierto del inversor para las entradas en corriente continua es de 550 Vdc y la tensión MPPT mínima es de 180 Vdc; por tanto, las series de paneles conectadas al inversor deberán ser de no menos de 4 y no más de 12, para las corrientes el RL5000 es capaz de manejar 18A por cada entrada MPPT (3 módulos JKM200M-72 en paralelo).

$(5kW_p \text{ (inversor)}) / (0.2kW \text{ (módulos)}) = 25 \text{ módulos por inversor max}$
 $\approx 23 \text{ módulos}$

Como hay dos inversores para manejar la producción fotovoltaica, cada inversor tendrá conectada la mitad de la cantidad total de módulos, de igual forma, estará conectado a dos series de paneles, una de 12 (547.2 Vdc) y a

otra de 11 (501.6 Vdc) módulos para aprovechar las dos entradas MPPT que tiene el inversor y mejorar el rendimiento global del arreglo fotovoltaico. De manera alternativa, pueden conectarse dos series de 6 módulos en lugar de conectar los 12 módulos en serie en la primera entrada, de esta manera se consigue bajar la tensión de la serie a la mitad, y se evita el riesgo de aproximarse demasiado a la tensión de circuito abierto, máxima del equipo, y mantener la corriente de entrada en un valor admisible. Con esta configuración, se asegura que las series de paneles no sobrepasen la tensión de circuito abierto admisible por el inversor ni su corriente máxima de trabajo del lado de CC.

5.6.4 Selección del inversor cargador

Para la selección del inversor cargador, de manera similar que con el inversor de red, se seleccionó el de menor costo por vatio, teniendo en cuenta que si se usan varios inversores en paralelo estos deben ser capaces de cubrir la demanda pico del sistema en caso de que este esté funcionando solo con baterías por lo que la selección de un inversor de 6 kW de potencia es trivial.

Si se seleccionara un grupo de inversores con una capacidad mayor, se estaría sobredimensionando la instalación, considerando que el parámetro de potencia pico usado para la selección corresponde a la demanda que tendría el edificio en el caso poco probable de que todas las posibles cargas del edificio estuvieran conectadas a la vez. De acuerdo con este detalle, seleccionar equipos con una capacidad combinada mayor a 12 kW elevaría los costos de la instalación innecesariamente.

Los equipos seleccionados son dos de referencia XW6048E de Schneider, con una potencia de salida de 6 kW, a una temperatura de operación de 40°C, con una corriente admisible de entrada en AC de 60 A y una tensión en DC para baterías de 48 V.

5.6.5 Selección de baterías

El cálculo de las baterías se efectúa observando diferentes factores:

- E_d -Energía demanda en el día de mayor consumo: 43.2 kWh
- D_a -Días de autonomía: 1
- DOD-Profundidad de descarga: 50 %
- V_b -Tensión de la bancada: 48 Vdc

- V_B -Tensión de la batería: 12 Vdc
- A_h -Capacidad de la batería: 250Ah

Con estos parámetros ya definidos, es posible precisar el tamaño del banco de baterías. Para determinar la energía total que se debe almacenar en el banco está esta fórmula:

$$\text{Capacidad total de almacenamiento} = (E_d \cdot D_a) / \text{DOD}$$

$$(43.2 \text{ kWh} \cdot 1 \text{ día}) / (50\%) = 86.4 \text{ kWh}$$

Para calcular la cantidad de baterías para cubrir la demanda, se plantea:

$$\text{Número de baterías} = \frac{\text{Capacidad total de almacenamiento (en Wh)}}{A_h \cdot V_b}$$

$$\frac{86400 \text{ Wh}}{250\text{Ah} \cdot 12\text{Vdc}} = 28.8 \approx 28 \text{ baterías}$$

Como la tensión del banco es de 48Vdc, el número de baterías seleccionado debe ser múltiplo de 4 (48 Vdc/12Vdc), por lo que el número de baterías para cubrir la demanda sería 28. Si bien el número de baterías seleccionado es un poco menor al que se obtuvo por medio de los cálculos, no impacta negativamente en el desempeño del sistema ni en la capacidad de respuesta a la demanda si se toma en cuenta que el sistema se está diseñando para funcionar en el peor caso y si se sobredimensiona para trabajar con una profundidad de descarga del 50 %. Se puede despreciar sin mayor consecuencia el exceso que se obtuvo en el cálculo de la cantidad de elementos necesarios para cubrir la demanda.

La cantidad de bancadas serían:

$$\frac{28 \text{ baterías}}{4 \text{ baterías por bancada}} = 7$$

CAPÍTULO SEIS

ACÚSTICA

6.1 Conceptos básicos de acústica

Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, el sonido es una ‘sensación producida en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los cuerpos, transmitido por un medio elástico, como el aire’ [2]. El sonido llega a nuestro oído debido a que las partículas que componen el aire vibran y transmiten su oscilación. Se propaga mediante ondas sonoras de diferente amplitud y frecuencia, de ahí que se deban recordar conceptos básicos sobre las ondas.

El **periodo** se mide en segundos y es el tiempo en el que una onda demora en recuperar su valor inicial.

La **frecuencia** es el inverso del período y se mide en Hertz, que significa el número de veces que se repite la onda en un segundo.

Las frecuencias son detectables por el oído humano en los siguientes rangos:

- tonos graves entre frecuencias que varían desde 125 a 250 Hz
- tonos medios entre frecuencias que varían desde 500 a 1000 Hz
- tonos agudos entre frecuencias que varían desde 2000 a 4000 Hz

La **amplitud de onda** está relacionada directamente con la intensidad del sonido: si la amplitud es grande, el sonido será fuerte y viceversa. En un

eje coordenado, la amplitud se mide desde el origen hasta el máximo valor que puede alcanzar la onda en el eje de las Y.

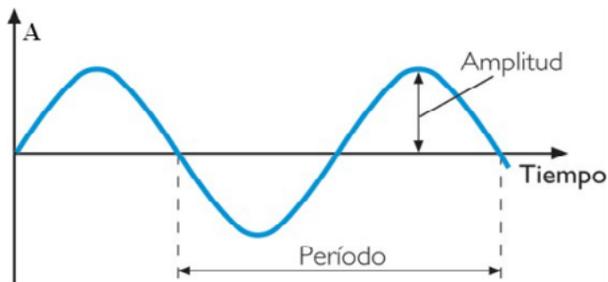


Figura 59. Conceptos básicos de una onda
Fuente [elaboración propia]

La **potencia sonora** es la cantidad de energía por unidad de tiempo que irradia una fuente sonora. La potencia depende de la fuente y es independiente de la distancia. Su unidad de medida es el Watt (W).

La **intensidad sonora** se define como la potencia sonora que atraviesa una unidad de área. Su unidad de medida es el W/m².

La **presión sonora** posee como unidad de medida a los Pascales (Pa). Se define como la diferencia de presión entre la presión atmosférica y la presión instantánea debida al sonido.

La **velocidad del sonido** en el aire es de 340 m/s. Pero el aire no es el único medio por donde se puede propagar el sonido, ya que lo puede hacer a través de elementos que están en estado sólido, líquido y gaseoso. La velocidad de propagación está ligada directamente con la compresibilidad y densidad del medio.

En la Tabla 8 se ofrecen los valores de la velocidad del sonido en diferentes elementos.

Tabla 8. Velocidad del sonido en diferentes medios

Estado	Medio	Velocidad m/s
Gaseoso	Aire (20°C)	340
	Hidrógeno (0°C)	1286
	Oxígeno (0°C)	317
	Helio (0°C)	972

Líquido	Agua (25°C)	1493
	Agua del mar (25°C)	1533
Sólido	Aluminio	5100
	Cobre	3560
	Hierro	5130
	Plomo	1322
	Caucho	54

Fuente [elaboración propia]

6.1.1 Escala de decibelios

Esta escala, propuesta por Alexander Graham Bell, no forma parte del Sistema Internacional de unidades. Se trata de una escala de decibelios logarítmica y expresa la relación entre dos potencias sonoras. Para determinar un valor en escala de decibelios, se aplica la siguiente expresión:

$$dB = 10 \log \log (P1/P2)$$

6.2 Balance energético del sonido

Cuando una onda sonora llega a una superficie, una parte de la Energía Incidente (E_i) es absorbida (E_a), otra se refleja (E_r), otra parte se transmite (E_t). Parte de la energía que es absorbida se disipa en forma de calor (E_d).

De este concepto nacen tres coeficientes que son utilizados en el campo de la acústica.

Coficiente de reflexión $E_r / E_i = r$

Coficiente de transmisión $E_t / E_i = \tau$

Coficiente de absorción $E_a / E_i = \alpha$

Los coeficientes de absorción están tabulados para diferentes tipos de materiales y para diferentes frecuencias.

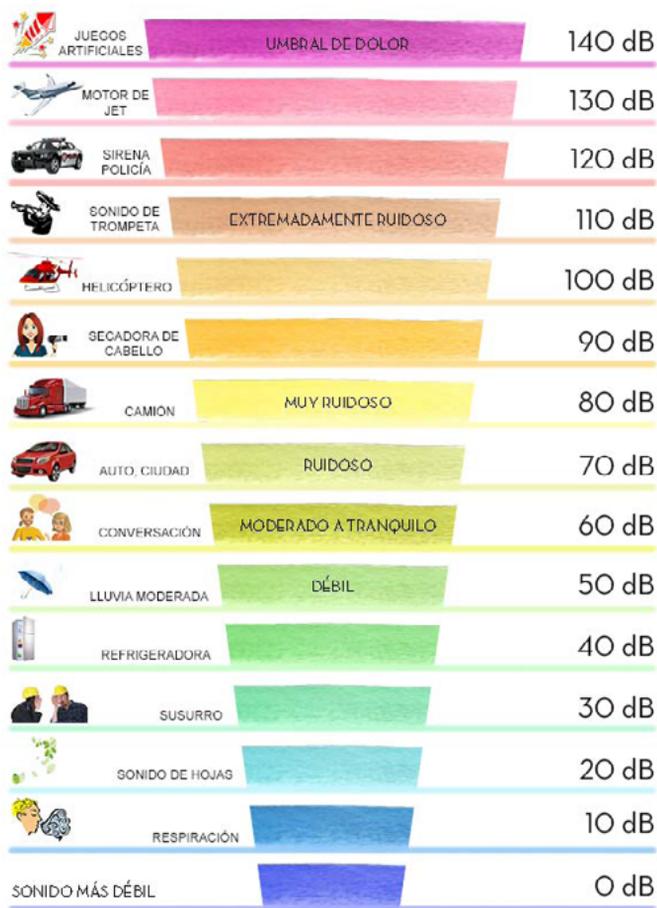


Figura 60. Escala de decibelios
Fuente [elaboración propia]

6.3 Reverberación

Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, la reverberación es un reforzamiento y persistencia de un sonido en un espacio más o menos cerrado [24]. Cuando una fuente sonora emite un sonido, surge una variedad de reflexiones, algunas a diferentes frecuencias, las

cuales se van reduciendo paulatinamente dependiendo de las superficies reflejantes y del ambiente en el que es emitido el sonido.

Ciertos sonidos pueden causar molestias, como consecuencia, la reverberación debe ser eliminada, ocurriría, por ejemplo, en locales con máquinas de oficina, máquinas giratorias, talleres, circulaciones, despachos. En algunos casos (lugares como sala de conferencias, aulas, teatros, locales para música, estudios de radio y televisión), el tiempo de reverberación es necesario y es un error eliminarlo.

6.3.1 Cálculo del tiempo de reverberación

El tiempo de reverberación se calcula con la teoría de Sabine y la teoría de Eyring. En la teoría de Sabine, el tiempo de reverberación viene dado con la siguiente expresión.

$$T_r = \frac{0.161 * V}{\sum S_i \alpha_i}$$

V = Volumen del local

S_i = Superficie del material

Para la teoría de Eyring, el tiempo de reverberación se calcula con la siguiente ecuación.

$$T_r = \frac{0.162 * V}{S_i * (- \ln \ln (1 - \sum \frac{S_i \alpha_i}{S_i}))}$$

V = Volumen del local

S_i = Superficie del material

α_i = Coeficiente de absorción del material

6.3.2 Ejercicio práctico cálculo y reducción del tiempo de reverberación

Calcular el tiempo de reverberación usando la teoría de Sabine y una frecuencia de 500 Hz, para un local con un acabado de mármol para el piso, ladrillo sin enlucir para la pared y madera de 1 cm de espesor el techo. Una vez calculado el tiempo de reverberación, efectuar una mejora para reducir el eco de las instalaciones. Las dimensiones del local son largo 30 m, ancho 10 m y altura 5 m. Los coeficientes de absorción se indican en la Tabla 9:

Tabla 9. Coeficiente de absorción para materiales

Material	α para 500 Hz
Mármol	0.01
Ladrillo sin enlucir	0.03
Madera de 1cm de espesor	0.17
Parquet	0.07
Hormigón poroso	0.31

Fuente [elaboración propia]

a. Primero hay que determinar el volumen del local.

El volumen viene dado por $V = 30 \times 10 \times 5 = 1500 \text{ m}^3$

b. Luego se determinan las áreas de pared, techo y piso.

Área de la pared $A = 2 \times 30 \times 5 + 2 \times 10 \times 5 = 400 \text{ m}^2$

Área del piso $A = 30 \times 10 = 300 \text{ m}^2$

Área del techo $A = 30 \times 10 = 300 \text{ m}^2$

c. Reemplazar los datos en la ecuación de Sabine para determinar el tiempo de reverberación.

$$T_r = \frac{0.161 \times 1500}{400 \times 0.03 + 300 \times 0.17 + 300 \times 0.01} = 3.66 \text{ Seg}$$

El tiempo de reverberación mediante la ecuación de Sabine da como resultado 3.66 segundos.

Para la reducción del tiempo de reverberación, se plantea colocar parquet en el piso, hormigón poroso en las paredes y el techo dejarlo con madera de 1cm de espesor.

Se procede a calcular el nuevo tiempo de reverberación:

$$T_r = \frac{0.161 \times 1500}{400 \times 0.31 + 300 \times 0.07 + 300 \times 0.17} = 1.23 \text{ Seg}$$

Se determina que el nuevo tiempo es de 1.23 segundos, es decir, se reduce el tiempo de reverberación en 2.43 segundos que equivale a una reducción del 66 % con respecto al tiempo original. El cálculo efectuado se puede generalizar para cualquier tipo de instalación.

6.4 Confort acústico

El confort acústico es cuando en un determinado local el nivel de ruido no afecta el normal desarrollo de las actividades y no provoca alteraciones al descanso, la comunicación y a la salud.

El ruido es cualquier sonido no deseado que interfiera con alguna actividad humana y que haya que eliminarlo, ya que puede incidir en la salud de las personas que trabajan o habitan en un determinado lugar. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en los dormitorios de una vivienda los niveles de sonido no deben superar los 40 dB(A) durante el día (7:00 a 21:00) y los 30 dB(A) en la noche (21:00 a 7:00).

Si se desea conseguir niveles de ruido que estén dentro de los parámetros aceptables, se puede impedir la propagación del sonido incidente o disipar la energía en un medio. En el primer caso, se puede implementar un aislamiento acústico. En el segundo, se puede absorber el sonido mediante la implementación de materiales diseñados con un elevado coeficiente de absorción.

CAPÍTULO SIETE

VENTILACIÓN

La implementación de sistemas de ventilación en un proyecto constructivo persigue básicamente dos objetivos: (a) preservar la calidad del ambiente del local, de tal manera que no exista un aire contaminado, es decir, se mantiene la humedad del interior, sin la presencia de olores desagradables; (b) enfriar el ambiente interior, de tal manera que en las épocas calurosas se reduzca la temperatura de la vivienda.

La implementación de sistemas de ventilación es importante, debido a que su ausencia provoca problemas como la condensación superficial, especialmente en lugares con climas fríos, donde aparecen daños por la presencia de microorganismos.

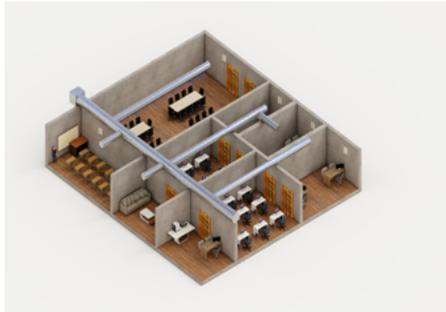


Figura 61. Ventilación en edificación
Fuente [elaboración propia]

Siempre es necesaria la circulación de aire a una determinada velocidad, pero debe estar dentro de ciertos límites de tal manera que sea cómodo para las personas que se encuentran dentro del local. En ambientes que son fríos, la velocidad máxima debe ser 0.125 m/s; mientras que en ambientes con temperaturas altas la velocidad puede variar desde 0.25 m/s hasta 0.55 m/s.

En cuanto a la implementación de ventilación, se puede optar por dos sistemas: ventilación natural y ventilación mecánica.

7.1 Ventilación natural

Esta ventilación, aplicable en algunas regiones climáticas, consiste en aprovechar los recursos de la naturaleza para brindar un confort térmico en el interior de la vivienda. La ventilación natural, a diferencia de la ventilación mecánica, trae consigo estas ventajas:

- Al no existir motores en movimiento, no hay presencia de ruido.
- No es necesario dar ninguna clase de mantenimiento, por lo que es un ahorro económico.
- No existe consumo de energía.
- Su implementación es fácil y barata.
- El cuerpo humano reacciona favorablemente a este sistema.
- No ocupa espacio físico en la vivienda, debido a la ausencia de equipos.

Algunas veces la ventilación natural no es suficiente para brindar un confort térmico, de ahí que se deba recurrir al aire acondicionado. En lugares con un elevado nivel de contaminación del ambiente, con altos índices de ruido, es complicado implementar la ventilación natural, además de que hay que estar sujetos al comportamiento del viento, que suele ser impredecible.

La ventilación natural presenta algunos factores de riesgo que se describen a continuación:

- La presencia en el ambiente de compuestos químicos puede causar problemas respiratorios a las personas que habitan en el interior de la vivienda. Algunos de estos contaminantes pueden ser el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, partículas de polvo, etc.
- Pueden respirar el humo de cigarrillo proveniente de los propios

ocupantes de la vivienda.

- Una ventilación insuficiente puede causar problemas en los habitantes de la vivienda, de ahí la importancia de medir la cantidad de CO₂ en el ambiente interior.
- En el caso de que el sistema no esté bien diseñado, pueden ingresar aves o insectos por las aberturas.

7.1.1 Tipos de ventilación natural

Se pueden distinguir tres tipos de ventilación natural:

La **ventilación cruzada** consiste en hacer que el aire ingrese por un extremo de la vivienda y salga por el extremo opuesto. Cuando el área de salida es igual al área de entrada, la velocidad de salida se reduce en un 87 % con respecto a la velocidad de entrada. Cuando el área de salida es dos veces mayor al área de entrada, la velocidad de salida se reduce en un 69 % con respecto a la velocidad de entrada. Cuando el área de salida es tres veces mayor al área de entrada, la velocidad de salida se reduce en un 66 % con respecto a la velocidad de entrada [16].

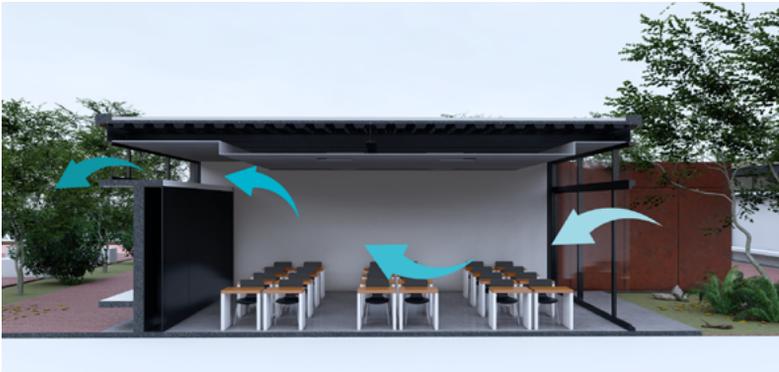


Figura 62. Ventilación cruzada
Fuente [elaboración propia]

La **ventilación es unilateral** cuando el aire entra y sale por el mismo orificio de la vivienda.



Figura 63. Ventilación unilateral
Fuente [elaboración propia]



Figura 64. Ventilación unilateral en sala
Fuente [elaboración propia]

La **ventilación por efecto de altura** consiste en hacer ingresar por una parte baja de la vivienda de tal manera que exista una circulación de aire por toda la vivienda y este salga por una abertura superior.



Figura 65. Ventilación por efecto de altura
Fuente [elaboración propia]

En edificios diseñados con una altura considerable, es recomendable aplicar el efecto chimenea que consiste en hacer que el aire frío haga presión sobre el aire caliente, de modo que proceda a subir como una ventilación inducida.



Figura 66. Ventilación por efecto de altura en biblioteca
Fuente [elaboración propia]

7.2 Ventilación mecánica

Es conocido también como ventilación artificial. Mantiene la calidad del ambiente y humedad relativa. Se puede controlar el flujo de aire de tal

manera que el interior de la vivienda no se caliente o enfríe excesivamente. Se debe implementar un sistema de ventilación mecánica basado en criterios de eficiencia energética.

7.2.1 Tipos de ventilación mecánica

Dentro de la ventilación mecánica se establecen básicamente cuatro tipos:

- Ventilación por depresión
- Ventilación por sobrepresión
- Ventilación combinada
- Ventilación dispersa

La **ventilación por depresión** implica buscar mecanismos para que el aire ingrese de forma natural a través de rejillas, las cuales se ubican en las paredes de las viviendas, luego el aire se extrae hacia el exterior por medio de un ventilador mecánico. Comúnmente, se ubica en cuartos de aseo, baños o cocina.

Algunas de las ventajas son el poco requerimiento de mantenimiento, además de que es un sistema fácil de instalar y garantiza los caudales necesarios. Entre las desventajas está la afección al diseño de la vivienda, así como el ingreso de aire frío en las estaciones de invierno. El cálculo debe ser correcto para evitar sonidos molestos.

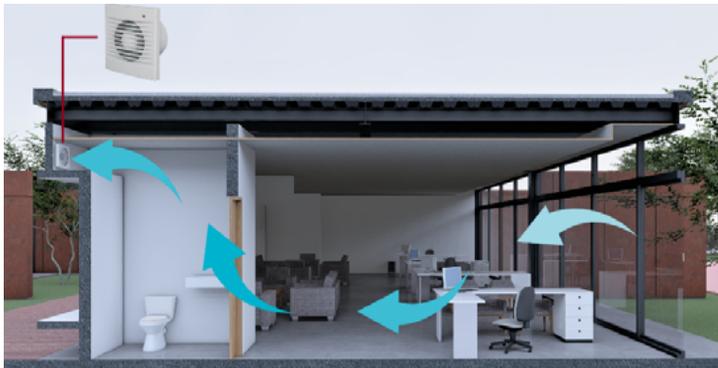


Figura 67. Ventilación por depresión
Fuente [elaboración propia]

La **ventilación por sobrepresión** consiste en hacer ingresar aire a la vivienda por medio de un sistema mecánico como un ventilador; la extracción se lleva a cabo de manera natural a través de rejillas ubicadas en las paredes.

Entre sus ventajas está el control de ingreso de aire, se evita que ingrese ruido a la vivienda y el sistema de ingreso se puede programar dependiendo de la demanda. Las desventajas de este tipo de ventilación son el ruido que producen las bocas de los conductos cuando el sistema no está bien calculado, hay que dar una limpieza periódica a los conductos de admisión y se pueden producir molestias en invierno por efecto de las diferencias de temperatura.

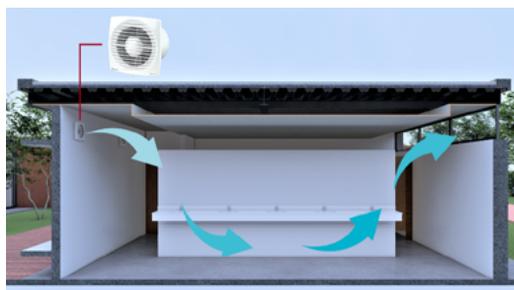


Figura 68. Ventilación por sobrepresión
Fuente [elaboración propia]

La **ventilación combinada** se caracteriza porque el ingreso y extracción de aire se realiza mediante ventiladores mecánicos, lo que garantiza los caudales de aire requeridos. Lo ideal es emplear este sistema de ventilación en lugares con dimensiones grandes.

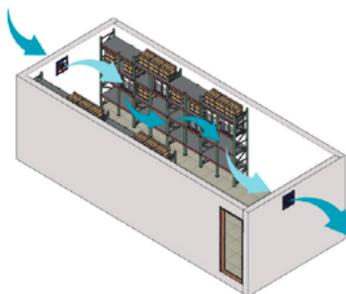


Figura 69. Ventilación combinada
Fuente [elaboración propia]

7.3 Cálculo de caudal de aire

Siempre es necesario calcular bien para evitar sonidos molestos en los ductos de ventilación.

Actualmente Ecuador no cuenta con una norma técnica en cuanto a calidad del aire; por esta razón, una opción es usar la norma española técnica de la edificación. En esta norma se establecen los caudales de aire que se deben ingresar y extraer de un local, de esta manera se evitan problemas generados por corrientes de sobrepresión o depresión excesiva. Los caudales mínimos exigidos por la normativa son los siguientes:

Tabla 10. Caudales de aire según código técnico de la edificación

Local	Caudal en l/s		
	Por ocupante	Por	Otros parámetros
Dormitorios	5		
Salas de estar y comedores	3		
Aseos y cuartos de baño			15 por local
Cocinas		2	50 por local
Trasteros y sus zonas comunes		0.7	
Garajes			120 por plaza
Almacenes de residuos		10	

Fuente [elaboración propia]

Quando los cálculos indican la necesidad de colocar extractores de aire en cocinas y baños, se requiere hacer una compensación en las habitaciones y comedor con un valor de 79 m³/h.

7.3.1 Ejemplo de cálculo de caudal

Calcular el caudal de aire necesario para una vivienda conformada por 2 habitaciones sencillas, 1 habitación doble, 1 comedor, 2 baños y 1 cocina de 12 m²

Tabla 11. Cálculo de caudal de aire para vivienda

Local	Caudal de admisión	Caudal de extracción
2 habitaciones sencillas	$5 \frac{l}{s} \times 2 \text{ hab} = 10 \frac{l}{s} = 36 \text{ m}^3/\text{h}$	
1 habitación doble	$10 \frac{l}{s} \times 1 \text{ hab} = 10 \frac{l}{s} = 36 \text{ m}^3/\text{h}$	
1 comedor	$3 \times 4 \text{ ocupantes} = 12 \frac{l}{s} = 44 \text{ m}^3/\text{h}$	
2 baños		$15 \frac{l}{s} \times 2 \text{ hab} = 30 \frac{l}{s} = 108 \text{ m}^3/\text{h}$
1 cocina (12)		$2 \frac{l}{s} \times 12 \text{ m}^2 = 24 \frac{l}{s} = 87 \text{ m}^3/\text{h}$
Caudales totales	$32 \frac{l}{s} = 116 \text{ m}^3/\text{h}$	$54 \frac{l}{s} = 195 \text{ m}^3/\text{h}$
Corrección	$22 \frac{l}{s} = 79 \text{ m}^3/\text{h}$	

Fuente [elaboración propia]

CAPÍTULO OCHO

ENERGÍA EÓLICA

8.1 Introducción

La energía eólica se obtiene a partir del movimiento del viento. Puede ser utilizada para diferentes actividades como movimiento de las velas de un bote o el movimiento de las aspas de un molino. El viento se origina por la diferencia de radiación solar, que posee el eje de la Tierra, que es inclinado, lo que produce diferencias de temperatura en las distintas zonas del planeta y provoca una variación de presión que produce el movimiento del aire [17].

Desde un punto de vista más general, existen diferencias de temperatura entre los polos y el Ecuador, ya que, según la transferencia de calor por convección, las partículas calientes tienden a ubicarse en la parte superior de la atmósfera y las partículas frías en la parte inferior [18]. A una escala más local, las brisas marinas se producen por la diferencia de temperatura entre la superficie terrestre y la temperatura del agua. También están presentes los vientos en las montañas que se producen por el gradiente de temperatura entre el día y la noche.

En la actualidad, se genera energía eléctrica a partir del viento mediante el uso de aerogeneradores. El precio de la energía eólica cada vez es más competitivo frente a las energías convencionales. Es rentable cuando el viento puede hacer generar un 25 a 30 % de la capacidad máxima de un generador eólico eficiente en un año. Y se pueden implementar aerogeneradores con una velocidad de viento mínima de 3 m/s, también conocidos como *cut in speed*, o con una velocidad que no supere los 25 m/s, llamados también *cut out speed* [19].

Entre las principales ventajas de la energía fotovoltaica, es que la energía puede ser producida en las noches y que ocupa mucho menor espacio.

8.2 Potencia del viento

Las palas de la turbina capturan la energía cinética del viento al frenarlo y convierten la energía cinética en energía mecánica. La cantidad de aire que pasa por la turbina es igual a la entrada y a la salida: el aire ocupará mayor sección transversal a la salida. La Figura 70 explica esta estructura:



Figura 70. Flujo de viento a través de turbina eólica
Fuente [elaboración propia]

La potencia del viento es proporcional al cubo de la velocidad y se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} \rho S v^3$$

ρ : Densidad del viento

S : Superficie

v : Velocidad del viento

La potencia contenida en el viento no puede convertirse en energía mecánica en su totalidad, ya que esto significa que la velocidad del aire debe ser nula, lo que es imposible. Como se explicó en el apartado anterior, la velocidad del viento depende de algunos factores como la orografía, la vegetación natural, la temperatura de la zona, la estación del año, o de obstáculos como edificaciones o vallas.

8.3 Límite de Betz

El límite de Betz es la máxima potencia que un aerogenerador puede obtener del viento convirtiendo la energía cinética en mecánica, principio que se dio a conocer en el año de 1919 en el libro *Wind Energy*. Se puede convertir como máximo una potencia en el eje $16/27$ (59,26%) de la potencia del viento, por tanto, la potencia máxima que podría entregar un aerogenerador es igual a:

$$P_{\text{max_aprovech}} = 0,5926 \cdot \frac{1}{2} \rho S v^3$$

8.4 Potencia generada y rendimiento de un aerogenerador

La potencia de un generador eólico depende básicamente del diseño y la eficiencia. Se calcula con la curva de velocidad del viento V_{viento} versus la potencia generada P_g , como se observa en la Figura 71. Cada aerogenerador posee su propia curva de potencia, depende fundamentalmente del fabricante, y se encuentra fácilmente en su hoja técnica.

La ecuación de Betz proporciona la potencia máxima que es posible extraer de un aerogenerador, sin embargo, ignora algunas características de funcionamiento de la máquina como:

- resistencia aerodinámica e interferencia de las palas
- compresibilidad del fluido
- rendimiento de los componentes del aerogenerador

Con base en lo expuesto, se deduce que la potencia generada es inferior a la obtenida con la ecuación de Betz.

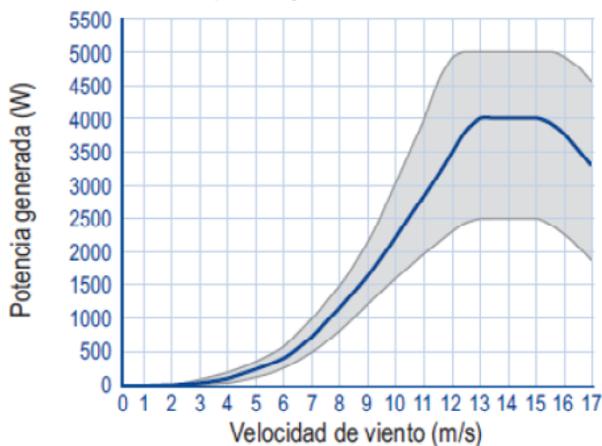


Figura 71. Flujo de viento a través de turbina eólica
Fuente [18]

8.5 Rosa de los vientos

La rosa de los vientos informa sobre la *distribución de velocidades del viento* y la *frecuencia de variación de su dirección*. Esta información se obtiene al medir la velocidad y dirección del viento en el sitio de emplazamiento. Si se desea que la información obtenida sea confiable, se recomienda medir al menos 5 años y 8 veces al día. Si no es posible medir en el emplazamiento, se puede apelar a estadísticas de lugares cercanos que dispongan de un observatorio.

Una base de datos disponible es la de la NASA, cuya información es de carácter público. Para el caso particular de Ecuador, el MEER ha trazado un mapa eólico del país, disponible en la página web del ministerio. En cuanto a la orientación del aerogenerador, es vital identificar la distribución de la frecuencia de la dirección del viento.

La representación gráfica de la velocidad y dirección del viento lleva a un diagrama de círculos concéntricos, cuyos radios son a escala de las frecuencias de las velocidades en cada dirección, tal como se muestra en la Figura 72.

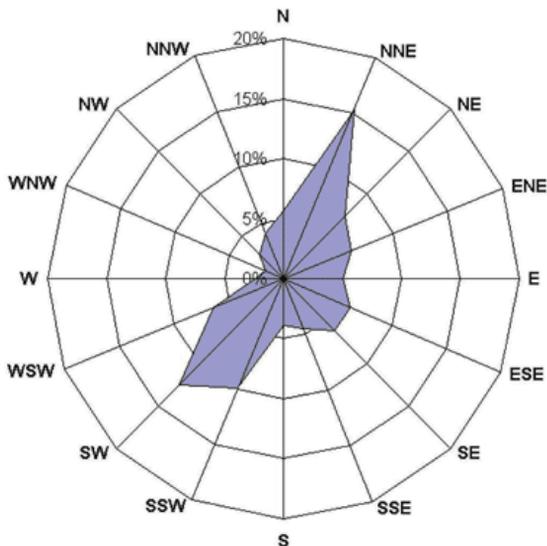


Figura 72. Rosa de los vientos
Fuente [18]

8.6 Distribución de Weibull

La variación del viento en un emplazamiento típico se describe mediante la llamada distribución de Weibull. Con el conocimiento de la distribución de la velocidad del viento, se determinará analíticamente el potencial energético y la energía anual que puede producir el generador eólico. Con esta ley para una determinada ubicación y altura, se expresa el comportamiento de las velocidades para un año medio o tipo.

La distribución de Weibull se encuentra en función de dos parámetros:

- El factor de escala c
- El factor de forma k

Esta incidencia se muestra en la siguiente expresión y en la Figura 73:

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \frac{v}{c}^{k-1} \cdot e^{-(v/c)^k}$$

k : Factor de forma (adimensional)

c : Factor de escala (m/s)

v : Velocidad del viento (m/s)

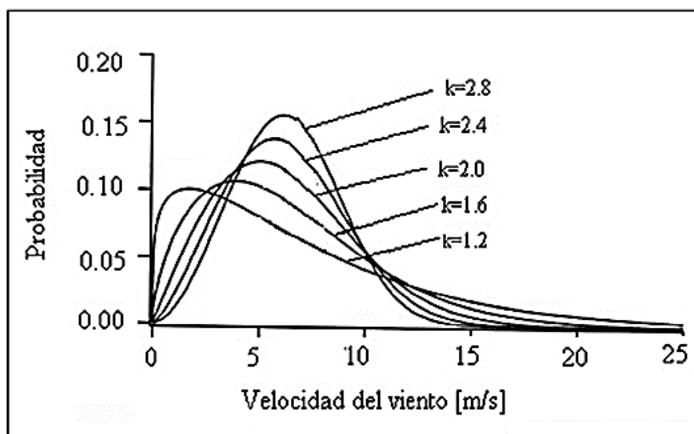


Figura 73. Distribución de Weibull para diferentes valores de k
Fuente [20]

El factor de forma k es la relación entre la energía obtenida en un año y la energía que se obtendría en ese año si la velocidad del viento se mantuviera constante e igual a la velocidad media [20].

8.7 Cálculo de los parámetros c y k mediante el método de mínimos cuadrados

Para determinar los índices c y k , se parte de la distribución acumulativa de Weibull, que viene dada por la siguiente ecuación:

$$\int_0^v f(v) dv = \int_0^v \frac{k}{c} \cdot \frac{v}{c}^{k-1} \cdot e^{-(v/c)^k} dv = 1 - e^{-(v/c)^k}$$

El método de mínimos cuadrados permite calcular los índices c y k con la transformación doble logarítmica de la distribución acumulativa de Weibull **[21]**.

$$f(v) = 1 - e^{-(v/c)^k}$$

Aplicando el primer logaritmo a los dos miembros:

$$\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - f(v)} \right) = \text{Ln} (e^{(v/c)^k})$$

$$\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - f(v)} \right) = e^{(v/c)^k}$$

Aplicando el segundo logaritmo a los dos miembros:

$$\text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - f(v)} \right) \right] = \text{Ln} (e^{(v/c)^k})$$

$$\text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - f(v)} \right) \right] = k * \text{Ln} (v/c)$$

$$\text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - f(v)} \right) \right] = k * \text{Ln} (v) - k * \text{Ln} (c)$$

Esta ecuación es similar a una ecuación de primer grado de la forma:

$$y = k * x + b$$

Donde:

$$y = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - f(v)} \right) \right]$$

$$x = \text{Ln}(v)$$

$$b = -k * \text{Ln}(c)$$

El factor forma k es la pendiente de la recta de regresión y b es el intercepto **[21]**; ambos se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$k = \frac{\Sigma: (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\Sigma (x-\bar{x})^2}$$

$$b = \bar{y} - k * \bar{x}$$

En donde \bar{x} e \bar{y} son la media de x e y respectivamente.

El factor de escala c está en función del intercepto b de la recta de regresión.

$$b = -k * \ln(c)$$

$$c = e^{(b/k)}$$

8.8 Corrección de la distribución de Weibull por la altura

Por lo general, los valores del factor de forma k y el factor de escala c vienen asignados a una determinada altura, por lo que para obtenerlos a una altura diferente se aplican estas expresiones:

$$k' = k * \frac{1 - 0,088 * \ln \ln(h/10)}{1 - 0,088 * \ln \ln(h'/10)}$$

$$c' = c * (h'/h)^\beta$$

$$\beta = \frac{0,37 - 0,088 * \ln \ln(c)}{1 - 0,088 * \ln \ln(h/10)}$$

k : Factor de forma (adimensional)

c : Factor de escala (m/s)

v : Velocidad del viento (m/s)

k' y c' son los valores no disponibles a una altura h'

8.9 Aerogeneradores en microrredes

Entre los principales tipos de aerogeneradores, están los de eje horizontal y los de eje vertical tal como se destaca en la Figura 74.

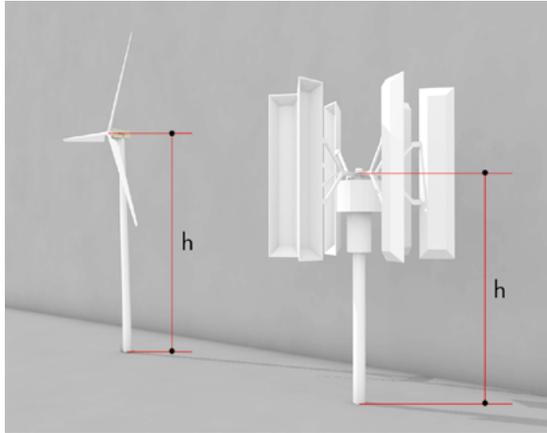


Figura 74. Tipos de aerogeneradores
Fuente [elaboración propia]

Los aerogeneradores de eje horizontal tienen el eje de rotación paralelo a la dirección del viento. De acuerdo con la velocidad de giro, estos se pueden dividir en aerogeneradores rápidos, lentos y de velocidad intermedia.

Los aerogeneradores de eje vertical tienen su eje de rotación perpendicular a la dirección del viento; pueden ser del tipo *darrieus* o *sanovius*. Por su lado, los aerogeneradores utilizados en minieólica alcanzan potencias que van desde los 50 W hasta 6000 W, sobresalen los de tipo síncrono de imanes permanentes con los imanes ubicados en el rotor. A menudo, se confecciona un número de polos elevado para alcanzar velocidades nominales más bajas. Entre las aplicaciones de aerogeneradores minieólicos, está el uso en zonas aisladas o en instalaciones con gran consumo e incluso conexión a la red.

8.10 El regulador en sistemas eólicos

La función del regulador en los sistemas eólicos es transformar la energía generada de corriente alterna a corriente continua. En instalaciones con funcionamiento en isla y con baterías conectadas al bus de continua, se controla el estado de la batería, se evitaría sobrecargas y se controla el funcionamiento del aerogenerador. Otra función del regulador es controlar la energía suministrada para que no haya sobrecargas y se proteja al acumulador y a la instalación.

Algunos conceptos que se deben observar en el manejo de reguladores son los siguientes [20]:

La **tensión nominal** del sistema, algunos modelos de reguladores se seleccionan manualmente o automáticamente.

La **intensidad nominal** es la intensidad nominal procedente de la instalación.

La **tensión corte de sobrecarga** es el máximo voltaje que el regulador permite que alcance la batería.

La **tensión de rearme de carga** es el valor de voltaje al que se reconecta el sistema para cargar la batería.

La **tensión corte de sobredescarga** es el valor mínimo de voltaje antes de desconectar el consumo.

La **tensión de rearme de descarga** es el valor de voltaje que reconecta el consumo a la batería.

8.11 Ejemplo de cálculo sistema eólico

8.11.1 Datos de partida

El punto de partida es la demanda del inmueble para el que se diseñará el sistema eólico, en este caso es de 1500 kWh/año. La estimación de las pérdidas en conversión de energía alcanza un 15 %. La densidad del aire es de 1.225 kg/m³.

8.11.2 Selección de aerogenerador

Se escogió el aerogenerador de la marca Siliken SW 3,5 GT, con una capacidad de generación de 5 kW, de corriente alterna y posee una corriente nominal de 20A; además tiene una ventaja, ya que incluye el regulador. El aerogenerador se instalará a una altura de 24 metros y las especificaciones técnicas se presentan en la Tabla 12.

Adicional a las especificaciones técnicas, se requiere incluir la curva de velocidad-potencia del aerogenerador, detallada en la Figura 75:

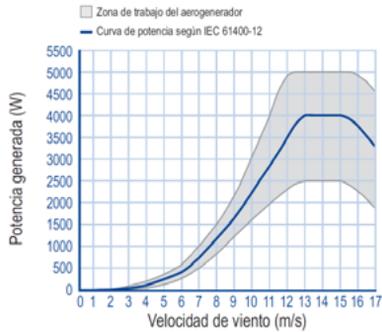


Figura 75. Curva de potencia de aerogenerador Siliken

Tabla 12. Características aerogenerador

	Característica	Especificaciones
Aerogenerador SILIKEN	Modelo	Siliken SW 3,5 GT
	Diseño	IECE 61400-2
	Potencia pico (Wp)	5000
	Potencia a 12 m/s de viento	3500
	Peso Kg	95
	Diámetro del rotor (m)	3.5
	Área de barrido	9.62
	Voltaje (Vrms)	400
	Corriente (Arms)	20
Inversor	Voltaje (Vrms)	280
	Corriente (Arms)	22

Con las dimensiones mecánicas, eléctricas y físicas del generador y con los datos de la velocidad del viento tomados de la página del IDAE, se efectúan los siguientes cálculos:

- cálculo de la potencia horaria producida mediante **(1)**
- cálculo de la potencia máxima aprovechable mediante **(2)**
- con la curva de velocidad vs. potencia, se determina la energía anual total que se aprovechará del aerogenerador.

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} \rho * S * v^3 \text{ (1)}$$

$$P_{\text{max_aprovech}} = 0.5926 * \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \text{ (2)}$$

De los resultados obtenidos, se observa que la energía producida por el generador eólico es de 1823 kWh/año, un valor capaz de abastecer la demanda de las instalaciones, esto es, 1500 kWh/año.

8.11.3 Selección del inversor

Con estos resultados se procede a seleccionar los equipos auxiliares para el sistema eólico. Las características del inversor escogido se describen en la Tabla 13:

Tabla 13. Características inversor XANTREX

	Característica	Especificaciones
Inversor XANTREX	Modelo	GT5.0-AU
	Máxima potencia de salida AC	5000 W
	Voltaje nominal AC	230 V
	Frecuencia nominal AC	50 Hz
	Máxima corriente de salida continua	24 A
	Protección de sobre corriente	30 A
	Eficiencia	95.2 %
	Topología	Aislado
	Grado de protección	IP54

Fuente [elaboración propia]

CAPÍTULO NUEVE

DISEÑO DE UNA VIVIENDA DE CONSUMO ENERGÉTICO CASI NULO

9.1 Introducción

9.1.1 Descripción del proyecto

Se plantea como objetivo principal elaborar el diseño básico de una vivienda unifamiliar de consumo de energía casi nulo (NZEB) y de su equipamiento energético. En terminología más técnica, consiste en diseñar una casa que cumpla con un nivel de eficiencia energética muy alto y un consumo de energía casi nulo o muy bajo, el cual debe en su mayoría proceder de fuentes renovables. La superficie total que se debe acondicionar es de 80 y el tipo de familia es una estándar de Ecuador, con 1 o 2 hijos. Las principales especificaciones técnicas y de diseño que se han propuesto se detallan a continuación:

- Volumetría y orientación que hace énfasis en la distribución de la vivienda como es el número de plantas, habitaciones, baños, cocina.
- Aspectos climáticos y ambientales tales como luz solar, orientación, análisis de sombreadamientos, brisas predominantes, topografía del entorno, vegetación, humedad.

- Tipo de cerramientos y cubiertas tal es el caso de los materiales y sus respectivos espesores, según el tipo de aislamiento del diseño.
- Superficies acristaladas en las que se define el área, material y orientación.
- Un aspecto muy importante para determinar la demanda de la vivienda es la correcta elección del tipo de iluminación, ocupación, horarios, así como la implementación de electrodomésticos energéticamente eficientes, sistemas de calefacción y refrigeración.
- Público al que puede ir dirigida cada propuesta.
- Estética e innovación.
- Facilidad de salida al mercado.
- Una vez determinados todos los aspectos citados en los ítems anteriores, se determina el equipamiento energético requerido.

Para conseguir un diseño óptimo del proyecto, existen estas herramientas de software:

- elaborar y analizar aspectos constructivos
- analizar datos del clima
- determinar el nivel de eficiencia energética en construcciones
- elaborar el presupuesto

El programa CALENER-VYP es la implementación informática de un programa de calificación energética de viviendas y edificios terciarios pequeños y medianos con el que se puede manipular los aspectos geométricos, constructivos y operacionales de los edificios y sus instalaciones de climatización, agua caliente sanitaria (ACS) y llevar a cabo los cálculos necesarios para su calificación energética, de acuerdo con las prescripciones de la normativa vigente [22].

La segunda herramienta informática, de gran apoyo, es el HEED 4.0. Ayuda a efectuar simulaciones para determinar ahorros energéticos-económicos y así proyectar una vivienda energéticamente eficiente, al hacer variaciones en los aspectos constructivos de un proyecto. En este software se pueden diseñar directamente los planos constructivos con solo arrastrar los elementos de la librería del programa. Una vez diseñada la vivienda, se seleccionan los aspectos constructivos como el tipo de techo, espesor de paredes, especificaciones técnicas de calefacción-enfriamiento, cargas eléctricas, aislamientos y aspectos técnicos del sistema solar fotovoltaico.

9.1.2 Localización

Se plantea ubicar este proyecto en el norte de Ecuador, concretamente en la ciudad de Quito, tal como se puede observar en la Figura 76.



Figura 76. Mapa de Quito
Fuente [elaboración propia]

La temperatura media anual en Quito es de 13.7°C. Para un mejor análisis del clima, se puede recurrir al programa Climate Consultant 6.0 Beta que brinda una variedad de gráficas que sirven para examinar los sistemas energéticos que se implementarían en el proyecto.

Los principales datos de ingreso constan en la Tabla 14.

Tabla 14. Información de datos climáticos programa Cimate Consultant 6.0 Beta

Ubicación	Quito-Ecuador
Latitud	0,15 sur
Longitud	78,48° oeste
Zona horaria de Greenwich	-5
Fuente de datos	Número de estación IWEC 840710 WMO

Una de las gráficas más importantes, obtenidas en el software Climate Consultant 6.0 Beta, es la que se presenta en la Figura 77 y que muestra la variación de temperatura promedio de cada mes durante un año. Se aprecia que la temperatura promedio permanece en la mayoría de meses por debajo de la banda o zona de temperatura confort.

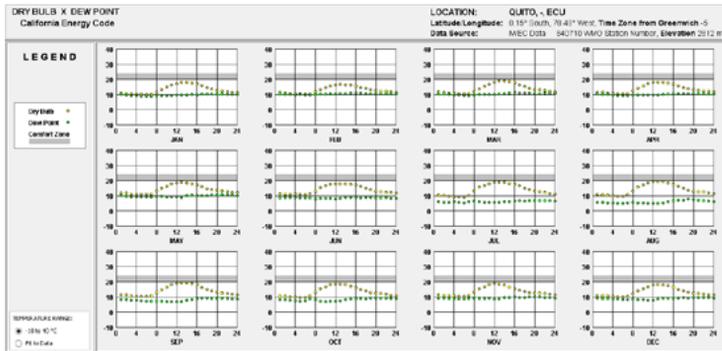


Figura 77. Temperaturas en Quito durante el año

Con base en lo expuesto, se decide descartar un sistema de refrigeración para el proyecto y centrar el análisis en el sistema de calefacción.

Otra gráfica importante obtenida del programa Climate Consultant 6.0 Beta es el comportamiento mensual de la temperatura en el suelo, considerado para diferentes profundidades. Se puede ver claramente en la Figura 78, que en los meses de junio a agosto la temperatura en el suelo permanece igual al valor de la temperatura media, y que en los meses de enero-mayo y septiembre-diciembre la temperatura está sobre el valor de la temperatura media. La figura, en tal sentido, es de sumo valor porque ayuda a obtener una visión global para la implementación de una bomba de calor para calefacción.

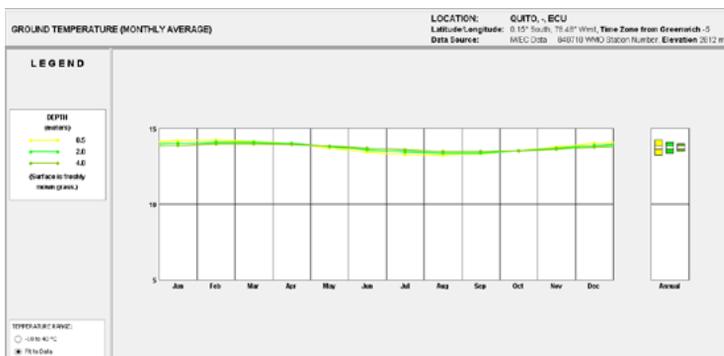


Figura 78. Comportamiento mensual de temperaturas en el suelo a diferentes profundidades

El sector de ubicación específico de la vivienda es Quito. Se analizan los pro y contra de cada una de las opciones y se asume que las condiciones meteorológicas son las mismas en toda la ciudad. Al ubicar la vivienda en una zona marginal o campo, existe mayor facilidad en poder orientar la casa y aprovechar al máximo la radiación solar y las sombras proporcionadas por los árboles. Otra opción es colocar la vivienda en una urbanización, es decir, adosarla sin la facilidad para ser orientada.

9.1.3 Alcance

El proyecto ha definido los siguientes alcances:

- Elaborar tres diferentes opciones de propuestas de diseño de vivienda, en las que se implementará el concepto de Near Zero Energy Building.
- Realizar un análisis energético de cada uno de los diseños en dos diferentes herramientas informáticas o softwares de simulación.
- Proyectar la demanda energética eléctrica y térmica.
- Seleccionar la mejor opción energética de vivienda de acuerdo con los datos proporcionados por las herramientas informáticas.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico.
- Dimensionar la caldera de biomasa.
- Seleccionar o elegir equipos y electrodomésticos altamente eficientes [25].
- Elaborar un presupuesto económico del proyecto que incluya materiales, mano de obra calificada, mano de obra no calificada, ingeniería y administración.

9.2 Descripción de las alternativas

9.2.1 Datos de partida

Como se indicó en los apartados anteriores, los datos de partida para el diseño del proyecto son la ubicación (Quito) y el que la vivienda cuenta con un área de construcción de aproximadamente 80 m². La vivienda se construirá para un hogar tipo de Ecuador, es decir, conformada por una familia con uno o dos hijos. En lo referente a los datos de partida para aspectos técnicos usados en la simulación, se emplea el Software Calener VYP y Heed 4.0. Los sistemas de energéticos se especifican en la Tabla 15. Además es importante tomar en cuenta las condiciones interiores para mantener el bienestar térmico [26].

Tabla 15. Especificaciones Técnicas a considerar en los softwares de diseño

Descripción	Rango de consumo
ACS	30 $\frac{\text{litros}}{\text{persona} \cdot \text{día}}$
Consumo energía primaria	(40 - 70) $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$
Calefacción	(15 - 40) $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$
Refrigeración	(15 - 20) $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$

También se tomó en consideración los consumos energéticos para que la vivienda diseñada cumpla con los parámetros de una Passivhouse; esto se puede visualizar claramente en la Tabla 16 [23].

Tabla 16. Especificaciones Técnicas para ser una *passive house*

Descripción	Rango de consumo
Energía primaria	120 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$
Calefacción	15 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$
Refrigeración	15 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$
Estanqueidad	0.6 $\frac{\text{Renovaciones de aire}}{\text{hora}}$

Otro aspecto clave es determinar los electrodomésticos con los que contará la vivienda NZBE, ya que deben alcanzar un mínimo consumo eléctrico y ser lo más eficientes posible. En la Tabla 17 se observa un listado de electrodomésticos que serán instalados.

Tabla 17. Especificaciones de electrodomésticos

Electrodoméstico	Potencia media horaria (W)	Número de días de uso al mes	Tiempo de uso por día (horas)	Consumo mensual (kWh)	Consumo anual (kWh)
Lavadora	1500	10	0,75	11,25	135
Secadora	3500	5	0,75	13,125	157,5
Iluminación	108	30	5	16,2	194,4
Cocina inducción	1250	30	2	75	900
Horno	1500	10	0,5	7,5	90
Microondas	800	30	0,3	7,2	86,4
Frigorífico	160	30	3	14,4	172,8
Tv.	40	30	5	6	72
Ordenadores	120	30	5	18	216
Lavavajillas	1500	15	1	22,5	270
Ventiladores	100	30	5	15	180
Cafetera eléctrica	1000	30	0,25	7,5	90
Aspirador	1000	6	0,3	1,8	21,6
Tostadora	800	30	0,1	2,4	28,8
Secadora de pelo	700	15	0,25	2,625	31,5
Otros	500	15	0,25	1,875	22,5

Para la selección de electrodomésticos se compararon productos de diferentes casas comerciales, datos disponibles en sus páginas web.

A continuación, se presentan los valores que se ingresaron a los sistemas Calener VYP y Heed 4.0. Cabe indicar que se plantearon tres escenarios diferentes que se explicarán en los apartados siguientes.

9.2.2 Simulación en Heed 4.0

Los valores ingresados en el software HEED 4.0 se visualizan en las Tablas 18 a las 29.

Tabla 18. Especificaciones Técnicas programa HEED - bomba de calor

CALEFACCIÓN Y ENFRIAMIENTO				Opción 1	Opción 2	Opción 3
Ítem	Enfriamiento	Calentamiento				
	SEER	HSPF				
Bomba de calor de código mínimo, sistema split	13	7,7	2,9 Cuando sea menor a 47 grados			
Bomba de calor Energy Star, sistema split	14,5	8,2	2,9 Cuando sea menor a 47 grados	X	X	
Mejor bomba de calor disponible, sistema split	20	9,5	2,9 Cuando sea menor a 47 grados			X

Tabla 19. Especificaciones técnicas Programa HEED: electrodomésticos

OPCIÓN 1 2, 3			
	HORNEAR	SECADORA	CARGAS DE
	ELÉCTRICO	ELÉCTRICO	ELÉCTRICO
	kWh/año	kWh/año	kWh/año
Lavadora y secadora	o	472	337
Iluminación	o	o	200
Cocina de inducción	1000	o	o
Horno y microondas	266	o	o
Frigorífico combi A+++	o	o	172,8
TV y ordenadores	o	o	380
Lavavajillas	o	o	189
Ventiladores	o	o	180
Otras cargas puntuales (secador, cafetera, tostadora...)	o	o	250
Energía total anual	1.266,0	472,0	1.708,8

Tabla 20. Especificaciones técnicas Programa HEED - volados y cortinas

CORTINA OPERABLE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
Volados (condición por defecto) son fijos todo el año, o no hay volados, tampoco persianas o venecianas.	X		X
Aleros están retraídos o removidos en invierno (octubre o mayo).			
Cortinas interiores traslucidas claras (25 %) se cierran para bloquear el sol cuando la temperatura interior llegue a 3° debajo de bienestar alto.			
Cortinas interiores opacas blancas (0 %) se cierran para bloquear el sol cuando la temperatura interior llegue a 3° debajo de bienestar alto.			
Cortinas blancas interiores traslucidas (25 %) ajustados de forma horaria para optimizar la ganancia de calor en invierno y minimizarlo en verano.			
Cortinas interiores opacas blancas (0 %) se cierran automáticamente para sombra de verano y maximizan la ganancia en invierno			
Cortinas venecianas livianas están fijas a 45 grados todo el año. Nunca se retraen.			
Cortinas venecianas a 45 grados o cerradas cuando la temperatura interior llegue a 3° debajo del límite de bienestar alto.			
Cortinas venecianas se cierran si el sol incide en la ventana y la temperatura interior llega a 3° encima del límite inferior de bienestar o 3° debajo del límite de bienestar alto.			

Tabla 21. Especificaciones técnicas Programa HEED - envolvente y ductos

INFILTRACIÓN: ENVOLVENTE DE EDIFICIO Y SELLAR DUCTOS					
	LA	ACH	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
Very poorly sealed older building (would probably seem drafty).	6	12			
Early energy code buildings, 1978 to 2005 vintage (just weather stripped).	4,9	9,8			
Ducted HVAC system but without special duct sealing.	4,3	8,6			
Default standard for prior 2008 code with sealed HVAC ducts.	3,8	7,6			
DEFAULT ESTÁNDAR DESIGN: sealed HVAC ducts inside + buildings air barrier.	2,5	5	X		
HVAC System with no ducts or else with all ducts inside insulated envelope.	2	4			
HERS verified Air sealed and quality insulation installation QII.	1,5	3		X	
Passive House Standard extremely tight air sealing requirement.	0,3	0,6			X

Tabla 22. Especificaciones técnicas Programa HEED - aislamientos

AISLAMIENTOS	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
Exterior finish on 2x4 wood studs at 16" on center with no cavity insulation, gypsum board interior			
Exterior finish on 2x6 wood studs at 24" on center with no cavity insulation, gypsum board interior			
Exterior finish on 2x4 wood studs at 16" on center with R13 cavity insulation, gypsum board interior			
Exterior finish on 2x6 wood studs at 24" on center with R21 cavity insulation, using 5/8" gypsum board interior			
Exterior finish on 1" rigid foam board R4 continuous, 2x4 wood studs at 16" with R15 cavity insulation, gypsum board			
Exterior finish on 1" rigid foam board R5 continuous, 2x6 wood studs at 24" with R21 cavity insulation, gypsum board	X	X	X

Tabla 23. Especificaciones técnicas Programa HEED - potencia de paneles solares

DIF: PV (PHOTOVOLTAIC SOLAR SYSTEMS)	Op.1	Op.2	Op.3
No solar PV (Photo Voltaic) system.			
Solar ready roof area (provide unshaded, south facing roof area “ For future solar electric” per California´s energy code).			
1 kW AC System 5 Example panels (minimum power rating to meet code, also qualified for California´s NSHP incentive).			
2 kW AC System 10 Example panels (series about 160sq.ft of panels).			
3 kW AC System 15 Example panels (series about 240sq.ft of panels).			
4 kW AC System 20 Example panels (the average system size in California is 3,8 kW).		X	X
5 kW AC System 25 Example panels (could make a very energy efficient small home net zero in electrical energy).	X		
6 kW AC System 30 Example panels (requires about 500 sq.ft. Of panels)			
7 kW AC System 35 Example panels (could make an energy efficient average size home net zero in electrical energy).			
8 kW AC System 40 Example panels (7,5 kW is maximum eligible for California´s NSHP Incentive).			
These are IDEALIZED PV components, example panels 1,0x1,67 meters, and 240 watts, Actual performance will be reduced by orientation.			
Latitude, efficiencies, and the match between inverter and panels. These panels are assumed to face south, slope at local latitude angle.			
Are not shaded. Actual PV panels and inverters, and actual orientations can be input on the Advanced PV Power Design screen or using CECPV.			
DIF; SWH (SOLAR DOMESTIC HOT WATER)	Op.1	Op.2	Op.3
No solar water heating (SWH) System.			
Solar water heating system, sized to server 1,000 sq.ft. Home (replaces need for solar ready roof area).	X	X	X
These are IDEALIZED SHW components.			
Will be reduced by orientation, collector efficiency, and collector loss coefficient. Panels are assumed to face south sloped.			
Latitude angle, and not shaded. Actual SHW panels can be input on the advanced solar hot water design screen.			

Tabla 24. Especificaciones técnicas Programa HEED - Características de construcción de piso

PISO DE CONSTRUCCIÓN	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
Wood floors, exposed, above grade	X		
Wood floors carpeted, above grade (if partly covered set % on thermal mass screen)			
Ceramic tile on wood sub-floor, above grade			
Light weight concrete carpeted, on plywood sub-floor, above grade			
Slab on grade, unheated, carpeted (if partly covered set % on thermal mass screen)		X	
Slab on grade, unheated, carpeted, exposed or tiled			X
Concrete structural floor, exposed or tiled, above grade			
Concrete structural floor, carpeted, above grade (if partly covered set % on thermal mass screen)			
Basement, exposed block walls, uninsulated, lowest floor is occupied and heated			
Basement, block walls finished interior (2x4 at 16" oc, fiberglass R13 insulation in Cavity, Drywall), occupied and heated			
Basement, exposed blocks walls, exterior insulation (1" foam R5 continuous), lowest floor is occupied and heated			
CONDICIONES DEL PISO DEBAJO DEL PRIMER PISO	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
Sin pérdidas de calor a través del piso porque hay otra unidad calentada debajo			
Espacio ventilado entre el suelo y la losa de piso			
Garajes, estacionamientos o áreas abiertas al exterior sin calefacción			
Tierra (debajo de losa de piso o sótano ocupado)	X	X	X

Tabla 25. Especificaciones técnicas Programa HEED - Características de construcción de cubierta

CONSTRUCCIÓN DE LA CUBIERTA	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
No heat loss through ceiling because upstairs there is another heated unit.			
Cool roof, flat or low slope (less than 9,5 degrees slope).			
Cool roof, sloped with naturally ventilated attic, light weight construction.			
Cool roof, sloped with fan ventilated attic, light weight construction.			
Flat or low sloped default roof (less than 9,5 degrees slope).			
Sloped default roof with naturally ventilated attic, light weight construction.	X	X	X

Tabla 26. Especificaciones técnicas Programa HEED - Nivel de aislamiento

LEVEL OF INSULATION FOR CLIMATE ZONE 3		OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
No insulation house-built pre-sixties	Wall R0, Ceiling R0, Floor R0, Slab Fo			
Insulation in attic only	Wall R0, Ceiling R19, Floor R0, Slab Fo			
Insulated attic and raised floor only	Wall R0, Ceiling R19, Floor R13, Slab Fo			
Minimal insulation, before first energy code in 1978	Wall R7, Ceiling R11, Floor R0, Slab R0			
Previous energy code before current code	Wall R7, Ceiling R11, Floor R0, Slab Fo			
Current code: wood frame wall: cavity + continuous insulation	Wall R13+R15 or R15+R4, ceiling R38, Floor R19, Slab Fo			
Current code: mass wall with interior insulation	Wall R13, Ceiling R38, Floor R19, Slab Fo			
Current code: mass wall with exterior insulation	Wall R5, Ceiling R38, Floor R19, Slab Fo			
Insulation upgrade to 1,5 times current code R-Values		X	X	
Super insulation to 2 times current code R-Values				X

Tabla 27. Especificaciones técnicas Programa HEED - barrera radiante

REFLECTIVE FOIL RADIANT BARRIERS (IN ATTICS ONLY)	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
Radiant barrier installed in attic shiny surface facing into vented attic above insulation in ceiling).			X
No radiant barrier in attic or flat roof (or upstairs is an occupied unit: see roof screen).	X	X	

Tabla 28. Especificaciones técnicas Programa HEED - Tipo de marco

TIPO DE MARCO	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
Aluminio sin barrera, ventana operable			
Ventana operable de madera o vinilo	X	X	X

Tabla 29. Especificaciones técnicas Programa HEED - dimensión de componentes

UBICACIÓN	VENTANA				ALERO		ALETA IZQUIERDA		ALETA DERECHA	
	TIPO	CANT	ANCHO	ALTO	PROF	DIST VENT	PROF	DSIT VENT	PROF	DIST VENT
A	Right side window	1	4	4,67	3,48	1	o	o	o	o
B	Right side window	1	1,5	4,67	o	o	o	o	o	o
C	Front window	2	6	4,67	3,48	1	o	o	o	o
D	Front door	1	3	6,67	o	o	o	o	o	o
E	Front window	1	5	4,67	3,48	1	o	o	o	o
F	Front window	2	4	4,67	3,48	1	o	o	o	o
G	Left side window	1	3	4,67	3,48	1	o	o	o	o
H	Rear window	8	3	4	o		o	o	o	o
I	Rear door	1	3	6,67	o	o	o	o	o	o
J	Rear window	2	1,5	4,67	o	o	o	o	o	o
K	Rear window	1	5	3,2	o	o	o	o	o	o

9.2.3 Simulación en Software Calener VYP

Usando la herramienta informática Calener VYP, se ingresaron los datos al sistema con respecto a las características de cerramientos (muro exterior, muro interior, suelo, forjado y ventanas). La información ingresada correspondiente al muro exterior de la opción 1 y opción 2 es la misma, mientras que para la opción 3, se ingresaron diferentes parámetros. Lo descrito se visualiza en las Tablas 30 y 31.

Tabla 30. Especificaciones técnicas muro exterior opción 1 y opción 2

MATERIAL	ESPEJOR	CONDUCTIVIDAD	DENSIDAD
½ Pie LP métrico o catalán 80mm<G<100	0.123	0.533	900
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.020	0.800	1525
PUR plancha por HFC o Pentano y rev.	0.080	0.027	45
BH perforado con áridos ligeros 110 mm	0.110	0.186	1095
Placas de yeso armado con fibras minerales	0.020	0.250	900

$$U = 0.24 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

Tabla 31. Especificaciones técnicas muro exterior opción 3

MATERIAL	ESPEJOR	CONDUCTIVIDAD	DENSIDAD
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.020	0.800	1525
1 pie LP métrico o catalán 80mm<G<100	0.240	0.553	1000
PUR plancha por HFC o Pentano y rev.	0.180	0.027	45
Placas de yeso armado con fibras minerales	0.020	0.250	900

$$U = 0.13 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

Continuando con los parámetros ingresados al sistema, se presentan los datos del muro interior de las opciones y se aclara que la información de las opciones 1 y opción 2 son las mismas, la única información de ingreso que difiere es la opción 3.

Con base en lo expuesto, se han elaborado las Tablas informativas 32 y 33.

Tabla 32. Especificaciones técnicas muro interior opción 1 y opción 2

MATERIAL	ESPESOR	CONDUCTIVIDAD	DENSIDAD
½ pie LP métrico o catalán 80mm<G<100	0.115	1.020	2170
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.010	0.550	1125
EPS poliestireno expandido (0.037 W/mK)	0.020	0.037	30
Tabicón de LH doble (60mm <E< 90mm)	0.060	0.469	930
Enlucido de yeso 1000<d<1300	0.010	0.570	1150

$$U = 1.01 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Tabla 33. Especificaciones técnicas muro interior opción 3

MATERIAL	ESPESOR	CONDUCTIVIDAD	DENSIDAD
Placas de yeso armado con fibras minerales	0.020	0.250	900
½ pie LP métrico o catalán 80mm<G<100	0.123	0.533	900

$$U = 1.78 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Las Tablas 34, 35, 36 y 37 comparten los valores ingresados en lo referente a los materiales implementados en el suelo de la vivienda.

Especificaciones técnicas muro interior opción 3.

$$U = 0.020 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Tabla 34. Especificaciones técnicas del suelo opción 1 y opción 2

MATERIAL	ESPESOR	CONDUCTIVIDAD	DENSIDAD
Azul cerámico	0.030	1.300	2300
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.020	0.800	1525
PUR Plancha con HFC o Pentano y rev.	0.080	0.027	45
FU Entrevigado cerámico canto 300mm	0.300	0.937	1110
Tierra vegetal (d<2050)	0.350	0.520	2050

$$U = 0.12 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Tabla 35. Especificaciones técnicas del suelo opción 3

MATERIAL	ESPESOR	CONDUCTIVIDAD	DENSIDAD
Balsa d<200	0.020	0.057	200
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.050	0.800	1525
PUR Plancha con HFC o Pentano y rev.	0.200	0.027	45
FU Entrevigado cerámico canto 300mm	0.300	0.937	1110

En las Tablas 36, 37 y 38, se observan las características constructivas del techo de las viviendas, la opción 1 y la opción 2 tienen los mismos elementos, mientras que los elementos de la opción 3 difieren de los anteriores.

Tabla 36. Especificaciones técnicas del techo opción 1 y opción 2

MATERIAL	ESPESOR	CONDUCTIVIDAD	DENSIDAD
Teja de arcilla cocida	0.020	1.000	2000
Mortero de cemento o cal para albañilería	0.020	0.800	1525
Betún puro	0.020	0.170	1050
PUR plancha por HFC o Pentano y rev.	0.080	0.027	45
FU Entrevigado cerámico canto 300 mm.	0.300	0.937	1110
Placas de yeso armado con fibras minerales	0.020	0.250	900

$$U = 0.26 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Tabla 37. Especificaciones técnicas del techo opción 3

MATERIAL	ESPESOR	CONDUCTIVIDAD	DENSIDAD
Teja de arcilla cocida	0.020	1.000	2000
PUR plancha por HFC o Pentano y rev.	0.180	0.027	45
Betún puro	0.020	0.170	1050
FU Entrevigado cerámico canto 300 mm.	0.300	0.937	1110
Enlucido de yeso aislante 500 <d< 600 mm.	0.020	0.180	550

$$U = 0.13 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Las propiedades constructivas de las ventanas se colocaron igual para las tres opciones.

Tabla 38. Especificaciones técnicas del techo opción 1, opción 2 y opción 3

MATERIAL	ESPECIFICACIÓN
Grupo de vidrio	Vidrio doble de argón
Grupo de marco	PVC en posición vertical

9.3 Opción 1

La opción 1 propuesta es la que presenta los parámetros establecidos en la Tabla 39:

Tabla 39. Datos de partida vivienda (opción 1)

Parámetro	Observación
Número de habitaciones	3
Superficie de construcción	93 m ²
Ciudad	Quito
Ubicación	Urbanización en Quito
Tipo de casa	Urbana
Tipo de cubierta	Una sola agua
Número de plantas	1 planta más un mesonet
Orientación	Sur
Vecinos	Sí
Tiene jardín	Sí, jardín grande

Con la información que se incluyó anteriormente, se dimensionó la vivienda con el software de cálculo HEED: Home Energy Efficient Design. El aspecto de la casa se aprecia en la Figura 79.



Figura 79. Vista 3D de la vivienda propuesta en la opción 1

Los resultados que se obtienen de la simulación de la vivienda constan en la Tabla 40:

Tabla 40. Resultados obtenidos de la simulación de la vivienda (opción 1)

CANTIDAD	MAGNITUD
676,00	Total de área de piso en SQ.FT.
6.308,29	Pérdida de calor en BTUh (con 0.62 cambios de aire por infiltración)
43,85	Temperatura de balance promedio °F (durante el mes más frío)
9,33	Pérdida de calor normalizado (BTUh/pie² de piso)
18,41	Salida de calentamiento del sistema HVAC normalizada (KBTU/pie² año)
5,34	Enfriamiento hacia el exterior del sistema HVAC (113T11)/pie² año)
23,75	Total hacia el exterior del sistema HVAC normalizado OB11) /pie² año)
0,00	El combustible de la calefacción consumido anualmente (en pies de gas)
0,00	Combustible consumido por los electrodomésticos anualmente
38,14	Cantidad de agua caliente solar generada anualmente (therms/año)
119,22	Combustible por calentamiento de agua consumida anualmente (en pies de gas)
404,84	Electricidad consumida por ventiladores anualmente (kWh)
380,90	Electricidad consumida por iluminación anualmente (kWh)
2.239,91	Electricidad consumida por la calefacción eléctrica anualmente (kWh)
6.583,74	Electricidad total consumida anualmente (kWh)
5.718,01	Electricidad total por PV generada en el sitio anualmente (kWh/año)
865,73	Electricidad total comprada anualmente de la red (kWh)
119,22	Total de combustible consumido año (en pies de gas o galones de propano o aceite)
289,36	Costo de energía total (dólares por año) incluyendo PV
22,01	Energía neta del sitio total (kBTU/sq ft año) ZNSE Zero Net Site Energy
2.918,56	Dióxido de carbono neto producido en el sitio (libras)
25,10	Total de energía neta del sitio producida (kBTU/sq ft año)
5.965.94	Dióxido de carbono neto producido en la fuente (libras)

La simulación en el Calener se muestra en la Figura 80.

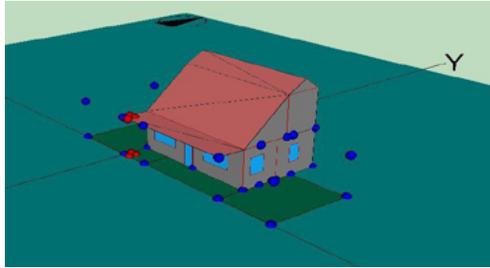


Figura 80. Simulación en Calener vivienda opción 1

El programa Calener VYP proporciona como resultado final la siguiente calificación energética.

Certificación Energética de Edificios Indicador kgCO2/m²	Edificio Objeto			Edificio Referencia		
<9.0 A	18.8 C			43.9 E		
9.0-14.8 B						
14.8-23.0 C						
23.0-35.3 D						
35.3-62.0 E						
62.0-78.1 F						
>78.1 G						
	Clase	kWh/m²	kWh/año	Clase	kWh/m²	kWh/año
Demanda calefacción	C	47.7	3161.6	E	121.9	8001.6
Demanda refrigeración	-	-	-	-	-	-
	Clase	kgCO2/m²	kgCO2/año	Clase	kgCO2/m²	kgCO2/año
Emissiones CO2 calefacción	C	18.3	1213.7	E	39.0	2586.5
Emissiones CO2 refrigeración	-	-	-	-	-	-
Emissiones CO2 ACS	A	0.0	0.0	D	4.8	318.1
Emissiones CO2 totales	C	18.3	1246.8	F	43.9	2911.3
	Clase	kWh/m²	kWh/año	Clase	kWh/m²	kWh/año
Consumo energía primaria calefacción	-	-	-	-	-	-
Consumo energía primaria refrigeración	C	68.8	4559.9	E	176.7	11718.4
Consumo energía primaria ACS	-	-	-	-	-	-
Consumo energía primaria totales	D	20.1	1330.0	D	19.8	1314.2
	C	90.6	6010.8	E	197.0	13062.6

Figura

9.4 Opción 2

La opción 2 que se propone es la siguiente:

Tabla 41. Datos de partida vivienda (opción 2)

Parámetro	Observación
Número de habitaciones	3
Superficie de construcción	92,9 m²
Ciudad	Quito

Ubicación	Urbanización en Quito
Tipo de casa	Adosada Urbana
Tipo de cubierta	Dos aguas, pero con mayor superficie hacia el sur
Número de plantas	2
Orientación	Sur
Vecinos	Sí, a los dos lados
Tiene jardín	Sí, pequeño con una caseta

Con la información que se incluyó anteriormente, se dimensionó la vivienda con el software de cálculo HEED: Home Energy Efficient Design. El aspecto de la casa es el siguiente:



Figura 82. Vista 3D de la vivienda propuesta en la opción 2

Los resultados que se obtienen de la simulación de la vivienda son los que se muestran en la Tabla 42:

Tabla 42. Resultados obtenidos de la simulación de la vivienda (opción 2)

CANTIDAD	MAGNITUD
1000	Total de área de piso en SQ.FT.
7672,12	Pérdida de calor en BTUh (con 0.39 cambios de aire por infiltración)
49,22	Temperatura de balance promedio °F (durante el mes más frío)
7,67	Pérdida de calor normalizado (BTUh/pie² de piso)
9,25	Salida de calentamiento del sistema HVAC normalizada (KBTU/pie² año)
0	Enfriamiento hacia el exterior del sistema HVAC (113T1)/pie² año)
8,82	Total hacia el exterior del sistema HVAC normalizado OB11)/pie² año)

90,95	El combustible de la calefacción consumido anualmente (en pies de gas)
0	Combustible consumido por los electrodomésticos anualmente
44,4	Cantidad de agua caliente solar generada anualmente (therms año)
108,93	Combustible por calentamiento de agua consumida anualmente (en pies de gas)
180	Electricidad consumida por ventiladores anualmente (kWh)
200	Electricidad consumida por iluminación anualmente (kWh)
0	Electricidad consumida por la calefacción eléctrica anualmente (kWh)
2668,5	Electricidad total consumida anualmente (kWh)
3450,13	Electricidad total por PV generada en el sitio anualmente (kWh/año)
353,82	Electricidad total comprada anualmente de la red (kWh)
199,88	Total de combustible consumido año (en pies de gas o galones de propano o aceite)
263,99	Costo de energía total (dólares por año) incluyendo PV
21,64	Energía neta del sitio total (kBTU/sq ft año) ZNSE Zero Net Site Energy
3013	Dióxido de carbono neto producido en el sitio (libras)
19,61	Total de energía neta del sitio producida (kBTU/sq ft año)
4258.69	Dióxido de carbono neto producido en la fuente (libras)

La simulación en el Calener de la opción de vivienda 2 se muestra en la Figura 83.

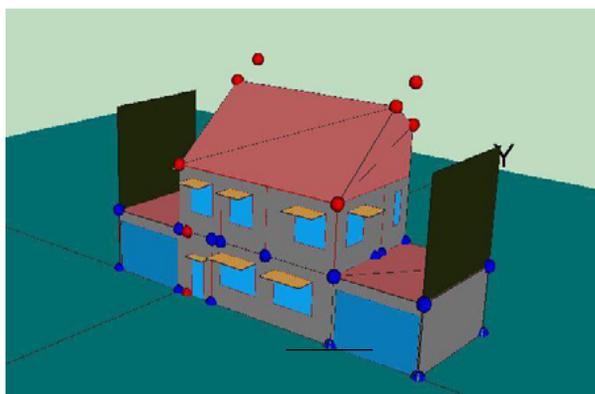


Figura 83. Simulación en Calener vivienda opción 2

El programa Calener VYP proporciona como resultado final la siguiente calificación energética:



Figura 84. Certificación energética opción 2

9.5 Opción 3

La opción 3 que se propone es la siguiente:

Tabla 43. Datos de partida vivienda (opción 3)

Parámetro	Observación
Número de habitaciones	3
Superficie de construcción	93 m²
Ciudad	Quito
Ubicación	Urbanización en Quito
Tipo de casa	Chalet
Tipo de cubierta	Dos aguas
Número de plantas	2
Orientación	Sur
Vecinos	No
Tiene jardín	Sí, grande

Con la información que se incluyó anteriormente, se dimensionó la vivienda con el software de cálculo HEED: Home Energy Efficient Design. El aspecto de la casa se ilustra en la Figura 85:



Figura 85. Vista 3D de la vivienda propuesta en la opción 3

Los resultados que se obtienen de la simulación de la vivienda son los que se muestran en la Tabla 44:

Tabla 44. Resultados obtenidos de la simulación de la vivienda (opción 3)

CANTIDAD	MAGNITUD
1.000,00	Total de área de piso en SQ.FT.
7.149,91	Pérdida de calor en BTUh (con 0.39 cambios de aire por infiltración)
49,11	Temperatura de balance promedio °F (durante el mes más frío)
7,15	Pérdida de calor normalizado (BTUh/pie² de piso)
7,19	Salida de calentamiento del sistema HVAC normalizada (KBTU/pie² año)
0,53	Enfriamiento hacia el exterior del sistema HVAC (113T1)/pie² año)
7,72	Total hacia el exterior del sistema HVAC normalizado OB11)/pie² año)
0,00	El combustible de la calefacción consumido anualmente (en pies de gas)
66,39	Combustible consumido por los electrodomésticos anualmente
39,28	Cantidad de agua caliente solar generada anualmente (therms año)

124,78	Combustible por calentamiento de agua consumida anualmente (en pies de gas)
468,13	Electricidad consumida por ventiladores anualmente (kWh)
452,14	Electricidad consumida por iluminación anualmente (kWh)
1.794,05	Electricidad consumida por la calefacción eléctrica anualmente (kWh)
3.969,17	Electricidad total consumida anualmente (kWh)
4.252,40	Electricidad total por PV generada en el sitio anualmente (kWh/año)
-283,23	Electricidad total comprada anualmente de la red (kWh)
191,17	Total de combustible consumido año (en pies de gas o galones de propano o aceite)
173,95	Costo de energía total (dólares por año) incluyendo PV
18,15	Energía neta del sitio total (kBTU/sq ft año) ZNSE Zero Net Site Energy
1.738,17	Dióxido de carbono neto producido en el sitio (libras)
12,29	Total de energía neta del sitio producida (kBTU/sq ft año)
741,21	Dióxido de carbono neto producido en la fuente (libras)

La simulación el Calener de la opción 3 se aprecia en la Figura 83:



Figura 86. Simulación en Calener opción 3

El programa Calener VYP proporciona como resultado final la siguiente calificación energética.

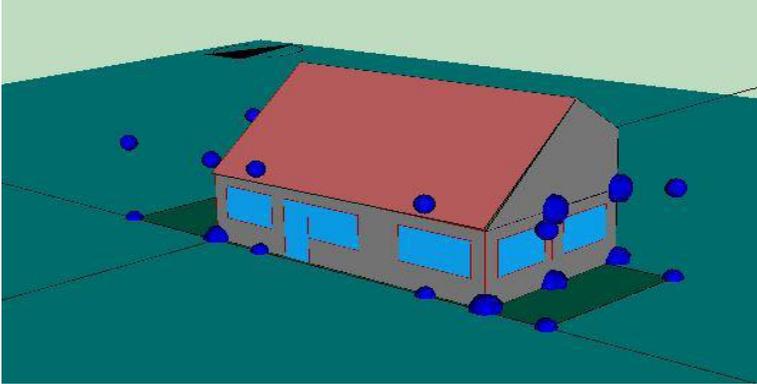


Figura 87. Certificación energética opción 3

9.6 Justificación de la alternativa seleccionada

Cada opción tiene sus ventajas e inconvenientes, pero todas ellas son propuestas reales y totalmente válidas. Para seleccionar una de ellas, se analizaron los siguientes aspectos:

- balance energético de cada una de las viviendas, calefacción y electricidad por separado
- público al que puede ir dirigida cada propuesta
- estética e innovación
- facilidad de salida al mercado, demanda de viviendas de cada tipo

Tras este análisis, se seleccionó la opción número 2: vivienda de 2 pisos adosada.

El punto fuerte de dicha alternativa es la mejor salida al mercado dado que el proyecto se lleva a cabo con el fin de diseñar y construir viviendas con un consumo energético muy bajo (Near Zero Energy Building) y a un precio asequible para familias estándar ecuatorianas (2 padres y uno o dos hijos). La opción seleccionada cuenta con un detallado plano interior, implementado en AutoCAD® que es anexo al final de la sección y que consta de 2 habitaciones medianas y una habitación grande con baño, un baño más y un aseo, un gran salón-cocina, un garaje, un jardín de amplias dimensiones y una caseta para herramientas, maquinaria, etc.

Siguiendo este objetivo, casa de precio intermedio, de amplio público, de relativamente alta demanda, energéticamente “limpia” y situada en zona urbana, se decidió continuar el diseño con la alternativa 2.

9.7 Descripción de la opción escogida

En este apartado se describe de forma detallada la alternativa 2 de diseño. Para ello se calcula el dimensionamiento eléctrico de la instalación a través de un sistema fotovoltaico conectado a la red y con acumulación de energía en baterías, un dimensionamiento térmico a través de captadores solares térmicos, una caldera de biomasa y un presupuesto estimado del coste probable de la instalación.

9.7.1 Dimensionado del sistema fotovoltaico

A continuación, se diseña la instalación solar fotovoltaica conectada a la red considerando los consumos estimados según las necesidades y su uso, la radiación solar de Quito y la orientación e inclinación de la instalación.

9.7.1.1 Datos de ubicación y orientación

La instalación está situada en la ciudad de Quito. La vivienda, tal y como se expuso en la descripción de la alternativa escogida, se orienta hacia el sur por lo que los paneles se disponen en ese sentido. Para integrar de forma estética los paneles en el tejado, se propone colocarlos con la misma inclinación, es decir, 35°.

9.7.1.2 Cálculo de las cargas eléctricas

Se calcula el consumo a partir del uso de los electrodomésticos y la iluminación mensual. Se asigna una serie de horas de uso diarias a cada dispositivo que trabaja durante un determinado número de horas al mes. Aunque hay determinados consumos que son distintos en función del momento del año analizado, se tiene en cuenta solo su promedio anual. Para determinar la potencia eléctrica, se estima una media del consumo eléctrico a lo largo de una hora y se divide entre 60 s.

En la Tabla 45 constan los elementos que se han considerado para el cálculo del consumo eléctrico de la instalación.

Tabla 45. Cargas eléctricas y consumos

Orden	Electrodoméstico	Potencia media horaria (W)	Número de días de uso al mes	Tiempo de uso por día (horas)	Consumo mensual (kWh)	Consumo anual (kWh)
1	Lavadora	1500	10	0,75	11,25	135
2	Secadora	3500	5	0,75	13,125	157,5
3	Iluminación	108	30	5	16,2	194,4
4	Cocina inducción	1250	30	2	75	900
5	Horno	1500	10	0,5	7,5	90
6	Microondas	800	30	0,3	7,2	86,4
7	Frigorífico	160	30	3	14,4	172,8
8	Tv.	40	30	5	6	72
9	Ordenadores	120	30	5	18	216
10	Lavavajillas	1500	15	1	22,5	270
11	Ventiladores	100	30	5	15	180
12	Cafetera eléctrica	1000	30	0,25	7,5	90
13	Aspirador	1000	6	0,3	1,8	21,6
14	Tostadora	800	30	0,1	2,4	28,8
15	Secadora de pelo	700	15	0,25	2,625	31,5
16	Otros	500	15	0,25	1,875	22,5
	TOTAL				222,375	2668,5

Todos los equipos seleccionados tienen una calificación energética alta. La tensión de trabajo de los equipos es de 220 V en corriente alterna, el voltaje del sistema en la parte de corriente continua es de 24 V y el rendimiento del inversor es de aproximadamente un 95 %, por lo que se obtienen los siguientes consumos en Ah/mes:

Tabla 46. Tabla de consumos en Ah/mes

Orden	N° Equipos	Tipo	Potencia	Tensión	Horas día	Días mes	Horas mes	Consumo mes
			W	V	h	d	d	Ah/mes
1	1	ca	1500	220	0,75	10	8	493
2	1	ca	3500	220	0,75	5	4	576
3	1	ca	108	220	5	30	150	711
4	1	ca	1250	220	2	30	60	3289
5	1	ca	1500	220	0,1429	10	1	94
6	1	ca	800	220	0,3	30	9	316
7	1	ca	160	220	3	30	90	632
8	1	ca	40	220	5	30	150	263
9	1	ca	120	220	5	30	150	789
10	1	ca	1500	220	1	15	15	987
11	1	ca	100	220	5	30	150	658
12	1	ca	1000	220	0,25	30	8	329
13	1	ca	1000	220	0,3	6	2	79
14	1	ca	800	220	0,1	30	3	105
15	1	ca	700	220	0,25	15	4	115
16	1	ca	500	220	0.25	15	4	82

El consumo total asciende a 9436 Ah/mes (para un mes de 30 días) o 314,5 Ah/día.

9.7.1.3 Radiación solar disponible

Para calcular el número de paneles fotovoltaicos, debemos conocer la hora solar pico (HSP) de cada mes para cada una de las inclinaciones. La HSP es el número equivalente de horas a 1000 W/m² de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que produciría bajo las condiciones reales de insolación.

Es importante el uso adecuado del piranómetro para medición de la radiación solar [27].

Para obtener la HSP de un día medio de cada mes (Tabla 47), se aplica la siguiente fórmula:

$$HSP = \frac{k * H}{3,6}$$

Donde k es el factor de corrección en función de la inclinación y la latitud y H es la energía en MJ/m² de superficie horizontal en un día medio de cada mes. Se divide entre 3,6 para pasar los MJ a kWh de forma que se obtenga la HSP.

Tabla 47. HSP de un día medio de cada mes

Inclinación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
30	1,89	2,52	3,57	3,85	4,39	4,64	5,07	4,80	4,48	3,54	2,43	1,84
35	1,93	2,56	3,57	3,81	4,31	4,50	4,97	4,75	4,48	3,62	2,52	1,89
40	1,97	2,58	3,57	3,74	4,18	4,36	4,82	4,71	4,51	3,67	2,57	1,94
45	1,99	2,60	3,54	3,67	4,05	4,18	4,67	4,58	4,48	3,69	2,62	1,97
50	2,00	2,58	3,48	3,53	3,83	3,99	4,48	4,45	4,40	3,72	2,65	1,99
55	2,00	2,56	3,39	3,42	3,66	3,71	4,23	4,27	4,33	3,69	2,65	2,01

9.7.1.4 Cálculo de los paneles necesarios

A partir de los datos de carga diaria calculada y de la HSP, se obtiene el número de ramas para cada inclinación y mes del año. En primer lugar, se toma por defecto un panel de 1 amperio de intensidad y, una vez optimizada la inclinación, se multiplica por los amperios pico del panel seleccionado para obtener el número de ramas correcto.

La fórmula es la siguiente:

$$n_{RAMAS} = \frac{C_D}{HSP * I_p}$$

Donde c_D es la capacidad diaria necesaria, HSP es la Hora Solar Pico calculada en el apartado 10.7.1.3 e I_p es la corriente inyectada por el panel.

Tabla 48. N° de ramas necesario considerando un panel de 1A

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Máximo
30	167	125	88	82	72	68	62	66	70	89	129	171	171
35	163	123	88	83	73	70	63	66	70	87	125	166	166
40	159	122	88	84	75	72	65	67	70	86	123	162	162
45	158	121	89	86	78	75	67	69	70	85	120	160	160
50	157	122	90	89	82	79	70	71	71	85	119	158	158
55	157	123	93	92	86	85	74	74	73	85	119	157	157

Dado que el tejado de la vivienda tiene una inclinación de 35°, se selecciona la inclinación correspondiente: 166 ramas en paralelo. A partir de este dato, se comprueba de nuevo el número de ramas necesario con la intensidad pico de los diferentes paneles que se desea instalar. En este caso particular, conviene el uso del panel Innotech EcoPlus 260 Policristalino cuyas características técnicas se exponen la Tabla 49.:

Tabla 49. Características técnicas panel fotovoltaico Innotech EcoPlus 260 policristalino

INNOTECH ECOPLUS 250 POLICRISTALINO			
Voltaje a circuito abierto (voc):	37.8 V	Voltaje a potencia máxima (vmp):	31.2 V
Corriente de cortocircuito (isc):	8.98 A	Corriente a potencia máxima (imp):	8.49 A
Potencia máxima:	250 W	Coefficiente de temperatura de Pmax:	-0.38 %/°C
Potencia real a temperatura media max:	254.96 Wp	N° de módulos serie:	1
Potencia pico módulos total:	3750 Wp	N° de series paralelo:	15
Optimización instalación/necesidades mes más desfavorable:	0.93	Total módulos:	15
Grado de optimización elección equipo/necesidades reales:			93 %

El número de paneles previsto para cubrir el 100 % de la demanda en todos los meses del año es de 20 paneles. Dada la superficie limitada del tejado de la vivienda y la necesidad de integrar en ella también los captadores solares, se decide colocar solo 15 paneles fotovoltaicos.

Como se observa en la Tabla 50, la consecuencia de esta reducción es que en los meses de enero y diciembre no se llega a la producción de energía eléctrica suficiente para suplir los consumos del edificio. Es por ello que en dichos meses se consumirá una pequeña parte de la energía de la red pública.

Tabla 50. Ah/mes demandados, generados con la instalación PV y balance entre estos

Mes:	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
CM Ah/mes:	9.750,63	8.807,02	9.750,63	9.436,09	9.750,63	9.436,09
Cs Ah/mes:	7.840,87	9.282,97	13.975,39	14.016,99	15.977,83	15.950,59
Cd - Cs Ah/mes:	-1.909,76	475,95	4.224,76	4.580,90	6.227,20	6.514,50
%	-19,6%	5,4%	43,3%	48,5%	63,9%	69,0%

Mes:	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
CM Ah/mes:	9750,62	9750,62	9436,09	9750,62	9436,09	9750,62
Cs Ah/mes:	18451,81	18077,86	17099,92	14584,01	9996,97	7768,49
Cd - Cs Ah/mes:	8701,185	8327,23	7663,83	4833,38	560,88	- 1982,13
%	89,2%	85,4%	81,2%	49,6%	5,9%	-20,3%

9.7.1.5 Cálculo de los reguladores

Para la elección del regulador, se observan los valores de tensión del sistema y los parámetros de los módulos fotovoltaicos:

- Tensión sistema: 24 V
- Tensión módulos circuito abierto: 37.6 V
- Tensión módulos máxima potencia: 31 V
- Corriente de cortocircuito módulo: 8.79 A
- Corriente a potencia máxima módulo: 8.22 A
- N° de módulos serie instalar: 1
- N° de módulos paralelo instalar: 15
- Total de módulos que instalar: 15
- Intensidad módulo a tensión sistema (abierto): 8.79 A
- Intensidad módulo a tensión sistema (cerrado): 8.22 A
- Intensidad total sistema (abierto): 132 A

El regulador seleccionado es el siguiente:

Tabla 51. Características del regulador STECA TAROM 235

STECA TAROM 235 PWM			
Tensión:	12-24 V	Voltaje máximo:	48 V
Potencia nominal:	0 Wp	Consumo propio:	14 mA
Capacidad de carga:	35 A	Ratio aprovechamiento:	0.86
Capacidad de descarga:	35 A	No. de reguladores:	4
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de			106 %

9.7.1.6 Cálculo de las baterías

Para el cálculo de la batería, se ha considerado la energía necesaria, la tensión del sistema, así como la profundidad de descarga y la autonomía de dicho sistema en días.

- Profundidad de descarga: 50 %
- Capacidad del vaso: 467 A·h
- Tensión unidad: 6 V
- Tensión del sistema: 24 V
- Días de autonomía: 1 día y medio

La capacidad de acumulación de A·h es la siguiente:

$$C_B = \frac{C_d \cdot n}{Pf} \cdot F_t$$

CB = Capacidad de acumulación de A.h

Cd = Carga de consumo diario en A.h/día

n = Número de días de autonomía

Pf = Profundidad de descarga de la batería

Ft = Factor de corrección de capacidad por temperatura

La capacidad necesaria para cubrir el día y medio de autonomía es de 944 A·h. El número de baterías con las características mencionadas, que se

necesitan para cubrir esta demanda, es de 8: 2 baterías en serie y 4 baterías en paralelo.

El tipo de batería que se ha seleccionado es Trojan L16P-AC.

Tabla 52. Características batería Trojan L16P-AC

TROJAN L16P-AC WITH BAYONET CAP									
Capacidades de carga en función a sus horas de descarga:									
C 10:	386 Ah	C 20:	420 Ah	C 40:	435 Ah	C 100:	467 Ah	C 120:	532 Ah
Tensión:				6 V	No. de elementos serie:				4
Capacidad nominal acumulador:				840 Ah	No. de series paralelo:				2
Tensión nominal acumulador:				24 V	Total elementos:				8
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de									108%

9.7.1.7 Cálculo del inversor

Para el dimensionamiento del inversor, se ha utilizado el diseñador web de la marca SMA. Se han introducido todos los datos que se han evaluado hasta el momento y el inversor seleccionado es el SB 5000TL-21 cuyas características se muestran continuación la Tabla 53:

Tabla 53. Características inversor SB 5000TL-21

1x SB 5000 TL-21	
Potencia pico	3.9 kWp
Cantidad total de módulos	15
Número de inversores fotovoltaicos	1
Potencia de CC (fp=1) max	5.25 kW
Potencia actica máx de CA (fp=1)	3.50 kW
Tensión de red	230V (230/400V)
Ratio de potencia nominal	94%
Factor de desfase	1

Tabla 54. Datos ingresados de sistema fotovoltaico para dimensionamiento de inversor

Entrada A: Generador FV	
15x Innotech Solar Innotech Solar EcoPlus_Poly_260_EN, Acimut 0, inclinación 35, tipo de montaje: techo	
	Entrada A
Número de strings:	1
Módulos fotovoltaicos por string:	15
Potencia pico (de entrada):	3.90 kWp
Tensión FV normal:	432 V
Tensión min:	399 V
Tensión de CC mín	125 V
Máx. tensión:	616 V
Tensión de CC max.:	750 V
Corriente máx. de generador:	8.0 A
Corriente de CC máx.:	15 A

9.7.1.8 Resumen

El resumen de los elementos resultantes del cálculo de la instalación fotovoltaica es el siguiente:

Tabla 55. Resumen de los elementos de la instalación

Unidades	Elementos
15	Módulo tipo -INNOTECH ECOPLUS 250 POLICRISTALINO
4	Regulador tipo - STECA TAROM 235 PWM
8	Batería tipo - TROJAN L16P-AC FLAT PLATE
1	Inversor tipo -DCU 37402456

Con los elementos de consumo seleccionados y los componentes de la instalación calculados, se obtiene la siguiente comparativa de consumos y producción estimados a lo largo del año:

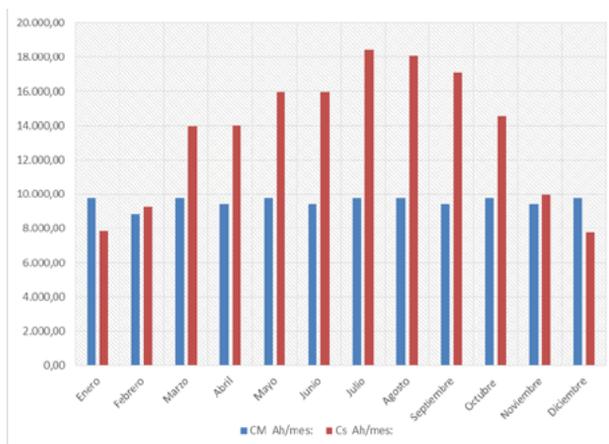


Figura 88. Gráfico comparativo del consumo y la producción de energía eléctrica en

9.7.1.9 Modelizado en homer-pro®

Para comprobar el funcionamiento de la instalación fotovoltaica, se ha desarrollado un modelo en el programa HOMER PRO®. Se han introducido como parámetros de entrada los resultados obtenidos del dimensionamiento del sistema y los resultados son los que se muestran a continuación.

Los costes aproximados del proyecto se encuentran en el apartado “Presupuesto y estudio de viabilidad”. En la Figura 89, se destaca el costo del sistema fotovoltaico.

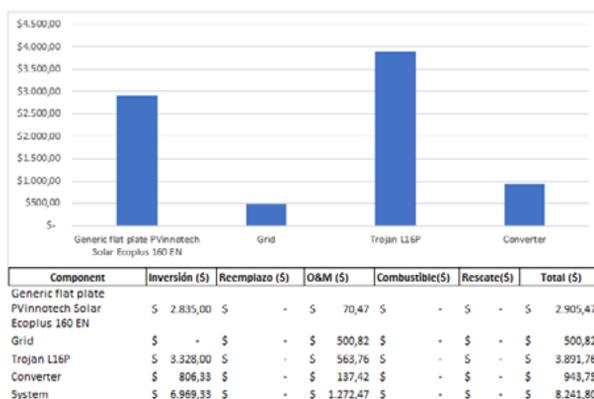


Figura 89. Distribución de los costes aproximados del sistema fotovoltaico

El modelo indica que anualmente solo el 5,69% del consumo proviene de la red eléctrica, mientras que el 94,31% proviene de los paneles fotovoltaicos.

Tabla 56. Resumen de la producción y compra de energía eléctrica

Elementos	kWh/año	Porcentaje
Paneles INNOTECH	5254	94,31
Compra de red	317	5,69
Total	5571	100

En la Figura 90, se observa el promedio mensual de producción eléctrica. Se ve que solo en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre se necesita puntualmente absorber energía de la red para abastecer a la casa conforme con el modelo de carga eléctrica introducido.

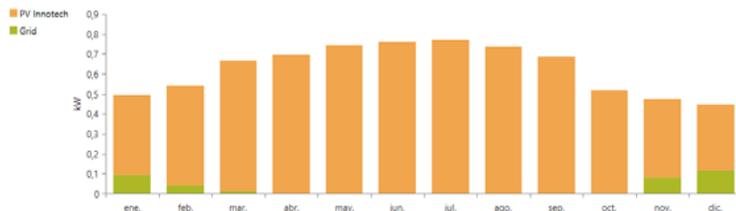


Figura 90. Promedio mensual de producción eléctrica

Para conocer cuál es la potencia a contratar con la comercializadora, HOMER PRO® ofrece un gráfico en el que muestra la potencia requerida de la red en los diferentes meses del año.

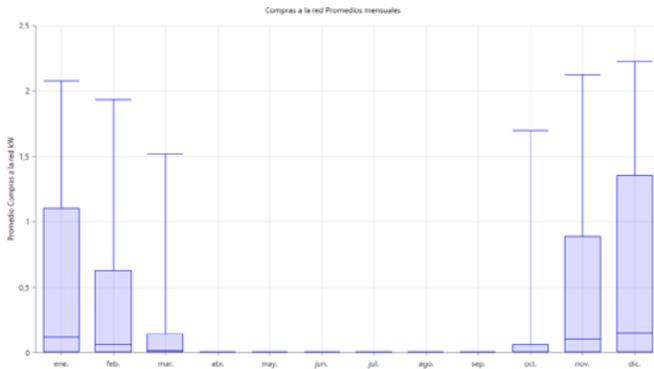


Figura 91. Promedio de compra de kW a la red

Se observa que en el peor caso (diciembre) la máxima potencia que se requiere obtener de la red es de aproximadamente 2,25 kW.

Analizando el funcionamiento de los paneles dentro del modelo, se obtiene que la producción media diaria de electricidad es 14.39 kWh/día. En el gráfico que se muestra en la Figura 92 se observa cómo varía la potencia de salida media de los paneles fotovoltaicos a lo largo de los meses del año. Se puede observar que los días en los que apenas llega radiación solar a los paneles la potencia de salida no alcanza el kW de potencia.

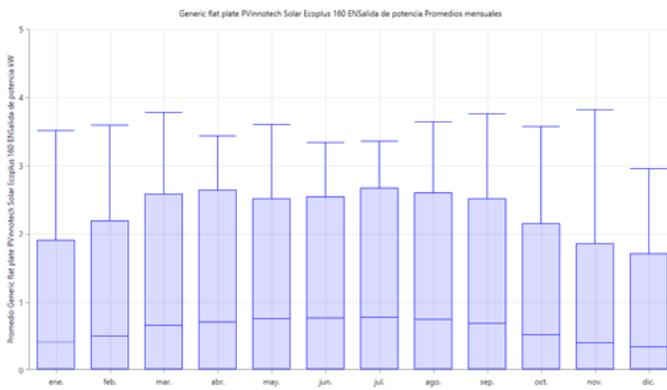


Figura 92. Potencia de salida media mensual de los paneles fotovoltaicos

Se analiza también el funcionamiento que desarrollarán las baterías a lo largo de los diferentes meses del año. La profundidad de descarga máxima que tienen las baterías se asignó en 50 %, ya que con una mayor profundidad de descarga el rendimiento de la batería a lo largo del tiempo se iría reduciendo progresivamente y, de esta manera, se alarga la vida útil de las baterías a cambio de un coste añadido de inversión (comprar más baterías para asegurar el mismo suministro).

En la Figura 93, se observa cuál es el estado de carga medio de las baterías a lo largo del año. Nuevamente se ve que el mes más crítico es el de diciembre, en el que las baterías no consiguen alcanzar el 100 % de carga en ningún momento.

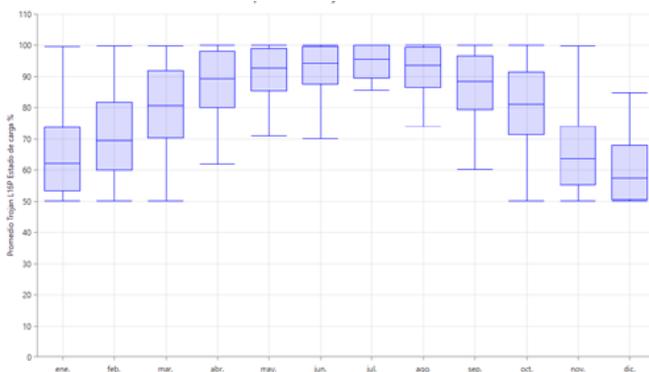


Figura 93. Estado de carga de las baterías en los diferentes meses del año

Por último, al calcular la energía que se debe comprar a la red mensualmente y multiplicándola por el precio del kWh aproximado (fijado en 0,10\$/kWh), se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 57. Resumen de la compra de energía eléctrica a la red

Mes	Energía comprada (kWh)	Cobro por energía (\$)
Enero	85	8,5
Febrero	37	3,7
Marzo	10	1
Abril	0	0
Mayo	0	0
Junio	0	0
Julio	0	0
Agosto	0	0
Septiembre	0	0
Octubre	4	0,4
Noviembre	71	7,1
Diciembre	109	10,9
Coste total de la electricidad comprada a la red:		31,6

9.8.1 Dimensionado de la calefacción y ACS

Como ya ha sido analizado en apartados anteriores, el uso de refrigeración para la vivienda objeto de estudio es nulo debido a la zona geográfica de estudio, por eso, se debe centrar en el consumo energético en calefacción. Por ello, se ha planteado un sistema para la producción de calor mediante una caldera de biomasa, la cual también servirá de apoyo a la producción de agua caliente sanitaria. Se desecha la opción de bomba de calor, descartada por la ausencia de refrigeración en la vivienda.

La opción escogida consiste en integrar un sistema de producción de ACS con el sistema de calefacción, ambos sistemas comparten una caldera de biomasa, que para el caso de ACS simplemente se trata del sistema auxiliar, ya que se cuentan con captadores solares. Se contará también con un silo de almacenamiento de pellets que servirá de suministro a la caldera de biomasa, posteriormente se hablará de la capacidad de este silo en función de la demanda de pellets de la vivienda.

El sistema que se integra es como sigue:

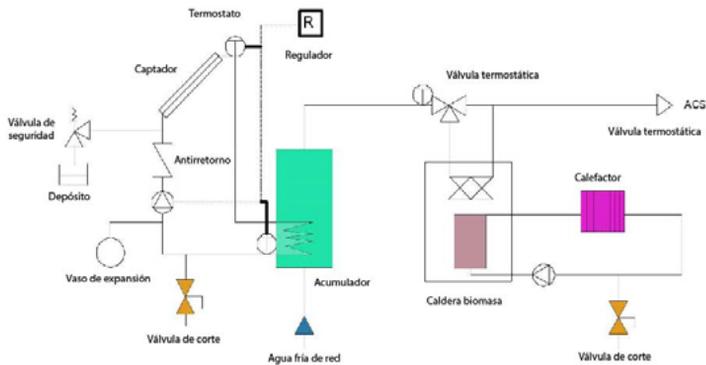


Figura 94. Esquema del sistema de calefacción y ACS

Fuente [elaboración propia]

Se separará el estudio de calefacción y ACS, aunque ambos están integrados como se muestra en la Figura 94.

La caldera elegida está en función de las necesidades de ACS y la calefacción para la instalación debe cumplir con las características descritas, es decir, que pueda integrar ACS y calefacción por separado, por ello la caldera elegida es la Biomatic-20 de Fagor, que presenta un intercambiador a partir

del cual se calienta el agua que se suministra para ACS y un hogar donde se calienta el agua que se suministra para calefacción, además cuenta con un volumen de acumulación interno por si se necesita ACS instantáneo que no pueden suministrar los captadores solares.

9.8.1.1 Dimensionado de la calefacción

La demanda de calefacción anual viene dada por los programas Calener y Heed. Ambas demandas son parecidas y servirán para cuantificar el consumo de la caldera de biomasa y, por consiguiente, el consumo de pellets para calefacción.

Leyendo los catálogos de la caldera elegida para la instalación (posteriormente se explicará por qué ha sido elegida), se aprecia que su rendimiento se cifra en un 91 % a partir del cual podrá obtenerse el consumo anual total de la caldera para calefacción.

La fórmula aplicada es la siguiente:

$$\eta = \frac{Q_{util}}{Q_{combustible}}$$

Donde:

Demanda de calefacción anual de la instalación: $Q_{util} = 4250 \text{ kWh/año}$

Calor aportado por la caldera: $Q_{combustible} = 4670,3 \text{ kWh/año}$

Rendimiento de la caldera de biomasa: $\eta = 91 \%$

De acuerdo con estos valores, se concluye que el consumo de combustible se cifrará en 4670,33 kWh/año.

Los pellets escogidos tienen un poder calorífico de 5,0 kWh/kg, de tal modo que la cantidad de pellets para ese suministro de calor anual se calculará a través de la siguiente expresión:

$$kg \text{ pellets año} = \frac{\text{Consumo caldera (kWh/año)}}{PCIPELLETS \text{ (kWh/kg)}}$$

Teniendo en cuenta los valores anteriormente expuestos, se cifra el consumo de pellets para calefacción en 934 kg. A esto habrá que sumarle el consumo de pellets para la producción de ACS.

La producción de calor para la calefacción queda clara. Lo siguen-

te sería distribuir ese calor por las zonas para acondicionar de la vivienda. Para el caso, se ha elegido esta distribución mediante el uso de radiadores de agua caliente.

En función de los m² que hay que calentar, el número de elementos del radiador será distinto: a un mayor número de elementos mayor el área que se debe calentar. Para el dimensionamiento de los radiadores se ha usado el programa *online* de la página web de radiadores Rayco, y se obtuvo un total de 64 elementos que debían distribuirse entre las zonas que debían calentarse. Al buscar en el catálogo de radiadores de esta misma página, se eligió el modelo RD-600, cuyo número de elementos por radiador varía entre 3 a 12 elementos.

En total, se definen 64 elementos para repartir entre todas las zonas a calentar. Dependiendo del tamaño de la sala que se debe calentar, el número de elementos será mayor, por ejemplo, en un baño con cuatro elementos. Una posible configuración podría ser la que se explica en la Tabla 58:

Tabla 58. Número de radiadores en las singulares habitaciones

ZONA	Metros cuadrados	Elementos	No. de radiadores
Salón cocina	31.2	30	9
Habitación niños	9	8	1
Habitación invitados	6	6	1
Dormitorio	12	12	1
Baño 1	4	4	1
Baño 2	4	4	1

El precio por elemento se cifra en 10 USD, de modo que 10 USD * 64 elementos hacen un total de 640 USD de gasto en compra de radiadores para calefacción. El precio de la caldera asciende a un valor de 5610 USD.

9.8.1.2 Dimensionado de la demanda de ACS

Para el caso de la producción de ACS, ya se ha advertido que se va a integrar el circuito expuesto con anterioridad. El dimensionamiento de la instalación de ACS se ha obtenido mediante el software CHEQ-4. En este software, se ha introducido el esquema típico de la instalación sin mezclarlo con calefacción que, como ya se ha anticipado, no contará con aporte solar. Por ello, el esquema elegido es el siguiente:

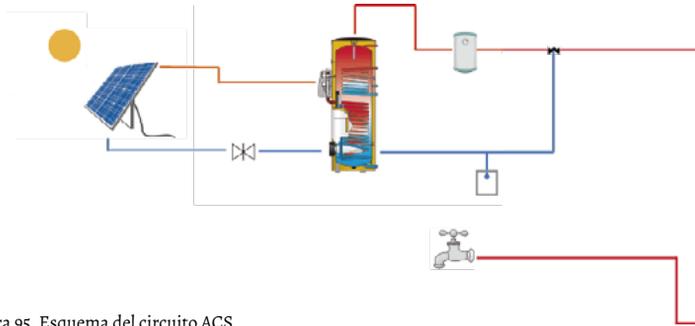


Figura 95. Esquema del circuito ACS
Fuente [elaboración propia]

Como ya se ha expuesto, no aparece la parte de calefacción, ya que, aunque comparten caldera, la calefacción no cuenta con aporte solar, por lo que la instalación de ACS que se debe dimensionar sería la expuesta en la imagen.

Para la demanda se ha tenido en cuenta que cada persona consumirá 30 l/día y se han considerado 3 personas en la vivienda, lo que da un total de 90 l/día. El captador solar elegido se corresponde con un captador solar de la empresa Wagner Solar con las siguientes características:

Tabla 59. Parámetros del captador solar

Modelo (Wagner solar Lzo AR)	Datos técnicos
Área bruta/área de apertura	2,61 m ² / 2,36 m ²
Rendimiento	84,8 %
Peso en vacío	48 kg

Solo se ha instalado un captador solar, ya que con dos superaba en más del 100 % la demanda de ACS.

Las características de la instalación serán las siguientes:

Tabla 60. Características de la instalación del captador solar

Captador solar	1 x Euro L2o AR (Wagner Solar)
Orientación	0° (Sur)
Inclinación	35°
Pérdidas por sombras	0 %
Tanque de almacenamiento	IDROGAS CV 300 M2P (300 litros)

El precio del tanque de acumulación asciende a 1149 USD. El precio del captador solar se cifra en 777.70 USD.

Tabla 61. Especificaciones del circuito primario/secundario y de la distribución

Especificaciones	Circuito primario/secundario	Distribución
Caudal	171,0 l/h	
Porcentaje de anticongelante	0 %	
Longitud del circuito	12,0 m	12,0 m
Diámetro de la tubería	12,0 mm	12,0 mm
Espesor del aislante	40,0 mm	40,0 mm
Tipo de aislante	Silicato de calcio	Espuma de poliuretano
Temperatura de distribución		55,0 °C

Por último, se muestra un análisis de datos final, tras la simulación obteniéndose la siguiente información.

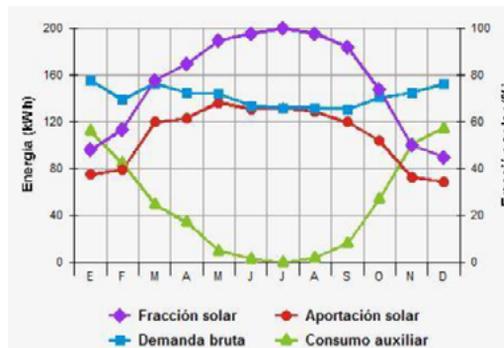


Figura 96. Aportación y demanda de energía sobre el año

Como se puede observar en la imagen, entre los meses de junio y septiembre prácticamente toda la demanda de ACS puede ser aportada por la energía solar, y en los demás meses habría que recurrir al aporte auxiliar, que se tomará de la caldera de biomasa. Los resultados finales son los siguientes:

Tabla 62. Valores totales de la demanda y la aportación de energía

Demanda	84 l/día a 60 °C
Fracción solar	76 %
Demanda neta	1.681 kWh
Demanda bruta	1.706 kWh
Aporte solar	1.293 kWh
Consumo auxiliar	608 kWh
Acumulación	300 l

Anteriormente, se ha hablado de una caldera de biomasa y, como ya se ha dicho, esta integrará tanto la calefacción como el apoyo a la aportación solar. Habrá que dimensionarla y para ello se ha seguido este método. Se considera que la caldera deberá aportar el calor suficiente en 1 hora para calentar desde la temperatura del agua de red hasta la temperatura de impulsión deseada para ACS todo el volumen de acumulación solar elegido, que para este caso son 300 litros.

Por ello la potencia térmica necesaria será:

$$P \text{ (kW)} = \frac{V}{3600} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * (T_{imp} - T_{red})$$

Donde:

Capacidad de calor específico	$c_p = 4,18 \text{ kJ/kg}$
Temperatura impulsión del agua	$T_{imp} = 60 \text{ °C}$
Temperatura media del agua de red	$T_{red} = 10,3 \text{ °C}$
Volumen de acumulación solar	$V = 300 \text{ l}$

La potencia resultante se cifra en 17,3 kW para ACS. Posteriormente habrá que comprobar si estos kW son suficientes para el suministro de calefacción. Según la información de potencia pico de calefacción suministrada por el HEED, es más que suficiente.

De los resultados obtenidos del software CHEQ-4, se cifra el consumo auxiliar, en este caso la caldera de biomasa en 608 kWh/año, calor que debe ser aportado por la biomasa y que supone otro gasto adicional por consiguiente de pellets.

El consumo de pellets para este caso se llevará a cabo del mismo modo que para el caso de calefacción usando la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{Q_{\text{combustible}}}$$

Donde:

Demanda de calefacción anual de la instalación: $Q_{\text{útil}} = 608 \text{ kWh/año}$

Calor aportado por la caldera: $Q_{\text{combustible}}$

Rendimiento de la caldera de biomasa: $\eta = 91 \%$

Posteriormente a esta ecuación, se aplicaría la siguiente, en función del PCI de los pellets se obtendrían los kg necesarios de pellets que harían falta para conseguir ese calor útil.

$$\frac{\text{kg pellets}}{\text{año}} = \frac{\text{Consumo caldera (kWh/año)}}{\text{PCIPELLETS (kWh/kg)}}$$

El consumo de la caldera será igual a:

$$Q_{\text{combustible}} = 668.13 \text{ kWh/año}$$

Teniendo en cuenta este dato y sustituyéndolo en la fórmula para un PCI de pellets igual al anterior, los kg de pellets necesarios serían 133.62 Kg/año, valor con el que se termina de cuantificar el consumo de ACS.

Analizando ambas medidas por separado y conjuntamente, se llega a la conclusión de que la caldera BIOMATIC-20 de FAGOR es capaz de suministrar 20 kW, por lo que es elegida para el fin deseado.

Sumando el aporte de pellets necesarios para calefacción y ACS, se llega a un total de 1067.7 kg pellets/año. Se contará con un silo de almacenamiento para servir de suministro a la caldera de biomasa y donde se introducirán

estos 1067.7 kg. Para dimensionar este silo, se observa la densidad del pellet, que se cifra en 683 kg/m³ y de este modo:

$$\text{Volumen almacenamiento} = \frac{\text{kg pellets/año}}{683\text{kg/m}^3}$$

Sustituyendo los valores en la expresión, se obtiene que el volumen de almacenamiento debe ser de 1563 m³.

$$\text{Volumen almacenamiento} = 1563 \text{ m}^3$$

Se elegirá un silo de almacenamiento. Se optan por el silo GEOBOX del catálogo comercial de silos de FAGOR, cuyo volumen de almacenamiento está entre 1.7 y 2.6 m³ que será más que suficiente para almacenar toda la biomasa necesaria para un año. El precio de este silo se cifra en 1395 USD. El siguiente paso a tener en cuenta es el coste que se tendrá por calefacción y ACS.

Para ello habrá que tener en cuenta el precio del pellet suministrado:

Precio pellet: 6,13 c€/kWh

Coste calefacción: $Q_{\text{combustible}} * \text{Precio pellet}$

$$= 4670,33 \text{ kWh} * 6,13 \text{ c€/kWh} = 286,3 \text{ USD}$$

Coste ACS: $Q_{\text{util}} * \text{Precio pellet}$

$$= 608 \text{ kWh} * 6,13 \text{ c€/kWh} = 40,95 \text{ USD}$$

Coste total: 327,25 USD

La cantidad de pallets anual es de 1070 kg con un precio total de 250 USD.

9.8.1.3 Dimensionado de la chimenea

Para el cálculo de la chimenea, se ha utilizado el software de cálculo que proporciona la casa DINAK. En el programa se han introducido los datos obtenidos en los apartados anteriores y los datos que aporta el fabricante de la caldera de biomasa en la ficha de datos técnicos.

Tabla 63. Dimensión de la chimenea

TRAMO HORIZONTAL (CONDUCTO UNIÓN)		
Gama	Dinak DP	
Diámetro interior	150 mm	
Diámetro exterior:	210 mm	
Designación EN 1856-1	T600 N1 D Vz G(XX)	
	Nominal	Mínimo
Velocidad media de los humos	1.4 m/s	0.5 m/s
Tª media de los humos	176 °C	116 °C
Tª media de la pared exterior	32 °C	23 °C
TRAMO VERTICAL		
	Nominal	Mínimo
Velocidad media de los humos	1.3 m/s	0.5 m/s
Tª media de los humos	144 °C	86 °C
Tª media de la pared exterior	29 °C	21 °C
SALIDA DE CHIMENEA	Nominal	
Velocidad media de los humos	1.2 m/s	
Tª media de los humos	119 °C	
Tª media de la pared exterior	27 °C	

9.9.1 Presupuesto y estudio de viabilidad

En este apartado, se presenta una estimación detallada de los costes de este proyecto agrupada en diferentes categorías:

- Costes de la construcción de la vivienda
- Costes de la instalación eléctrica
- Costes de la instalación térmica

Para el cálculo de este presupuesto, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los costes que se mostrarán estarán expresados en dólares de EE. UU., a no ser que se especifique lo contrario.
- Se redondearán a dos decimales para cantidades económicas.
- Los valores obtenidos se calcularán de forma neta, es decir, obviando los diferentes impuestos del Estado.

9.9.1.1 Presupuesto de construcción

En este apartado se van a explicar los costes que supondría la construcción de la vivienda para poder contar con un valor de referencia a la hora de ponerle un valor económico a la vivienda. Para ello, se han efectuado las siguientes consideraciones:

- No se ha tenido en cuenta el coste del terreno donde se va a construir la vivienda.
- Los costes de los materiales constructivos se han obtenido en dólares por metro cuadrado.
- Los costes de la mano de obra se han obtenido en dólares por hora y se ha estimado el tiempo aproximado que se tardaría en construir la vivienda.
- El acondicionamiento del edificio se ha obtenido en dólares por metro cuadrado de terreno.
- Se ha supuesto un incremento del coste total de un 10 % debido a otros costes o complicaciones que se puedan suscitar durante la construcción de la vivienda.
- Se ha dividido el coste de los materiales por el tipo de cerramiento que se tiene, describiendo cuáles son los materiales para cada caso.

En la Tabla 64 se exponen los costes por cada cerramiento y de los demás elementos necesarios para la construcción de la vivienda:

Tabla 64. Coste de material por cerramiento

	Material	Coste (\$/m ²)	Cantidad (m ²)	Coste (\$)
MURO EXTERIOR	1/2 pie LP métrico	15	160	2400
	Mortero de cemento	100	4	400
	PUR Plancha con HFC	30	160	4800
	BH perforado	15	160	2400
	Placa de yeso con fibras minerales	75	4	300
				10300

TEJADO	Teja cerámica	10	70	700
	Mortero de cemento	100	1,75	175
	PUR plancha con HFC	30	70	2100
	Forjado cerámico	100	70	7000
	Placa de yeso con fibras minerales	75	1,75	131,25
				10.106,25
Pared interior		20	100	2.000,00
SUELO	Azulejo	10	70	700
	Mortero de cemento	100	1,75	175
	PUR plancha con HFC	30	70	2100
	Forjado cerámico	100	70	7000
				9.975,00
HUECOS	Puertas	100	10	1000
	Ventanas	250	10	2500
	Puerta exterior	300	1	300
	Puerta garaje	500	1	500
				4300
			TOTAL USD	34.681,25

Para la mano de obra, como se ha explicado antes, se ha estimado un valor de dólares por hora. Las horas utilizadas en la construcción se han estimado son 2500, lo que supone a 3 obreros durante 4 meses trabajando 10 horas al día, sin trabajar los fines de semana. El acondicionamiento del terreno se ha estimado en un valor de dólares por metro cuadrado y se ha supuesto que el terreno necesario para la construcción de la vivienda son unos 150 metros cuadrados.

En la Tabla 65, se expone el coste de mano de obra y el acondicionamiento del terreno:

Tabla 65. Coste de mano de obra

MANO DE OBRA			
Mano de obra	Coste	Cantidad	Coste (USD)
Obrero	15 \$/h	2500 h	37500
Acondicionamiento	30 \$/m ²	150 m ²	4500
		TOTAL	42.000

Por último, en la Tabla 66 se resume el coste total de la construcción de la vivienda:

Tabla 66. Coste total de la construcción de la vivienda

COSTE TOTAL	
Materiales	36.681,25
Mano de obra	42.000,00
Subtotal	78.681,25
Otros costes (10%)	7.868,13
TOTAL USD	86.549,38

9.9.1.2 Presupuesto de las instalaciones eléctricas

En este apartado, se explica el coste de las instalaciones eléctricas de la vivienda, para ello se han dividido en instalaciones de consumo y en instalaciones de generación eléctrica.

Instalaciones de consumo energético

Aquí se exponen los principales equipos de consumo eléctrico. Los principales equipos que consumen energía eléctrica son los electrodomésticos. En la Tabla 67 se resumen los costes:

Tabla 67. Coste de los equipos de consumo energético

Equipo	Unidades	Precio Unidad USD	Importe
Frigorífico	1	930	930
Campana extractora	1	1.695	1.695

Cocina de inducción	1	830	830
Horno	1	610	610
Microondas	1	230	230
Lavadora	1	1.500	1.500
Lavavajillas	1	576	576
Televisión	1	699	699
Ordenador portátil	3	699	2.097
Plancha	1	119	119
TOTAL USD			9.286

Instalaciones de generación eléctrica

En la Tabla 68 se explican los principales equipos de generación eléctrica:

Tabla 68. Coste de los equipos de generación eléctrica

Equipo	Unidades	Precio Unidad USD	Importe
Placas fotovoltaicas	15	189	2.835,0
Inversor	1	827	827,0
Baterías	8	417	3.335,2
Regulador	4	255	1.020,0
TOTAL USD			8.017,2

9.9.1.3 Presupuesto de las instalaciones térmicas

En este apartado, se explica el coste de las instalaciones térmicas de la vivienda, para ello se resumen los equipos necesarios (Tabla 69). Los costes por unidad resultan de los catálogos de las casas que se han elegido (ver anexos).

Estos son los equipos térmicos que se desean instalar en la vivienda:

Tabla 69. Coste de los equipos térmicos de la vivienda

Equipo		Unidades	Precio unidad USD	Importe
Paneles solares térmicos		1	777,69	777,69
Tanque de acumulación		1	1.149,00	1.149,00
Bomba recirculatoria		2	99,00	198,00
Caldera biomasa		1	5.610,00	5.610,00
Silo pellets		1	1.395,00	1.395,00
Pellets anuales		1070 Kg/año	0,23	246,10
Vaso de expansión		1	30,10	30,10
Sondas de temperatura PT100		3	33,00	99,00
Tubería de cobre DN 20-22		50 m	11,90	595,00
Radiadores incluye elementos		64	10,00	640,00
Chimenea	Tubería	11 m	130,00	1.430,00
	Elemento T	1	174,00	174,00
	Sombrerete	1	95,54	95,54
	Abrazaderas	6	9,42	56,52
	Anclajes	3	23,14	69,42
TOTAL				12.565,37

9.9.1.4 Presupuesto total de la vivienda

En este apartado se explica el coste total que le supondría al promotor construir la vivienda.

Tabla 70. Presupuesto total de la vivienda

Descripción	Coste Total
Construcción	\$ 86.549,38
Instalaciones de consumo energético	\$ 9.286,00
Instalaciones eléctricas	\$ 8.017,20
Instalaciones térmicas	\$ 12.565,37
TOTAL USD	116.417,95

El coste total de la vivienda es de 116.417,95 dólares.

9.9.2 Resumen de resultados y conclusiones

En la sección diez, se planteó como objetivo principal la elaboración del diseño de una vivienda unifamiliar de consumo de energía casi nulo (NZEB) y de su equipamiento energético. El diseño contempla los siguientes aspectos:

- Análisis de la ubicación y orientación de la vivienda
- Análisis de datos climáticos y ambientales de la zona de asentamiento del inmueble
- Identificación de materiales de construcción de alta eficiencia y calidad
- Elección de equipos eléctricos tales como electrodomésticos de alta eficiencia energética
- Proyección de la demanda energética eléctrica y térmica
- Simulación de las condiciones climáticas de la zona de asentamiento
- Simulación del comportamiento energético de la vivienda
- Dimensionamiento del sistema fotovoltaico
- Dimensionamiento de la caldera de biomasa
- Presupuesto económico del proyecto

En un enfoque más técnico, la casa NZEB tiene que cumplir con un nivel de eficiencia energética muy alto y un consumo de energía casi nulo, o muy bajo, el cual debe en su mayoría proceder de fuentes renovables.

Los datos de partida para el proyecto son los consumos energéticos para que la vivienda diseñada cumpla los parámetros de una NZEB.

BIBLIOGRAFÍA

1. Universidad ECOTEC, Metodología de la investigación (s. f.). [En línea]. Recuperado de: https://www.ecotec.edu.ec/material/material_2019DiCSC244_06_115632.pdf.
2. Real Academia de la Lengua, *Diccionario de la lengua española*. 22ª. ed. Madrid: Espasa Calpe, 2022. [En línea]. Recuperado de: <https://www.rae.es>.
3. J. Matias-Pereira, “Efeitos e custos da crise financeira e econômica global no Brasil”, *Observatorio de la Economía Latinoamericana. Revista Académica de Economía*, no. 108, 2009. [En línea]. Recuperado de: <https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/09/jmp.htm>.
4. M. G. Stoppello, G. R. Sánchez y A. J. Busso, “Equipo de climatización tipo central con adaptaciones pedagógicas en clases”, *Extensionismo, innovación y transferencia tecnológica. Claves para el desarrollo*, vol. 4, pp. 247-253, 2018. [En línea]. Recuperado de: <http://revistas.unne.edu.ar/index.php/eitt/article/viewFile/2891/2560>.
5. C. Rangel Romero, J. C. Rojas Garnica, E. Carbajal y J. Rodríguez-Candelario, “Análisis de irreversibilidades en un sistema de refrigeración por compresión mecánica de vapor con R-134a”, *Revista de Sistemas Experimentales*, vol. 4, no. 11, pp. 42-52, jun. 2017.
6. S. B. Díaz Barra y J. I. Carrasco Garabito, “Estudio y diseño de sistema de calefacción domiciliario”, Tesis de grado, Universidad Técnica Federico Santa María Sede Concepción, Rey, Chile, 2018. [En línea]. Recuperado de: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42444/3560901544206UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
7. M. E. Urbina Muñoz, “Procedimiento para la evaluación de motores de generación bajo condiciones ambientales locales”, *Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas*, vol. 1, no. 2, pp. 59-69, dic. 2017.
8. J. E. González Gil, Á. O. Díaz Rey, y O. A. González-Estrada, “Análisis de un

- generador de HHO de celda seca para su aplicación en motores de combustión interna”, *Revista UIS Ingenierías*, vol. 13, no. 1, pp. 143-154, 2018. [En línea]. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n1-2018013>.
9. J. J. Luján Bravo, “Análisis de los criterios de diseño basados en las recomendaciones de la NFPA 780 para el desarrollo de un sistema de protección contra descargas atmosféricas de una instalación eléctrica ubicada a la intemperie mediante pararrayos tipo Franklyn”. Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú, Lima, 2018. [En línea]. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/UTP/1090>
 10. J. G. Trasancos, *Instalaciones eléctricas en media y baja tensión* 8.ª ed. Madrid: Paraninfo, 2020.
 11. Soluciones Led, “¿Por qué conectar a tierra, por qué comprobar los sistemas de conexión a tierra?”, ene. 2017 [En línea]. Recuperado de: <https://www.soluciones-led.com/conectar-tierra-comprobar-los-sistemas-conexion-tierra/>.
 12. D. Ruiz Mamani, “Propuesta de mejora para optimizar el proceso de instalación de ascensores”. Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2018. [En línea]. Recuperado de: <https://doi.org/10.19083/tesis/624830>.
 13. J. Z. Aguirre Parra, “Análisis de la matriz energética ecuatoriana y plan de desarrollo energético sostenible para la ciudad de Machala”. Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia/Instituto de Ingeniería Eléctrica/Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales de Valencia, Valencia, 2018.
 14. C. F. Guamán Sánchez, “Diseño de una microrred basada en renovables para suministrar electricidad a un área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur”. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2017.
 15. A. Colmenar Santos, D. Borge Díaz, E. Collado Fernández y M. A. Castro Gil, *Generación distribuida, autoconsumo y redes inteligentes*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2016.
 16. M. V. Mercado, G. Barea Paci, A. Esteves y C. Filippín, “Efecto de la ventilación natural en el consumo energético de un edificio bioclimático. análisis y estudio mediante energy plus. *Hábitat Sustentable*, vol. 8, no. 1, pp. 54-67, 2018. [En línea]. Recuperado de: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2933/3194>.
 17. Brian Clegg, “50 Temas fundamentales sobre energía, generación y utilización”, febrero 2021, Barcelona: Ediciones Blume.
 18. J. R. Cochancela Araujo y P. A. Astudillo Salinas, “Análisis energético de centrales eólicas”, Tesis de grado. Universidad de Cuenca, Cuenca, 2012. [En línea]. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/699>.
 19. Plataforma de Edificación Passivhaus, “Certificación de componentes”, abr.

2021. [En línea]. Recuperado de: <https://www.plataforma-pep.org/estandar/certificacion>.
20. R. A. González Lezcano, J. M. Del Río Campos, F. Aramburu Gaviola y S. Cesteros García, *Instalaciones eléctricas en el diseño de edificios. Problemas resueltos de instalaciones eléctricas*. Madrid: Ediciones Asimétricas, 2016.
 21. J. M. Del Río Campos, G. Sanglier Contreras, R. A. González Lezcano y M. C. Rubio Martín, *Fundamentos físicos de las instalaciones en arquitectura*. Madrid: Ediciones Asimétricas, 2020.
 22. R. A. González Lezcano y J. B. Echeverría Trueba, *Instalaciones de climatización y ventilación en el diseño de edificios. Problemas resueltos de instalaciones de climatización*. Madrid: Ediciones Asimétricas, 2017.
 23. R. A. González Lezcano, S. Hormigos Jiménez, C. Morollón Ronda y J. B. Echeverría Trueba, *Ahorro de energía en el diseño de edificios*. Problemas resueltos de ahorro de energía. Madrid: Ediciones Asimétricas, 2018.
 24. F. Del Ama, R. A. González Lezcano y S. Cesteros García, *Acústica en el diseño de edificios*. Madrid: Ediciones Asimétricas, 2018.
 25. P. Gómez Marco, *Configuración de instalaciones eléctricas*. Madrid: Marcombo, 2021.
 26. F. Galdón Trillo, D. T. González Arias y L. J. Sánchez De León Linares, *Configuración de instalaciones de frío y climatización*. Madrid: Paraninfo, 2020.
 27. M. Moro Vallina. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. 2ª. ed. Madrid: Paraninfo, 2018.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Instalaciones en una vivienda.....	14
Figura 2. Edificación con código de colores.....	16
Figura 3. Ley Cero Termodinámica	19
Figura 4. Primera Ley Termodinámica.....	19
Figura 5. Segunda Ley Termodinámica	20
Figura 6. Tercera Ley Termodinámica.....	20
Figura 7. Conducción de calor por conducción.....	21
Figura 8. Transferencia de calor por convección	22
Figura 9. Transferencia de calor por radiación.....	22
Figura 10. Ejemplo práctico de tipos de transferencia de calor	23
Figura 11. Cuarto frío	25
Figura 12. Estados de la materia.....	26
Figura 13. Cuarto frío	27
Figura 14. Cuarto frío	28
Figura 15. Elementos circuito de refrigeración	29
Figura 16. Refrigeración Molecular	30
Figura 17. Componentes de un sistema de enfriamiento.....	32
Figura 18. Calefacción Distribuida (Izquierda) - Calefacción Centralizada (Derecha)	37
Figura 19. Radiador de aceite	38
Figura 20. Radiador de cuarzo.....	39
Figura 21. Placa radiante	39
Figura 22. Convector.....	40
Figura 23. Acumulador de calor	41
Figura 24. Bomba de calor.....	42
Figura 25. Chimenea de Biomasa	42
Figura 26. Losa radiante en sala de estar	43
Figura 27. Losa Radiante	44
Figura 28. Calefacción por zócalos.....	45

Figura 29. Colector solar térmico	45
Figura 30. Ejemplo de funcionamiento de sistema de calefacción	47
Figura 31. Generador Eléctrico De Combustión.....	51
Figura 32. Transformador	54
Figura 33. Representación de separadores de tubería.	55
Figura 34. Representación de pozos en 3D	56
Figura 35. Representación 3d Tapa De Pozos	57
Figura 36. Pararrayos	57
Figura 37. Pararrayo tipo Franklin	59
Figura 38. Pararrayo tipo radioactivo.....	59
Figura 39. Pararrayo tipo piezoeléctrico	60
Figura 40. Pararrayo tipo ión.....	60
Figura 41. Protección mediante jaula de Faraday	61
Figura 42. Sistema Puesta A Tierra Con Pica.....	62
Figura 43. Ascensor en edificio	62
Figura 44. Ascensor hidráulico	64
Figura 45. Ascensor eléctrico	65
Figura 46. Montacargas en edificio	66
Figura 47. Paneles fotovoltaicos en cubierta de escuela	72
Figura 48. Longitud y latitud.....	73
Figura 49. Paneles fotovoltaicos en cubierta de viviendas	74
Figura 50. Paneles fotovoltaicos en fachada de escuela.....	75
Figura 51. Panel fotovoltaico monocristalino.	75
Figura 52. Panel fotovoltaico policristalino	76
Figura 53. Panel fotovoltaico amorfo	76
Figura 54. Inversor fotovoltaico.....	77
Figura 55. Banco de baterías sistema fotovoltaico	78
Figura 56. Variables para cálculo de sombra proyectada.....	81
Figura 57. Disposición de paneles en forma horizontal	82
Figura 58. Disposición de paneles en forma vertical	82
Figura 59. Conceptos básicos de una onda	88
Figura 60. Escala de decibelios	60

Figura 61. Ventilación en edificación	95
Figura 62. Ventilación cruzada	97
Figura 63. Ventilación unilateral	98
Figura 64. Ventilación unilateral en sala.....	98
Figura 65. Ventilación por efecto de altura	98
Figura 66. Ventilación por efecto de altura en biblioteca	98
Figura 67. Ventilación por depresión	100
Figura 68. Ventilación por sobrepresión	101
Figura 69. Ventilación combinada.....	101
Figura 70. Flujo de viento a través de turbina eólica.....	106
Figura 71. Flujo de viento a través de turbina eólica	108
Figura 72. Rosa de los vientos	109
Figura 73. Distribución de Weibull para diferentes valores de k.	110
Figura 74. Tipos de aerogeneradores	113
Figura 75. Curva de potencia de aerogenerador Siliken.....	115
Figura 76. Mapa de Quito	121
Figura 77. Temperaturas en Quito durante el año	122
Figura 78. Comportamiento mensual de temperaturas en el suelo a diferentes profundidades.	122
Figura 79. Vista 3D de la vivienda propuesta en la opción 1.	137
Figura 80. Simulación en Calener vivienda opción 1.....	139
Figura 81. Certificación energética opción 1.....	135
Figura 82. Vista 3D de la vivienda propuesta en la opción 2.	140
Figura 83. Simulación en Calener opción vivienda 2.	141
Figura 84. Certificación energética opción 2.....	142
Figura 85. Vista 3D de la vivienda propuesta en la opción 3.....	143
Figura 86. Simulación en Calener opción 3.	144
Figura 87. Certificación energética opción 3.	145
Figura 88. Gráfico comparativo del consumo y la producción de energía eléctrica en.....	155
Figura 89. Distribución de los costes aproximados del sistema fotovoltaico.....	155
Figura 90. Promedio mensual de producción eléctrica.	156

Figura 91. Promedio de compra de kW a la red.....	156
Figura 92. Potencia de salida media mensual de los paneles fotovoltaicos.	157
Figura 93. Estado de carga de las baterías en los diferentes meses del año.	158
Figura 94. Esquema del sistema de calefacción y ACS.	159
Figura 95. Esquema del circuito ACS	162
Figura 96. Aportación y demanda de energía sobre el año.....	163

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Código de colores en tuberías	15
Tabla 2. Código de colores en conductores	16
Tabla 3. Cuadro de dimensiones para pozos	55
Tabla 4. Datos de partida para cálculo de sistema fotovoltaico	79
Tabla 5. Especificaciones técnicas panel fotovoltaico	80
Tabla 6. Distancia mínima entre paneles colocados horizontalmente.....	81
Tabla 7. Distancia mínima entre paneles colocados verticalmente....	82
Tabla 8. Velocidad del sonido en diferentes medios	88
Tabla 9. Coeficiente de absorción para materiales.....	92
Tabla 10. Caudales de aire según código técnico de la edificación.....	102
Tabla 11. Cálculo de caudal de aire para vivienda	103
Tabla 12. Características aerogenerador.....	115
Tabla 13. Características inversor XANTREX	116
Tabla 14. Información de datos climáticos programa Cimate Consultant 6.0 Beta	121
Tabla 15. Especificaciones Técnicas a considerar en los softwares de diseño.....	124
Tabla 16. Especificaciones técnicas para ser una passive house	124
Tabla 17. Especificaciones de electrodomésticos.....	125
Tabla 18. Especificaciones técnicas programa HEED: bomba de calor	126
Tabla 19. Especificaciones técnicas Programa HEED: electrodomésticos	126
Tabla 20. Especificaciones técnicas Programa HEED – volados y cortinas.....	127
Tabla 21. Especificaciones técnicas Programa HEED – envolvente y ductos.....	128
Tabla 22. Especificaciones técnicas Programa HEED – aislamientos	129

Tabla 23. Especificaciones técnicas Programa HEED – potencia de paneles solares.....	130
Tabla 24. Especificaciones técnicas Programa HEED – Características de construcción de piso	131
Tabla 25. Especificaciones técnicas Programa HEED – Características de construcción de cubierta	132
Tabla 26. Especificaciones técnicas Programa HEED – nivel de aislamiento.....	132
Tabla 27. Especificaciones técnicas Programa HEED – barrera radiante	133
Tabla 28. Especificaciones técnicas Programa HEED – Tipo de marco.....	133
Tabla 29. Especificaciones técnicas Programa HEED – dimensión de componentes.....	133
Tabla 30. Especificaciones técnicas muro exterior opción 1 y opción 2	134
Tabla 31. Especificaciones técnicas muro exterior opción 3.....	134
Tabla 32. Especificaciones técnicas muro interior opción 1 y opción 2	135
Tabla 33. Especificaciones técnicas muro interior opción 3.....	135
Tabla 34. Especificaciones técnicas del suelo opción 1 y opción 2	135
Tabla 35. Especificaciones técnicas del suelo opción 3	136
Tabla 36. Especificaciones técnicas del techo opción 1 y opción 2.....	136
Tabla 37. Especificaciones técnicas del techo opción 3	136
Tabla 38. Especificaciones técnicas ventanas opción 1, opción 2, opción 3.....	137
Tabla 39. Datos de partida vivienda (opción 1).....	137
Tabla 40. Resultados obtenidos de la simulación de la vivienda (opción 1).....	138
Tabla 41. Datos de partida vivienda (opción 2)	139
Tabla 42. Resultados obtenidos de la simulación de la vivienda (opción 2)	140
Tabla 43. Datos de partida vivienda opción 3.....	142

Tabla 44. Resultados obtenidos de la simulación de la vivienda (opción 3)	143
Tabla 45. Cargas eléctricas y consumos.....	147
Tabla 46. Tabla de consumos en Ah/mes.....	148
Tabla 47. HSP de un día medio de cada mes.....	149
Tabla 48. N° de ramas necesario considerando un panel de 1A	150
Tabla 49. Características técnicas panel fotovoltaico Innotech EcoPlus 260 policristalino	150
Tabla 50. Ah/mes demandados, generados con la instalación PV y balance entre estos	151
Tabla 51. Características del regulador STECA TAROM 235.....	152
Tabla 52. Características batería Trojan L16P-AC.....	153
Tabla 53. Características inversor SB 5000TL-21.....	153
Tabla 54. Datos ingresados de sistema fotovoltaico para dimensionamiento de inversor	154
Tabla 55. Resumen de los elementos de la instalación.....	154
Tabla 56. Resumen de la producción y compra de energía eléctrica ..	156
Tabla 57. Resumen de la compra de energía eléctrica a la red	158
Tabla 58. Número de radiadores en las singulares habitaciones	161
Tabla 59. Parámetros del captador solar	162
Tabla 60. Características de la instalación del captador solar.....	163
Tabla 61. Especificaciones del circuito primario/secundario y de la distribución.....	163
Tabla 62. Valores totales de la demanda y la aportación de energía...164	164
Tabla 63. Dimensión de la chimenea	167
Tabla 64. Coste de material por cerramiento.....	168
Tabla 65. Coste de mano de obra	170
Tabla 66. Coste total de la construcción de la vivienda.....	170
Tabla 67. Coste de los equipos de consumo energético	170
Tabla 68. Coste de los equipos de generación eléctrica	171
Tabla 69. Coste de los equipos térmicos de la vivienda.....	172
Tabla 70. Presupuesto total de la vivienda.....	172

Este libro digital se produjo
bajo el sello editorial UCuenca Press.

Cuenca - Ecuador

ISBN: 978-9978-14-497-8



9 789978 144978

UCUENCA PRESS 