

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA MECÁNICA E INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:
DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN DE BAJO
CONSUMO DE ENERGÍA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DE 90 m²
UBICADA EN LA CIUDAD DE QUITO-ECUADOR**

**AUTORES:
ARIAS MANTILLA SAMANTHA NICOLE
POZO RUIZ ESTEBAN DUVERLY**

**TUTOR:
CARLOS IVÁN MALDONADO DÁVILA**

Quito, septiembre del 2021

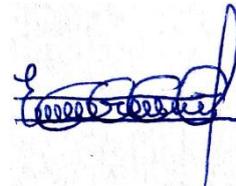
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORES

Nosotros, Samantha Nicole Arias Mantilla con Cédula de Identidad N° 172732507-6 y Esteban Duverly Pozo Ruiz con Cédula de Identidad N° 172262876-3, ponemos de manifiesto nuestra voluntad para que la Universidad Politécnica Salesiana obtenga la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN DE BAJO CONSUMO DE ENERGÍA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DE 90 m² UBICADA EN LA CIUDAD DE QUITO-ECUADOR, mismo que ha sido desarrollado para la obtención del título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos ya mencionados.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra ya mencionada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Samantha Nicole Arias Mantilla
C.I. 172732507-6



Esteban Duverly Pozo Ruiz
C.I. 172262876-3

Quito, septiembre del 2021

DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN DE BAJO CONSUMO DE ENERGÍA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DE 90 m² UBICADA EN LA CIUDAD DE QUITO-ECUADOR, realizado por Samantha Nicole Arias Mantilla y Esteban Duverly Pozo Ruiz, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre del 2021.



Carlos Iván Maldonado Dávila

C.I. 1711156073

DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente trabajo a mis padres Paúl y Sonia, por haberme brindado la oportunidad de prepararme académicamente, por ser un ejemplo, por motivarme siempre a seguir adelante y por enseñarme a ser una buena persona. A mi hermano Ismael por ser mi apoyo en muchos momentos de mi vida y mi compañero de travesuras. De igual manera a mi abuelita Mariana y a todos mis tíos por estar siempre al pendiente de mí y de cada uno de mis logros. A mi compañera durante 13 años Candy, que siempre estuvo a mi lado hasta sus últimos días. Finalmente dedico este trabajo a todos mis amigos, sin ellos cada etapa de mi vida no hubiera sido la misma llena de tantas experiencias y buenos momentos.

Samantha Arias

Este proyecto técnico va dedicado especialmente a mis padres Ligia y Medardo quien con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir un sueño más, gracias por inculcar el ejemplo de esfuerzo y responsabilidad. A mi hermana Nadya quien con su ejemplo y carácter me aconsejo durante todo este proceso para ser un buen estudiante. A Dios quien fue guía y compañía durante el transcurso de mi vida brindándome valor para poder culminar mis metas con éxito. Por último, dedico este trabajo a todos los docentes de la carrera de mecánica quienes aportaron en mi formación académica, en especial a 3 de ellos, Ing. Pablo Almeida, Ing. Carlos Maldonado e Ing. Patricio Quitiaquez.

Esteban Pozo

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana y a los docentes que conforman la carrera de Ingeniería Mecánica los cuales formaron parte de nuestra formación académica dentro de esta institución. A nuestro profesor y tutor el Ingeniero Carlos Maldonado por sus conocimientos brindados, su acompañamiento y consejo durante la carrera y elaboración de este trabajo.

Samantha Arias y Esteban Pozo

Índice general

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORES	i
DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
ANTECEDENTES.....	1
CAPÍTULO I	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Detalle de la composición del aire en la atmosfera	3
1.2. Propiedades del aire.....	3
1.2.1. Temperatura de bulbo seco (BS).....	3
1.2.2. Temperatura de bulbo húmedo (BH)	3
1.2.3. Temperatura de punto de rocío (PR).....	4
1.2.4. Relación de humedad (W).....	4
1.2.5. Humedad relativa (HR).....	4
1.2.6. Volumen específico (v).....	4
1.2.7. Entalpía específica (h).....	4
1.3. Conceptos de termodinámica	4
1.3.1. Calor.....	4
1.3.2. Transmisión de calor	5
1.3.3. Temperatura	5
1.3.4. Carga térmica	5
1.3.5. BTU (British Thermal Unit).....	6
1.3.6. Tonelada de refrigeración (TRF)	7
1.4. Calor generado por el ser humano.....	7
1.5. Ventilación	8
1.6. Sistemas de ventilación	8
1.6.1. Sistemas de ventilación de doble flujo.....	8
1.6.2. Ventajas del sistema de ventilación de doble flujo	9

1.6.3.	Tipos de sistemas de doble flujo	9
1.7.	Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado	10
1.7.1.	Calentamiento	10
1.7.2.	Enfriamiento.....	10
1.7.3.	Ventilación	10
1.7.4.	Humidificación/des humidificación	10
1.7.5.	Limpieza.....	10
1.7.6.	Movimiento del aire en el interior.....	11
1.8.	Renovación de aire	11
1.8.1.	Requerimientos de aire fresco en una vivienda.....	11
1.9.	Principios de la ventilación	11
1.10.	Aire acondicionado	12
1.10.1.	Tipos de sistemas de aire acondicionado	12
1.11.	Equipos de climatización	15
1.11.1.	Sistemas de solo aire	15
1.11.2.	Sistemas de solo agua.....	16
1.11.3.	Sistemas combinados de aire y agua.....	16
1.12.	Vivienda unifamiliar	16
1.13.	Confort térmico.....	17
1.13.1.	Factores de confort.....	17
1.13.2.	Parámetros ambientales o de confort	17
1.14.	Ahorro de energía	17
1.14.1.	Estrategias de reducción de consumo energético en una vivienda	17
1.15.	Eficiencia Energética	18
1.15.1.	Eficiencia energética en la ventilación de doble flujo	18
1.15.2.	Funcionamiento de la eficiencia energética en la ventilación de doble flujo	18
1.15.3.	Características eficientes de la ventilación de doble flujo	19
CAPÍTULO II.....		21
CONSIDERACIONES DE DISEÑO		21
2.1.	Características de una vivienda unifamiliar típica.....	21
2.2.	Ubicación.....	21
2.3.	Temperatura ciudad de Quito	22
2.3.1.	Análisis mensual del INAMHI.....	23

2.3.2.	Comparación mensual de las temperaturas	24
2.4.	Requerimientos para la renovación de aire	26
2.5.	Presión y velocidades	29
2.5.1.	Presión.....	29
2.5.2.	Velocidades de aire	30
2.6.	Cargas térmicas para climatización	31
2.6.1.	Cargas térmicas sensibles.....	32
2.6.2.	Cargas térmicas latentes.....	36
2.7.	Parámetros de confort y calidad de aire en viviendas unifamiliares	37
2.8.	Equipos y elementos.....	37
2.8.1.	Control y automatización	39
2.9.	Consumo y evaluación energética de los sistemas de climatización.....	39
CAPÍTULO III	.....	42
CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS, RENOVACIONES DE AIRE Y SELECCIÓN DE EQUIPO	.....	42
3.1.	Renovaciones de aire.....	42
3.2.	Cálculo de caudales para un sistema de doble flujo con recuperador de calor 43	
3.3.	Cálculo de cargas térmicas sensibles y latentes para verano.....	44
3.3.1.	Cálculo de cargas térmicas sensibles de transmisión y radiación a través de paredes y techo	46
3.3.2.	Cálculo de cargas térmicas por transmisión a través de paredes y techos interiores	50
3.3.3.	Cálculo de cargas térmicas por radiación solar a través de cristales....	51
3.3.4.	Cálculo de cargas térmicas por infiltraciones de aire exterior	58
3.3.5.	Cálculo de cargas térmicas por aportaciones internas.....	59
3.3.6.	Cálculo de cargas térmicas latentes por infiltraciones de aire exterior	60
3.3.7.	Cálculo de cargas térmicas latente por ocupantes.....	60
3.4.	Cálculo de cargas térmicas sensibles y latentes para invierno	61
3.4.1.	Cálculo de cargas térmicas sensibles de transmisión y radiación a través de paredes y techo	61
3.4.2.	Cálculo de cargas térmicas por transmisión a través de paredes y techos interiores	63
3.4.3.	Cálculo de cargas térmicas por radiación solar a través de cristales....	64

3.4.4.	Cálculo de cargas térmicas por infiltraciones de aire exterior	64
3.4.5.	Cálculo de cargas térmicas por aportaciones internas.....	65
3.4.6.	Cálculo de cargas térmicas por infiltraciones de aire del exterior latente 65	
3.4.7.	Cálculo de cargas térmicas latente por ocupantes.....	66
3.5.	Cálculo de presiones.....	67
3.5.1.	Presión dinámica	67
3.5.2.	Presión estática.....	68
3.6.	Selección de equipo.....	70
CAPÍTULO IV	.....	73
PROPUESTA 3D, ANALISIS ENERGÉTICO Y ECONÓMICO	.....	73
4.1.	Propuesta 3D para la vivienda unifamiliar de 90 m ²	73
4.2.	Análisis energético	73
4.2.1.	Análisis de consumo de energía.....	73
4.3.	Costos directos.....	75
CONCLUSIONES	.....	80
RECOMENDACIONES	.....	82
LISTA DE REFERENCIAS	.....	83

Índice de tablas

Tabla 1. Composición del aire en volumen.....	3
Tabla 2. Calor producido por el cuerpo humano.....	7
Tabla 3. Tasa de renovación de aire.....	11
Tabla 4. Valores medios y absolutos INAMHI (1990-2010).....	23
Tabla 5. Valores de temperatura INAMHI	24
Tabla 6. Valores de renovaciones hora	27
Tabla 7. Caudales para viviendas sistemas VMC	28
Tabla 8. Efectos de la velocidad del aire.....	30
Tabla 9. Velocidades de aire atendiendo al ruido	30
Tabla 10. Temperatura exterior de cálculo	33
Tabla 11. Listado de elementos del sistema.....	37
Tabla 12. Valores de potencia eléctrica en base a la superficie	41
Tabla 13. Caudales VMC zonas secas	43
Tabla 14. Caudales VMC zonas húmedas.....	43
Tabla 15. Corrección de caudales	44
Tabla 16. Propiedades de paquetes constructivos	45
Tabla 17. Área de muros, piso y techo del primer y segundo piso	45
Tabla 18. Temperaturas para diseño verano	47
Tabla 19. Temperaturas para diseño verano	48
Tabla 20. Carga térmica por transmisión y radiación paredes y techo primer piso ...	49
Tabla 21. Carga térmica por transmisión y radiación paredes y techo segundo piso	49
Tabla 22. Carga térmica por transmisión interior paredes y techo primer piso	50
Tabla 23. Carga térmica por transmisión interior paredes y techo segundo piso	51
Tabla 24. Carga térmica por radiación vidrios en el comedor	54
Tabla 25. Carga térmica por radiación vidrios en la sala.....	54
Tabla 26. Carga térmica por radiación vidrios en el baño del primer piso	55
Tabla 27. Carga térmica por radiación vidrios del dormitorio 1.....	55
Tabla 28. Carga térmica por radiación vidrios del dormitorio 2.....	56
Tabla 29. Carga térmica por radiación vidrios del dormitorio máster	56
Tabla 30. Carga térmica por radiación vidrios del baño segundo piso	57
Tabla 31. Carga térmica conducción de puertas del primer piso	57
Tabla 32. Resumen de cargas sensibles por radiación solar atreves de cristales	58
Tabla 33. Cargas por aportaciones internas	59

Tabla 34. Resumen de cargas sensibles y latentes	60
Tabla 35. Temperaturas para diseño invierno	61
Tabla 36. Temperaturas para diseño invierno	62
Tabla 37. Cargas térmicas sensibles de transmisión y radiación	62
Tabla 38. Cargas térmicas sensibles de transmisión y radiación	62
Tabla 39. Cargas térmicas sensibles paredes y techo interiores primer piso	63
Tabla 40. Cargas térmicas sensibles paredes y techo interiores segundo piso.....	63
Tabla 41. Cargas térmicas puertas	64
Tabla 42. Total de cargas sensibles por radiación a través de vidrios	64
Tabla 43. Aportaciones internas.....	65
Tabla 44. Resumen de cargas sensibles y latentes	66
Tabla 45. Longitudes aproximadas de tubería flexible	68
Tabla 46. Perdida de carga por accesorios	69
Tabla 47. Características técnicas del equipo	71
Tabla 48. Consumo diario y mensual del equipo IDEO ² 325 ECOWATT	73
Tabla 49. Consumo diario y mensual sistema A/C y calefacción.....	74
Tabla 50. Costos y cantidades detalladas de cada uno de los accesorios y del equipo	75
Tabla 51. Costo total del equipo	78
Tabla 52. Total costos directos.....	78
Tabla 53. Tabla de gastos varios	79
Tabla 54. Tabla costo total del proyecto	79

Índice de figuras

Figura 1. Aire acondicionado compacto	13
Figura 2. Aire acondicionado portátil	13
Figura 3. Aire acondicionado Split	14
Figura 4. Aire acondicionado central separado.....	14
Figura 5. Aire acondicionado tipo paquete	14
Figura 6. Aire acondicionado tipo chiller	15
Figura 7. Mapa político del Distrito Metropolitano de Quito, parroquias urbanas y rurales.....	22
Figura 8. Comparación entre las temperaturas medias mensuales. OAQ (71-00), INAMHI (90-10).....	25
Figura 9. Comparación entre las temperaturas mínimas medias mensuales. OAQ (71-00), INAMHI (90-10).....	25
Figura 10. Comparación entre las temperaturas máximas medias mensuales. OAQ (71-00), INAMHI (90-10).....	26
Figura 14. Etiqueta energética.....	40
Figura 15. Gráfica de pastel de las cargas térmicas para verano	61
Figura 16. Gráfica de pastel de las cargas térmicas perdidas para invierno	67
Figura 17. Gráfica de pastel de las cargas térmicas ganadas para invierno	67
Figura 18. Curva del sistema.....	70
Figura 19. Curva de rendimiento	71

RESUMEN

El propósito del presente trabajo es diseñar y analizar la implementación de un sistema de ventilación mecánica controlada (VMC) con recuperador de calor para una vivienda unifamiliar de 90 m² la cual está localizada en la ciudad de Quito-Ecuador, con el objetivo de obtener un bajo consumo energético teniendo en cuenta que este sistema estará funcionando la mayor parte del tiempo en comparación con los sistemas tradicionales de ventilación como aires acondicionados y calefacción. Esto se desarrolló mediante un proceso de análisis y obtención de datos necesarios para realizar los respectivos cálculos como cargas térmicas y determinación de caudal mínimo necesario para poder seleccionar el equipo más adecuado que cumpla con las condiciones requeridas y óptimas para cumplir su función. También se estableció costos mensuales de operación del equipo que implica mantener en óptimas condiciones el aire interior de la vivienda garantizando el confort térmico para los ocupantes de la vivienda. Una vez finalizado el estudio, se concluyó que, se requiere un equipo de ventilación mecánica controlada IDEO² 325 ECOWATT del fabricante Soler & Palau para el sistema de ventilación climatizada de la vivienda unifamiliar. Mediante un análisis financiero se obtuvo un costo total del proyecto de \$6 039,08.

Palabras Claves: ventilación, recuperador de calor, vivienda unifamiliar, climatización, confort.

ABSTRACT

The purpose of this work is to design and analyze the implementation of a controlled mechanical ventilation system with a heat recovery system for a 90 m² single-family home it's located in Quito-Ecuador, with the aim of obtaining low energy consumption taking into account that this system will be working most of the time compared to traditional ventilation systems like air conditioners and heating. This is being developed through a process of analysis and obtaining the necessary data to perform the respective calculations such as thermal loads and determination of the minimum flow necessary to select the right equipment that meets the required and optimal conditions to fulfill its function. The monthly operating costs of the equipment have also been established, which implies keeping the interior air of the house in optimal conditions, guaranteeing thermal comfort for the occupants of the house. Once the study is completed, it is being concluded that an IDEO2 325 ECOWATT controlled mechanical ventilation equipment from the manufacturer Soler & Palau is required for the air-conditioned ventilation system of the single-family home. Through a financial analysis, a total project cost of \$6 039,08 was obtained.

Keywords: ventilation, heat recovery, single-family home, air conditioning, comfort.

INTRODUCCIÓN

La vivienda unifamiliar considerada para este estudio consta de tres habitaciones, dos baños privados y un baño común, sala, comedor y cocina, distribuidos en dos plantas. Es un proyecto que se encuentra en planos y se quiere implementar un sistema de ventilación mecánica controlada (VMC) de doble flujo, el cual posee un recuperador de calor para mermar los costos de consumo eléctrico respecto a los otros sistemas de ventilación convencionales. El área está distribuida de la siguiente forma, la primera y segunda planta consta de 43 y 47 m² habitables dando un área total de 90 m². El objetivo de las viviendas es proveer un ambiente de protección y confort para las personas que ocupan dicho recinto, con el fin de cuidar a los ocupantes de los diferentes cambios climáticos pudiendo así realizar diferentes actividades básicas como dormir, comer o caminar.

El presente trabajo está dividido en cuatro secciones, en el capítulo I se recopila la literatura acorde a lo necesitado sobre sistemas de ventilación, aire acondicionado, cargas térmicas y costos energéticos.

En el capítulo II se detalla todas las ecuaciones requeridas para poder realizar los cálculos de cargas térmicas, renovaciones de aire y pérdidas de carga en el sistema de ventilación.

El capítulo III se enfoca en el diseño del sistema VMC con recuperador de calor, en el cual se consideran las pérdidas de calor, confort térmico y la selección del equipo de ventilación.

Finalmente, en el capítulo IV se permite conocer el dimensionamiento y modelado 3D de los ductos para la vivienda unifamiliar, a su vez se realiza el estudio sobre el consumo energético del equipo seleccionado en el capítulo III. De igual manera se calcula el costo total del proyecto en el cual se consideran costos directos e indirectos.

ANTECEDENTES

Zhao y Liu [1] realizaron un estudio de campo en cinco ciudades con tres diferentes zonas climáticas durante un año para valorar el rendimiento de los sistemas de ventilación y calidad de aire en 36 diferentes apartamentos. Donde obtuvieron resultados de los sistemas de ventilación que arrojaron una eficiencia aproximada del 50 % y los cambios de aire con un 56 %. Recomendando el uso de estos sistemas para garantizar una mejor calidad de aire, la eficiencia variara dependiendo las condiciones climáticas donde el equipo va a estar en operación.

En Ecuador, específicamente en la ciudad de Quito, el uso de los sistemas VMC con recuperadores de calor no son muy conocidos, teniendo en cuenta que países como España, Reino Unido, Francia e Italia utilizan estos tipos de sistemas debido a que proporcionan un gran ahorro energético y es fácil de diseñar. Como menciona Ribé [2] el uso de recuperadores de calor tiene un papel muy importante al diseñar los sistemas de ventilación, ya que, la eficiencia energética y sostenibilidad juegan un papel muy importante al momento de diseñar dichos sistemas.

Las condiciones climáticas existentes en la ciudad de Quito son muy variables, teniendo días soleados con sensaciones térmicas bajas o altas, a su vez temperaturas que oscilan entre los 8 a 22 °C lo cual depende de la época y la estación del año en la que se encuentre la ciudad. Por lo cual implementar los sistemas VMC no solo permite tener un mejor confort térmico en la vivienda si no poder mantener temperaturas estables en el interior de 16 a 18 °C, y poder tener una mejor calidad del aire, pudiendo así mermar la proliferación de bacterias, virus que se encuentren en el ambiente. Como recomienda en su blog Vanesa Ezquerro [3] para pandemias como la del COVID-19 la implementación de estos sistemas de ventilación ayuda a mermar la diseminación por microgotas cargadas con el virus gracias a que estos sistemas renuevan de manera mecánica y continua el aire que se encuentra en el ambiente.

Los sistemas de VMC de doble flujo con recuperador de calor permiten obtener un menor consumo de energía eléctrica, ya que, estos sistemas intercambian el calor del ambiente del exterior con el interior para así tener un buen confort térmico.

Dependiendo del equipo que se seleccione, ya sea, para viviendas o locales comerciales estos pueden dar una potencia de consumo que ronda entre los 20 a 200 W con un promedio de consumo aproximado de 40 W, teniendo un consumo mensual de 35,82 kW/h en comparación a los sistemas tradicionales de aire acondicionado y de calefacción con un consumo mixto aproximado de 219 kW/h al mes pudiendo obtener un ahorro casi de 183 kW/h.

El problema de estudio se ajusta en el excesivo consumo de energía eléctrica, ya que con frecuencia gran parte de la energía se pierde en renovaciones de aire no deseado y la falta de información contribuye a que este problema se mantenga continuando con el uso de sistemas de ventilación tradicionales. Teniendo así la necesidad de implementar nuevos sistemas que permitan un menor consumo de energía eléctrica.

El objetivo general consiste en diseñar un sistema de ventilación y climatización de bajo consumo de energía de una vivienda unifamiliar de 90 m² ubicada en la ciudad de Quito-Ecuador.

Los objetivos específicos son:

- Determinar los parámetros óptimos de confort y calidad de aire para una vivienda unifamiliar de 90 m² ubicada en la ciudad de Quito.
- Diseñar el sistema de ventilación considerando los parámetros de renovación y recirculación de aire según la norma ASHRAE.
- Diseñar un sistema de climatización controlado que asegure las condiciones de confort térmico y buena calidad de aire para los ocupantes.
- Realizar una evaluación económica del consumo de energía eléctrica del sistema de ventilación y climatización controlado.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Detalle de la composición del aire en la atmosfera

Se han realizado estudios para poder detallar minuciosamente la composición del aire:

La atmósfera está compuesta por una mezcla de gases entre los que predominan el Nitrógeno (N_2), el Oxígeno (O_2), el Dióxido de Carbono (CO_2), además de otros gases en pequeñas cantidades, tales como el argón, helio, neón y ozono. En capas inferiores de la atmósfera se encuentra vapor de agua e impurezas en forma de polvo. [4].

La tabla 1 muestra la composición en volumen de la atmosfera:

Tabla 1. Composición del aire en volumen [5].

Componente	Fórmula química	Porcentaje
Nitrógeno	N_2	78.1 %
Oxígeno	O_2	21 %
Dióxido de carbono	CO_2	0.035 %
Argón	AR	0.93 %
Vapor de agua	H_2O	0,4 %

Fuente: Lenntech

1.2. Propiedades del aire

Pita [6] describe las propiedades principales del aire:

1.2.1. Temperatura de bulbo seco (BS)

Esta es la temperatura (T) del aire, tal cual lo indica un termómetro. Se puede utilizar únicamente la palabra temperatura o también la palabra temperatura de bulbo seco para hablar sobre lo mismo tratándose del aire [6].

1.2.2. Temperatura de bulbo húmedo (BH)

Esta temperatura hace referencia a la T medida por un termómetro, en el cual el bulbo se encuentra envuelto en una mecha rociada por agua destilada, en el seno de aire en movimiento acelerado [6].

1.2.3. Temperatura de punto de rocío (PR)

A esta temperatura el vapor de agua que se encuentra en el aire se empieza a condensar, esto sucede si se enfría el aire a una presión constante [6].

1.2.4. Relación de humedad (W)

O también conocida como humedad específica, esta hace referencia al peso de vapor de agua por libra de aire seco, se expresa en lb/lb de aire seco [6].

1.2.5. Humedad relativa (HR)

Pita menciona que HR “se conoce como la relación de presión real de vapor de agua en el aire con la presión de vapor de agua si el aire estuviera saturado a la misma temperatura de bulbo seco, el valor se expresa en porcentaje” [6].

1.2.6. Volumen específico (v)

Este volumen hace referencia al volumen de aire por unidad de peso de aire seco. Por lo general se expresa en ft^3/lbm de aire seco [6].

1.2.7. Entalpía específica (h)

La entalpía específica es el contenido de calor del aire por unidad de peso. Por lo general se expresa en BTU/lb de aire seco [6].

1.3. Conceptos de termodinámica

1.3.1. Calor

Benítez y Sánchez mencionan que el calor es una forma de energía en tránsito, este concepto sólo se aplica en el proceso de intercambio de energía, ya sea, entre dos sistemas o entre un sistema y su entorno. También definen al calor como la transferencia de una parte de dicha energía interna, esta puede ser calorífica o térmica, desde un sistema a otro, esto solo se dará si ambos sistemas están a diferente temperatura [7].

Por otro lado, se dice que “[...] el calor se transmite en el sentido de las temperaturas decrecientes. Obviamente, en la interacción entre dos sistemas las variaciones de energía interna son iguales y de sentido contrario (un sistema absorbe calor mientras el otro lo cede)” [7].

1.3.2. Transmisión de calor

Loarca habla sobre la segunda ley de la termodinámica y menciona que en esta ley el calor viaja desde el cuerpo con más temperatura hacia el cuerpo más frío. El grado de transmisión es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos cuerpos. También menciona que el calor puede viajar en tres diferentes formas: radiación, conducción y convección [8].

1.3.3. Temperatura

Se puede definir a la temperatura (T) como una magnitud escalar la cual está vinculada con la energía interna de un sistema termodinámico, para ser más concretos se relaciona directamente con la parte de la energía interna “sensible” haciendo referencia a los movimientos de las partículas del sistema. Se puede decir que a medida que se incrementa la energía sensible de un sistema se puede notar que aumenta su temperatura. Por otro lado, se sabe que la T es considerada una propiedad intensiva, la cual no depende del volumen del sistema ni de la cualidad del material del que esté compuesto [7].

Fernández y Corrochano mencionan que “[...] el equilibrio térmico entre dos sistemas se refiere a que ambos comparten un valor similar de alguna propiedad física, a esta propiedad se la llama temperatura” [7].

1.3.4. Carga térmica

Se puede definir a la carga térmica de un local como “[...] la potencia de calentamiento o enfriamiento que requiere la instalación en un momento determinado para mantener las condiciones térmicas interiores dadas” [9].

Para establecer las correctas dimensiones de los equipos de climatización es importante evaluar la máxima carga térmica de instalación. Este valor de máxima carga térmica no se puede determinar a simple vista, ya que depende del tipo de local (orientación, inercia térmica, etc.) y de su tipo de utilización (oficinas, hoteles, restaurantes, etc.).

El cálculo de la carga térmica máxima se debe efectuar para diversos espacios con el objetivo de seleccionar correctamente todos los elementos que forman parte de una

instalación, lo más probable es que el tiempo donde se produzca la máxima demanda será diferente para cada uno de ellos:

- Para cada habitación existente
- Por cada una de las zonas
- Para toda la edificación o instalación [9]

Se deben considerar las siguientes cargas térmicas [9]:

- **Cargas exteriores**
 - Carga por medio de paredes, techos y suelos.
 - Carga por medio de superficies acristaladas, ventanales y claraboyas.
 - Carga por ventilación.
 - Carga por infiltración.

- **Cargas interiores**
 - Carga por ocupantes
 - Carga por iluminación
 - Carga debida a máquinas y motores
 - Carga debida a procesos industriales
 - Carga debida a la propia instalación
 - Carga debida a paso de conductos

1.3.5. BTU (British Thermal Unit)

Se puede definir al BTU como “[...] la unidad para medir el calor en el Sistema Inglés y es la cantidad de calor aplicada a una libra de agua (454 gramos) para poder elevar su temperatura un grado Fahrenheit; 1 Btu = 252 cal = 0,252 Kcal” [8].

Loarca menciona que un BTU tiene las siguientes equivalencias:

- 252 calorías
- 1055 Julios
- 12 000 BTU/h = 1 Tonelada de refrigeración = 3 000 frigorías/h [8]

1.3.6. Tonelada de refrigeración (TRF)

Se conoce a la TRF como “la unidad nominal de potencia empleada para referirse a la capacidad de extracción de carga térmica (enfriamiento) de los equipos frigoríficos y de aire acondicionado” [8]. La tonelada de refrigeración en los equipos se asemeja a una potencia apta para extraer 12 000 BTU/h, esto en el Sistema Internacional de Unidades (SI) equivaliese a 3 517 W.

En la actualidad el Sistema Internacional (SI) es el más utilizado, varios fabricantes definen la capacidad de los equipos tanto en BTU/h como en W. Por otro lado, algunos fabricantes ya solo lo hacen en W.

1.4. Calor generado por el ser humano

Miranda explica que la energía que el cuerpo humano requiere para funcionar se extrae por reacciones químicas, en general consisten en oxidar grasas y algunas sustancias de reserva. Por otro lado, menciona que la cantidad de calor es proporcional a la cantidad de trabajo realizado, esto quiere decir que entre mayor calor se produzca más será la cantidad de calor residual que se deba eliminar [10].

La cantidad de calor es un antecedente necesario que se debe saber para utilizar en los cálculos de las instalaciones de climatización. Por lo general se utilizan valores medios y aproximados, porque el conocimiento preciso sería difícil de conseguir. En la tabla 2 se muestran los datos comúnmente usados.

Tabla 2. Calor producido por el cuerpo humano [11]

Clase de trabajo	Actividad	Calor por unidad de tiempo (W)
Ligero	Durmiendo	73
	Sentado	116
	Sentado con movimiento	161
Moderado	Sentado con movimiento	176
	Trabajo ligero	176
Pesado	Trabajo de pico y pala	513

Elaborado por: Blesa, R

1.5. Ventilación

Según Londoño se puede definir a la ventilación como “[...] una técnica que permite suplir o renovar el aire de un local, considerado como un inconveniente debido a su falta de pureza, a su temperatura inadecuada o a su humedad excesiva, por otro del exterior que posea mejores características” [12].

1.6. Sistemas de ventilación

En base al tipo de local se clasifica en tres sistemas de ventilación:

- Domésticos: se refiere a la ventilación de viviendas, ya sean edificios o residencias unifamiliares
- Terciarios o comerciales: se refiere a locales de ocupación profesional como oficinas, colegios, comercios, etc.
- Industriales: se refiere a ventilación de fábricas y naves industriales en las cuales se dan procesos de producción [13].

De esta forma Soler & Palau definen dos tipos de sistemas de ventilación: Sistemas de simple flujo y sistemas de doble flujo.

- Los sistemas de simple flujo consisten en un extractor que retira el aire contaminado del local y por medio de ductos lo expulsa a la calle [13].
- Los sistemas de ventilación de doble flujo no solo extraen aire contaminado e impulsan aire de renovado a un local, sino que muy frecuentemente tratan el aire de entrada de distintas formas [13].

1.6.1. Sistemas de ventilación de doble flujo

Estos sistemas marcan una considerable diferencia en la eficiencia energética, ya que la disminución de consumo es gigantesca y esto se debe a que el recuperador de calor es un intercambiador el cual permite la transferencia de energía del aire que es expulsado hacia el aire que ingresa.

Cotolma explica brevemente que el sistema de doble flujo consiste en un sistema como bien lo dice su nombre de ventilación, este está formado por dos sistemas de bocas. El primer sistema es de bocas de insuflación, estas introducen el aire en las zonas secas

como dormitorios. Y el segundo sistema es de bocas de extracción, las cuales extraen el aire de las zonas húmedas como baños y cocinas. La finalidad de este sistema es insertar todo el aire limpio que sea posible a la vivienda y extraer el aire viciado a cubierta [14].

1.6.2. Ventajas del sistema de ventilación de doble flujo

Cotolma menciona las siguientes ventajas:

- Las dos ventajas principales de este sistema son las siguientes: un considerable confort térmico y ahorro energético. En invierno cuando se tiene una temperatura de 5 °C en el exterior de la vivienda y 20 °C en el interior de esta, el aire nuevo entra a 19 °C, gracias al intercambiador térmico. Por otro lado, en verano se adecúa fácilmente a las variaciones con una temperatura exterior de 30 °C y una temperatura interior de 21 °C, el aire nuevo que ingresa será a 22 °C [14].
- Este sistema actúa como un colador que puede variar en su grosor garantizando el confort dentro de la vivienda y la calidad del aire interior, dejando de lado a las partículas que pueden ser perjudiciales para la salud por más diminutas que sean [14].
- Este sistema presenta un considerable aislamiento acústico frente a ruidos externos y un ahorro en el consumo eléctrico, esto contribuye en el confort y bienestar de cada hogar [14].
- Para un estupendo funcionamiento, es importante considerar a los componentes que forman parte de este sistema como son el recuperador de calor, la caja de distribución, los conductos de impulsión y de extracción [14].

1.6.3. Tipos de sistemas de doble flujo

Se conocen dos tipos de sistema de doble flujo en el comercio:

- Sistemas de doble flujo compactos: constan de los ventiladores conectados al recuperador de calor [15].
- Sistemas de doble flujo con equipos independientes: los ventiladores y el recuperador calor se encuentran separados [15].

1.7. Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado

Soler & Palau [16] describen al sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado o también conocido como heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) de la siguiente manera:

1.7.1. Calentamiento

Este proceso consiste en añadir calor al aire con la finalidad de incrementar su temperatura. Cada vez se elige sistemas más eficientes, que representen un mayor ahorro de energía, debido a esto se puede mencionar que la recuperación del calor del aire de extracción es el más eficiente para calentar el aire de impulsión (entrada). Ya que el único consumo de energía que se produce es el de los dos motores de los ventiladores de extracción y de impulsión [16].

1.7.2. Enfriamiento

Este proceso es lo contrario al ya descrito anteriormente, se sustrae calor hacia el aire exterior con la finalidad de disminuir su temperatura hasta niveles aceptados de confort. La forma más utilizada para enfriar el aire se puede llevar a cabo por medio de un compresor el cual comprime un gas hasta que pasa a líquido para luego expansionarlo sustrayendo el calor del aire que circula por ella [16].

1.7.3. Ventilación

Concepto descrito en el punto 1.5.

1.7.4. Humidificación/des humidificación

Este proceso consiste en incrementar o disminuir la humedad del aire, conservándola en su rango de confort. Cuando se calienta aire demasiado frío puede ser inevitable humectarlo para así poder reducir la sensación de sequedad que se produce en las vías respiratorias [16].

1.7.5. Limpieza

Este proceso consiste en filtrar el aire para descartar todo tipo de partículas sólidas que se encuentre en el aire. A diario aumenta la preocupación por mejorar la calidad del aire que respiran las personas, intensificando así el uso de filtros para retener las partículas que se encuentren en suspensión [16].

1.7.6. Movimiento del aire en el interior

Este proceso se basa en repartir el aire de frescos que proviene del exterior dentro del local, con esto se consigue que no se originen corrientes de aire que pueden llegar a ser molestas para sus ocupantes [16].

1.8. Renovación de aire

El concepto de renovación de aire trata en extraer el aire viciado y contaminado del interior e introducir aire del exterior que esté más limpio y fresco [17].

Sí una vivienda no cuenta con una buena ventilación o con una buena renovación de aire, podría llegar a ser nocivo para la salud de sus habitantes. Eso se debe a que se proliferarán virus, aumentan las bacterias, la acumulación de polvo, polen, moho y la humedad.

1.8.1. Requerimientos de aire fresco en una vivienda

Se menciona que la renovación de aire se puede realizar de dos formas: la primera es de forma natural la cual se la realiza mediante la apertura de puertas y ventanas, la segunda forma es de manera mecánica pasiva que se da cuando el estado de la vivienda limita aplicar los métodos naturales. La renovación de aire debe ser tomada en cuenta más en baños y cocinas [18].

Tabla 3. Tasa de renovación de aire [18]

Modo de operación	Bajo demanda	Continuo
aplicación	flujo volumétrico	flujo volumétrico
Baño	25 l/s	10 l/s
Cocina	50 l/s	5 ACH

Fuente: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda

1.9. Principios de la ventilación

Echeverri menciona que la instalación de un sistema de ventilación general mecánica se basa por lo general en la intuición de los profesionales, a pesar de eso se puede enumerar los siguientes principios que se pueden seguir [12]:

- Suprimir la solución viable, desde el punto de vista experto, la ventilación exhaustiva local.

- Hay que considerar que se puede aplicar a contaminantes que no sean muy tóxicos, que sea de veloz difusión, a minúsculas emisiones y siempre que el personal laboral este a distancia de las principales fuentes de emisión.
- Presionar una corriente de aire desde la zona más limpia a la zona más contaminada.
- Hacer transitar la mayor cantidad de aire por las zonas que se encuentren contaminadas.
- Prevenir las zonas muertas para el paso de aire.
- Equilibrar las salidas de aire con sus respectivas entradas de aire.
- Prevenir flujos de aire.
- Usar las circulaciones naturales de los contaminantes, en específico el efecto ascendente de zonas calientes.
- Emplear un correcto sistema de ventilación mecánico para introducir o extraer el aire.
- Utilizar extracción mecánica y entrada manual.
- No usar un sistema de ventilación general para solventar problemas con partículas puesto que ésta presenta problemas de propagación [12].

1.10. Aire acondicionado

El aire acondicionado hace referencia al sistema de refrigeración de aire, el cual se maneja de manera doméstica para renovar el ambiente cuando las temperaturas exteriores son muy elevadas y calurosas. El aire acondicionado también se puede definir como un aparato que se coloca en viviendas, locales comerciales y otros espacios cerrados con el fin de suministrar aire fresco que se renueva constantemente. A pesar de ser un equipo muy útil para el confort diario también conlleva efectos, los cuales pueden ser desfavorables no sólo para la salud de las personas sino también para el medio ambiente, debido a su expulsión insistente de aire caliente hacia el exterior [19].

1.10.1. Tipos de sistemas de aire acondicionado

Según Colocho *et al.* [20] existen varios de sistemas de acondicionamiento de aire, los cuales son:

- **Sistema de aire acondicionado compacto**

Este tipo de sistema es unitario, compacto y con descarga directa, lo que significa que el aire refrigerado se expulsa inmediatamente al ambiente. Para espacios pequeños [20].



Figura 1. Aire acondicionado compacto [21].

- **Sistema de aire acondicionado portátil**

Este tipo de sistema es unitario, compacto y con descarga directa, lo que significa que el aire refrigerado se expulsa inmediatamente al ambiente y su característica es que no es fijo, sino que es móvil. Su uso para lugares pequeños como habitaciones de casas [20].



Figura 2. Aire acondicionado portátil [19].

- **Sistema de aire acondicionado tipo SPLIT**

Este tipo de sistema es de evacuación directa, tiene su principal discrepancia con los equipos compactos es que poseen un compresor y un condensador en la parte externa. El evaporador se encuentra en la parte interna y están comunicados mediante un sistema de tuberías con refrigerante [20].



Figura 3. Aire acondicionado Split [22].

- **Sistema central separado**

Este tipo de sistema posee una descarga indirecta eso quiere decir que el aire circula por ductos y luego es expulsado a los diferentes lugares o espacios. Posee unidades evaporadoras y condensadoras que están conectadas mediante una ductería de dos líneas específicamente de cobre, la primera lleva el refrigerante y la segunda es para regresar al refrigerante [20].



Figura 4. Aire acondicionado central separado [23].

- **Sistema tipo paquete**

Este tipo de sistemas son de tipo central, quiere decir que el condensador y el evaporador se hallan en el mismo sistema. El aire se distribuye a los espacios a través de ductos. Se los suele utilizar más en lugares como bancos, oficinas, restaurantes, etc. [20].



Figura 5. Aire acondicionado tipo paquete [24].

- **Sistemas tipo chiller**

Este tipo de sistema posee una descarga indirecta eso quiere decir que el aire circula por ductos. El aire es expulsado a los diferentes lugares, está compuesto por un sistema central el cual se encarga de enfriar un fluido por lo general este fluido es agua, el cual se distribuye para la climatización de las áreas [20].



Figura 6. Aire acondicionado tipo chiller [25].

1.11. Equipos de climatización

Pita clasifica a los sistemas de climatización de dos formas:

- Por el fluido de distribución o calefacción, este puede ser aire, agua (hidrónicos) o combinados [26].
- Según se halla el equipo, puede ser junto (sistema unitario) o por separado (sistema central). Los sistemas unitarios por lo general son solo aire y los sistemas centrales pueden ser de cualquiera de los tres tipos ya mencionados [26].

1.11.1. Sistemas de solo aire

En estos sistemas Pita menciona que la esencia de estos sólo distribuye aire a los recintos. A continuación, se expondrán algunas de las variedades de estos sistemas.

- **Sistemas de zona única o unizonas**

Son los sistemas más simples de sólo aire. Una unidad primero prepara y después distribuye un volumen constante de aire por medio de un ducto a un grupo de recintos. No se pueden vigilar por separado las condiciones en cada uno de ellos [26].

- **Sistemas de zonas múltiples o multizonas**

Este sistema usa una unidad manejadora de aire, la cual consta de un serpentín de recalentamiento y un serpentín de enfriamiento situados en paralelo [26].

- **Sistemas de doble ducto**

Estos sistemas se diseñan como los sistemas de aire a alta velocidad, esto se hace para disminuir las dimensiones de los ductos. En esta distribución se colocan ductos cabezales los cuales estarán separados para aire frío y caliente, desde los serpentines de calefacción y enfriamiento en la unidad manejadora de aire [26].

- **Sistemas de volumen variable de aire (VAV)**

Los sistemas VAV poseen un solo ducto principal, el cual sale de la unidad manejadora de aire. Sin embargo, la cantidad de aire que se distribuye a cada ramal cambia [26].

1.11.2. Sistemas de solo agua

Los sistemas hidrónicos reparten desde la planta a los recintos agua caliente o helada. Desde la planta no raciona aire. Las unidades terminales hidrónicas, como la de ventilado y serpentín consisten en calentar o enfriar el aire del recinto. El aire de ventilación ingresa a través de la pared exterior y la unidad terminal. Estos sistemas ocupan menos espacio y son más económicos que los sistemas solo aire [26].

1.11.3. Sistemas combinados de aire y agua

Los sistemas que combinan aire-agua, reparten tanto agua helada y/o caliente y aire acondicionado desde una unidad central hacia las áreas individuales. Las unidades terminales de cada área calientan o enfrían dicho espacio. El empleo de este sistema unitario por lo general se observa en edificios altos o semejantes. Sus costos son relativamente altos [26].

1.12. Vivienda unifamiliar

Es un tipo de vivienda donde puede habitar una sola familia de manera estable o temporal, suele ser de uno o varios pisos, estas pueden hallar en conjuntos residenciales o en barrios. El espacio en la planta baja es muy importante, debido a que pueden existir personas de avanzada edad o con alguna capacidad especial que no les permita acceder a los pisos que se encuentra en la parte superior. Es por eso, que

un buen diseño de la planta baja ayudara a un mejor confort para los que habiten en ella [27].

1.13. Confort térmico

Pesántes indica que el confort térmico “tiene como finalidad ofrecer estándares referentes para así valorar las condiciones micro climáticas de un espacio y determinar si son adecuados térmicamente para el uso del ser humano” [28]. Para que esto se lleve a cabo se necesita de estándares de confort.

1.13.1. Factores de confort

Los factores de confort de acuerdo con los usuarios son:

- Biológico-fisiológicas
- Sociológicas
- Psicológicas

1.13.2. Parámetros ambientales o de confort

Características que se deben considerar sobre el espacio determinado:

- La temperatura del aire, humedad, radiación humedad y el movimiento del aire.
- Los parámetros de confort externos que interaccionan entre sí para la obtención del confort térmico y que se encuentran simbolizados en las Cartas Bioclimáticas [28].

1.14. Ahorro de energía

1.14.1. Estrategias de reducción de consumo energético en una vivienda

La técnica de ventilación se basa en el ingreso de aire limpio del exterior y la extracción de aire contaminado desde el interior, este proceso presume un considerable gasto energético, suele sobrepasar aproximadamente el 50 % del gasto del sistema de climatización. Para controlar esto existen dos sistemas, de los cuales se trata a continuación [2].

- **Recuperadores de calor**

Desde que se ha tomado conciencia en la importancia del ahorro energético se ha comenzado a usar en la parte industrial años atrás los dispositivos denominados recuperadores de calor, por eso se lo usa en la parte del confort. El recuperador de calor permite reusar el aire del interior a través de un sistema de ventilación y mediante el uso de un intercambiador de calor el aire del interior se extrae y el del exterior se introduce en el intercambiador de tal manera que no se mezclen, siendo así más eficiente [2].

- **Free cooling**

El sistema de “free-cooling” consiste en detener el sistema de producción de frío y usar la mayor cantidad de aire posible del exterior, cuando las condiciones externas sean mejores que las internas. Existen dos tipos de “free-cooling” el sensible y el entálpico. En el primer tipo exclusivamente se comparan las T del interior con las del exterior, en el segundo tipo se comparan las T ya mencionadas y también la humedad [2].

1.15. Eficiencia Energética

1.15.1. Eficiencia energética en la ventilación de doble flujo

El mayor uso de los sistemas de ventilación mecánica se da en los edificios, para así asegurar una correcta renovación de aire en los interiores y así estos espacios sean óptimos para la salud. Sin embargo, con el uso de los sistemas de doble flujo no solo se mejora la salud, se garantiza también una correcta circulación del aire, también se mejora la climatización y se puede dejar de depender de los sistemas tradicionales de calefacción o acondicionamiento.

Para lograr una climatización eficiente con la ventilación de doble flujo hay que tener en cuenta que este sistema utiliza dos ductos por los cuales circula aire donde uno es de admisión y otro de extracción, pudiendo así mejorar la temperatura de los interiores [29].

1.15.2. Funcionamiento de la eficiencia energética en la ventilación de doble flujo

Al usar recuperadores de calor y des humificadores en algunos casos en los sistemas de ventilación de doble flujo se garantiza la eficiencia energética. Además, se puede mermar el uso de los sistemas típicos de acondicionamiento y calefacción. Por tal

motivo la ventilación de doble flujo es usada frecuentemente en edificios o proyectos residenciales sostenibles como es el caso de las Passivhaus [29].

1.15.3. Características eficientes de la ventilación de doble flujo

Siber [29] afirma lo siguiente:

- Monitoreo permanente de las condiciones del aire en el hogar, temperatura, humedad y calidad de aire son medidos por sondas y sensores de esta manera se puede conocer las necesidades reales del aire.
- Admisión de aire con caudal constante. La introducción de aire en el hogar se realiza en función de la situación particular en cada momento. El caudal de entrada se adaptará según la necesidad.
- Aire limpio y de calidad. Al introducir el aire, se filtra antes de que entre en el hogar. El filtrado se adaptará al nivel de polución que incluya el aire. De la misma manera, el confort aumento puesto que evita el ingreso de partículas contaminantes, así como insectos.
- Extracción del aire en malas condiciones. El sistema también se adapta a la calidad del aire interior para saber qué cantidad se extraerá en todo momento. De esta forma, si hay contaminantes u olores desagradables los eliminara también con la ayuda de la ventilación de doble flujo se logra que no se empañen los cristales.
- Calefacción. Es una de las ventajas de eficiencia energética en la ventilación de doble flujo, ya que en invierno es posible calentar el aire que se introduce desde el exterior. La mejor manera para ello es mediante una unidad de recuperación de calor, que es capaz de calentar el aire del exterior simplemente con el consumo energético de los ventiladores. El aire que se introduce llega calefactado a las estancias.
- Refrigeración. De la misma manera, el aire en verano puede enfriarse al entrar en las estancias, por lo que evitamos el consumo de aire acondicionado con el mismo sistema.

Gracias a los sistemas de ventilación de doble flujo se puede evitar el uso de aparatos calefacción y acondicionamiento. Se calcula que se puede recuperar hasta en un 90 %

del calor gracias a este sistema, por lo cual es una de las mejores opciones en cuestión de eficiencia energética.

CAPÍTULO II

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

2.1. Características de una vivienda unifamiliar típica

La vivienda unifamiliar como ya se ha mencionado antes es aquella donde puede residir una sola familia de forma permanente o temporal, las construcciones en el Ecuador específicamente en Quito tienen como materiales principales de construcción al hormigón, hierro, bloque o ladrillo. En los últimos años esto ha cambiado un poco ya que muchas constructoras o personas construyen estructuras mixtas de acero y hormigón.

Las viviendas unifamiliares no siguen un patrón de diseño y distribución estas varían depende de la persona, pero posee características generales en las cuales se basará el proyecto:

- Vivienda unifamiliar construida en terreno propio del beneficiario, de tres dormitorios.
- Área mínima habitable de 57 m².
- Vivienda aislada o adosada.
- Contendrá espacios como: Tres habitaciones, sala, comedor, cocina, cuarto de baño, área de lavado y secado con espacio para tendedero de ropa.

Todas estas características se basan en el reglamento para validación de tipologías y planes masa para proyectos de vivienda de interés social del MIDUVI [30].

2.2. Ubicación

La ubicación para la ejecución de este proyecto de investigación es en cualquier parte del área urbana de la ciudad de Quito-Ecuador. La ciudad de Quito con una altura de 2 830 msnm y una superficie de 373 km² aproximadamente se encuentra localizada en la cordillera de los andes como se puede apreciar en la Fig.7. Se observa con un color amarillo el área urbana, el uso de este tipo de sistema de ventilación de doble flujo a nivel nacional no frecuenta su uso. También se lo realiza por motivos de la pandemia, en investigaciones sobre el uso de estos sistemas de doble flujo ayuda a reducir el contagio de COVID-19, Quito al ser capital del Ecuador tiene el índice más alto de

contagios. En varios países (España, Francia, Reino Unido, EE. UU, México, Colombia) este tipo de sistema en los últimos años ha cogido fuerza debido al gran ahorro energético que brinda los sistemas tradicionales de ventilación. También con la llegada de la pandemia este sistema gano mayor aceptación debido a que ayuda a merma los contagios del COVID-19 así lo afirma y dice Ezquerro “la ventilación de doble flujo ayuda a prevenir nuevos contagios del COVID-19, ya que renueva de manera mecánica y continua el aire, disminuyendo la diseminación de microgotas cargadas con el virus” [3].

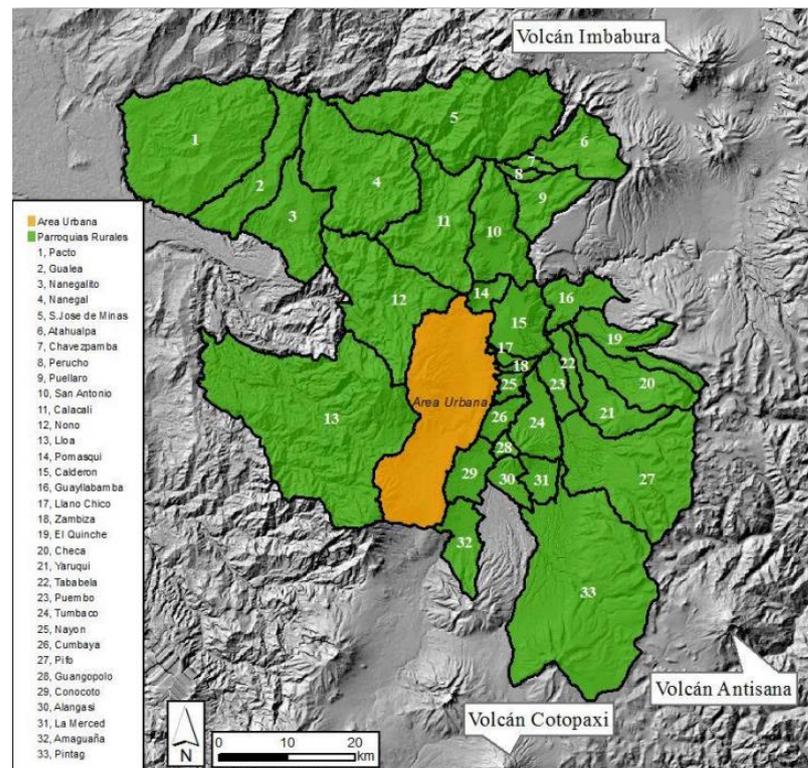


Figura 7. Mapa político del Distrito Metropolitano de Quito, parroquias urbanas y rurales [31].

2.3. Temperatura ciudad de Quito

El clima de la ciudad de Quito es subtropical que van desde climas húmedos y fríos hasta climas áridos dependiendo el mes del año, la temperatura promedio de la ciudad de Quito varía desde los 10 °C a los 28 °C a continuación se observa la variación de temperatura en los últimos 30 años según INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología E Hidrología) y OAQ (Observatorio Astronómico de Quito).

2.3.1. Análisis mensual del INAMHI

En la tabla 4 se observa la variación de la temperatura en la ciudad de Quito en los diferentes meses del año en el periodo de 1990 a 2010. Los datos de la tabla 4 son datos recientes de la estación meteorológica que se encuentra en la Universidad Politécnica Salesiana, pero con datos faltantes como la temperatura mínima media, máxima media y absoluta.

Tabla 4. Valores medios y absolutos INAMHI (1990-2010) [32]

	Tm	Txm	Tnm	Tnabs	Txabs	HR	RR
Enero	14,9	21,3	9,9	5,5/2001	27,3/2010	72,3	85,9
Febrero	14,9	21,1	10,2	4,9/1993	30/2010	72,8	109,1
Marzo	14,8	21	10,2	6,0/1990	25,5/2009	74,7	153,1
Abril	14,9	21	10,3	6,5/1993	25/2010	75,5	168
Mayo	15,1	21,1	9,8	6,2/2002	26,2/2004	73,1	102,3
Junio	15,3	21,3	10	6,0/2001	25,5/1993	66,3	39,1
Julio	15,2	21,8	9,6	5,2/1990	24,9/2003	61,3	21,6
Agosto	15,5	22,4	9,8	6,3/1994	29,5/2007	58,7	22,665
Septiembre	15,5	22,7	9,5	5,2/1994	29,7/2004	63,2	61,9
Octubre	15	22,3	9,6	0,4/2010	27/2006	70	111,7
Noviembre	14,6	21,4	9,6	3,2/1996	26,7/2009	74	1500,5
Diciembre	14,7	21,5	9,9	6,0/2010	25,7/2009	74	107,9

*Valores de T expresados en °C

Leyenda de Tabla 4

- Tm: Temperatura media
- Tnm: Temperatura mínima media
- Txm: Temperatura máxima media
- Tnabs: Temperatura mínima absoluta
- Txabs: Temperatura máxima absoluta
- HR: Humedad relativa
- RR: Precipitación

Tabla 5. Valores de temperatura INAMHI [33]

Fecha Hora (GMT- 5)	Humedad relativa del aire (%) INST	Precipitación (mm) SUM	T aire (°C) INST	T aire (°C) MAX	T aire (°C) MIN
9/7/2021 14:00	59.6		16.3		
9/7/2021 13:00	49.6	0	18.1	18.1	16.4
9/7/2021 12:00	60.3	0	16.8	18.2	16.7
9/7/2021 11:00	54.1	0	17	17	15.3
9/7/2021 10:00	52.8	0	16.7	19.2	16.6
9/7/2021 9:00	58.4	0	16.8	18.6	15.4
9/7/2021 8:00	71.2	0	13.9	16.6	13.8
9/7/2021 7:00	87.3	0	11.3	13.9	11.3
9/7/2021 6:00	100	0	9.7	11.4	9.7
9/7/2021 5:00	100	0	9.6	9.7	8.9
9/7/2021 4:00	100	0	9.9	10	9.6
9/7/2021 3:00	100	0.1	9.9	9.9	9.4
9/7/2021 2:00	100	0	10.6	10.6	9.8
9/7/2021 1:00	100	0	11	11.2	10.6
9/7/2021 0:00	94.2	0.1	11.8	11.8	11

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

2.3.2. Comparación mensual de las temperaturas

Considerando las tomas de muestras de las dos estaciones meteorológicas INAMHI y OAQ se podrá obtener las temperaturas a usar en los cálculos posteriormente y así se tiene:

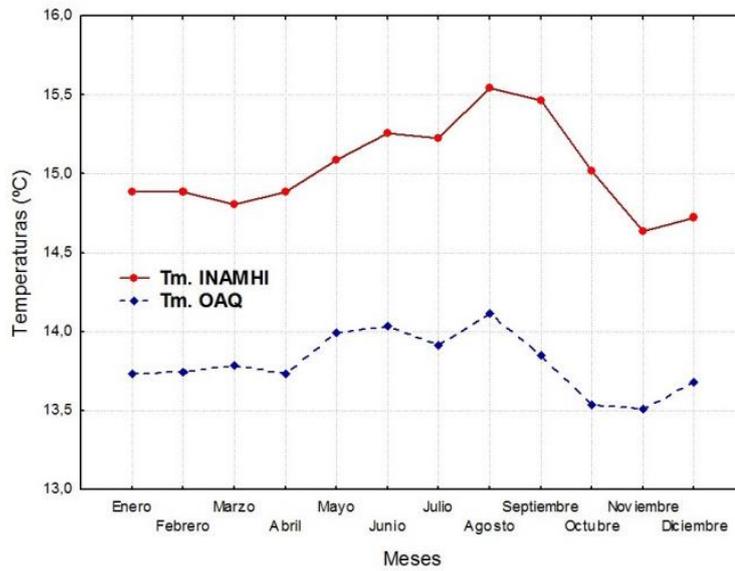


Figura 8. Comparación entre las temperaturas medias mensuales. OAQ (71-00), INAMHI (90-10). [32]

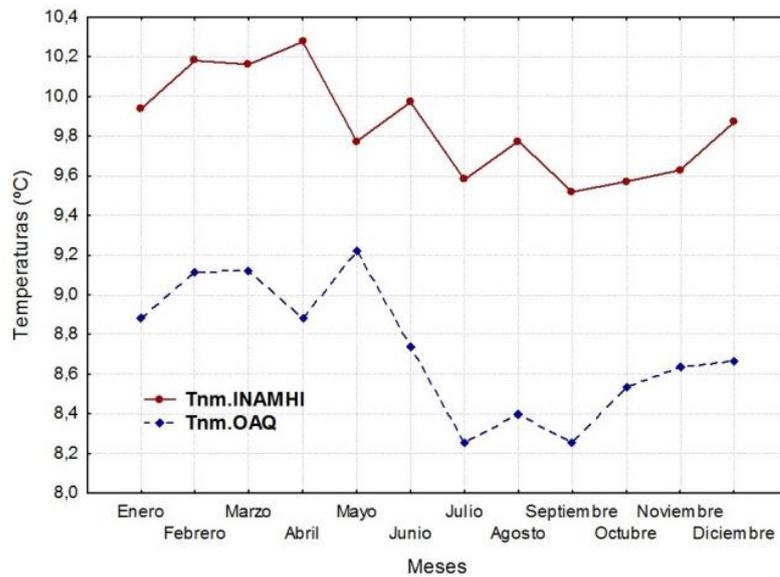


Figura 9. Comparación entre las temperaturas mínimas medias mensuales. OAQ (71-00), INAMHI (90-10) [32].

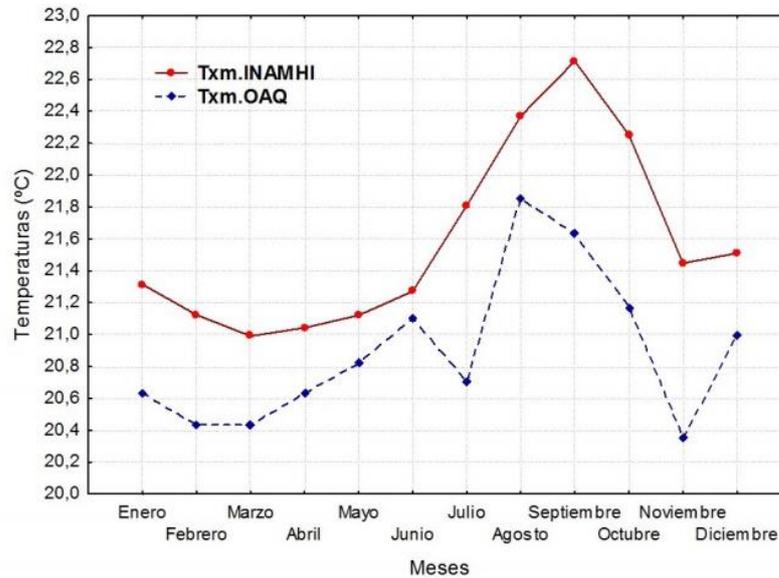


Figura 10. Comparación entre las temperaturas máximas medias mensuales. OAQ (71-00), INAMHI (90-10) [32].

Se concluye que las temperaturas máximas, mínimas y medias son 22.7, 9.9 y 15 °C respectivamente.

2.4. Requerimientos para la renovación de aire

Los requerimientos se los puede conseguir en la Norma Ecuatoriana de Construcción en la parte de Eficiencia energética en edificios residenciales en la sección 4.4.1 Requerimientos de aire fresco para vivienda [34], y de esta sección utilizar la ecuación 1 que permitirá tener el requerimiento de aire fresco en litros por segundo.

$$Q_{tot} = 0,15A_{piso} + 3,5(N_{dorm} + 1) \quad Ec.1$$

Donde:

- Q_{tot} = requerimiento de aire fresco (l/s)
- A_{piso} = área de la vivienda (m²)
- N_{dorm} = número de dormitorios (no menos de 1)

Con la ecuación 1 se podrá tener un cálculo para las renovaciones de aire, sin embargo, para los cálculos del sistema VMC hay que realizar un cálculo aún más extenso en el cual se optará por usar las tablas de renovación de aire tabla 6 y figura 11 de Soler & Palau así mismo el cálculo de desarrollo.

Tabla 6. Valores de renovaciones hora [35].

Renovación del aire en locales habilitados	N.º Renovaciones/hora
Catedrales	0,5
Iglesias modernas (techos bajos)	1-2
Escuelas, aulas	2-3
Oficinas de bancos	3-4
Cantinas (de Fábricas o militares)	4-6
Hospitales	5-6
Oficinas generales	5-6
Bar del hotel	5-8
Restaurantes lujosos (espaciosos)	5-6
Laboratorios (con campanas localizadas)	6-8
Talleres de mecanizado	5-10
Tabernas (con cubas presentes)	10-12
Fábricas en general	5-10
Salas de juntas	5-8
Aparcamientos	6-8
Salas de baile clásico	6-8
Discotecas	10-12
Restaurante medio (un tercio de fumadores)	8-10
Gallineros	6-10
Clubs privados (con fumadores)	8-10
Café	10-12
Cocinas domésticas (mejor instalar campana)	10-15
Teatros	10-12
Lavabos	13 - 15
Sala de juego (con fumadores)	15 - 18
Cines	15-18
Cafeterías y Comidas rápidas	15 - 18
Cocinas industriales (indispensable usar campana)	15 - 20

Continúa...

Renovación del aire en locales habilitados	N.º Renovaciones/hora
Lavanderías	20 - 30
Fundiciones (sin extracciones localizadas)	20 - 30
Tintorerías	20 - 30
Obradores de panaderías	25 - 35
Naves industriales con hornos y baños (sin campanas)	30 - 60
Talleres de pintura (mejor instalar campana)	40 - 60

Fuente: Soler & Palau

Tabla 7. Caudales para viviendas sistemas VMC [36].

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	Locales secos			Locales húmedos	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Sala de estar y comedores	Mínimo en total	Mínimo por local
0 o 1 dormitorio	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	8	8	24	7
3 o más dormitorios	8	10	10	33	8

Fuente: Soler & Palau

Para la metodología del cálculo se recomienda que la circulación de aire debe ser desde las partes más secas a las más húmedas, para ello hay que tener en cuenta que los dormitorios, comedores y salas deben tener aberturas de admisión (rejillas de admisión) y los baños, y cocina deben tener aberturas de extracción (bocas de extracción). Se debe garantizar el paso en las particiones entre admisión y extracción [37].

El caudal requerido de ventilación será el mayor valor obtenido en el cálculo para la admisión (paso 1) o para la extracción (paso 2). Se tendrán en cuenta las siguientes reglas [37]:

- Las rejas de admisión se dimensionarán teniendo presente el caudal total de ventilación requerido.
- Las rejas de extracción serán auto ajustables para equilibrar la instalación.

Paso 1: Captación a través de las zonas secas

Paso 2: Evacuación a través de las zonas húmedas

Paso 3: Corrección de caudales considerando instalación de doble flujo.

2.5. Presión y velocidades

2.5.1. Presión

La presión se la conoce como la fuerza que efectúa el aire sobre una superficie, existen 3 tipos de presiones: estática, dinámica y total.

2.5.1.1. Presión estática

Es aquella presión donde las fuerzas actúan dentro de un ducto en la misma dirección, en dirección contraria y de forma perpendicular. Es positiva si es superior a la atmosférica o negativa si está por debajo de ella [38].

2.5.1.2. Presión dinámica

Es aquella presión que apresura el aire desde cero, se origina en la dirección del aire, la presión dinámica siempre es positiva y se la puede relacionar con las siguientes fórmulas:

$$P_d = \frac{V^2}{16} (mmca) \quad V = 4\sqrt{P_d (m/s)} \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

- Pd es la presión dinámica
- V es la velocidad del aire

2.5.1.3. Presión total

Es la presión que efectúa el aire sobre un cuerpo que se opone al movimiento.

$$P_t = P_e + P_d \quad \text{Ec.3}$$

También se define como la sumatoria de la presión dinámica y estática [38].

2.5.2. Velocidades de aire

La velocidad del aire es una variable que se debe considerar al momento de las sensaciones térmicas, puesto a que esta podrá causar confort en las personas que se encuentran en el lugar a ventilar o podrán sentir molestias ya sea de temperatura o ruido. Es necesario conocer las velocidades óptimas, en la figura 12 y 13 se puede apreciar las diferentes velocidades y los efectos sobre las personas.

Tabla 8. Efectos de la velocidad del aire [38].

Velocidad del aire (m/s)	Reacción de las personas	NR/H
0 a 0,08	Quejas por aire estancado	Ninguna
0,12	Ideal, favorable	Todas las aplicaciones
0,12 a 0,25	Favorable con reservas	
0,35	Los papeles se levantan	No en oficinas
0,4	Máximo para personas que se desplazan despacio	Almacenes y comercios
0,40 a 15	Instalaciones acondicionamiento grandes espacios	Refrigeración localizada

Fuente: Soler & Palau

Tabla 9. Velocidades de aire atendiendo al ruido [38].

Bocas de captación	m/s
Habitaciones de residencias y hoteles	1,2 a 2
Zonas públicas comerciales:	
A niveles de ocupantes en movimiento	3 a 4
Cerca de personas sentadas	2 a 3
Bocas en partes bajas de puertas	2 a 3,5

Continúa...

Zonas públicas comerciales:	
Persianas en las paredes	2,5 a 5
Captaciones a nivel de techo	4 y más
Naves industriales	5 a 10
Zonas públicas comerciales:	
Sistemas de alta velocidad	2 a 4
Bocas de Impulsión	m/s
Estudios de radiodifusión, cabinas de grabación	1,5 a 2,5
Dormitorios de hotel	2,5 a 3
Residencias, salones regios, restaurantes de lujo	2,5 a 3,5
Iglesias, antesalas importantes	2,5 a 3,5
Apartamentos, viviendas	2,5 a 4
Oficinas privadas tratadas acústicamente	2,5 a 4
Teatros	4
Oficinas particulares no tratadas	3,5 a 5
Salas de cine	5
Oficinas públicas, restaurantes	5 a 7
Almacenes comerciales, plantas altas	7,5
Sistemas de alta velocidad	3 a 8
Fábricas	5 a 10
Almacenes comerciales, plantas bajas	10

Fuente: Soler & Palau

2.6.Cargas térmicas para climatización

Se entiende como carga térmica a la cantidad de energía calorífica que se encuentra en un área la cual se la puede mantener o extraer para mantener condiciones como temperatura, humedad.

Las cargas térmicas se las puede clasificar de dos maneras como cargas térmicas sensibles y cargas térmicas latentes. A continuación, se describen cada una de ellas y las ecuaciones que se van a utilizar sugeridas por Soler & Palau [39].

2.6.1. Cargas térmicas sensibles

Las cargas térmicas sensibles son generadas principalmente por la diferencia de T y la radiación térmica como por ejemplo transmisión a través de cerramientos translucidos, radiación solar, cerramientos opacos, ocupación del área, maquinaria, iluminación [39].

Para los cálculos de las cargas sensibles podemos utilizar la siguiente ecuación:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sai} \quad \text{Ec.4}$$

Donde:

- Siendo Q_{sr} el valor de la carga sensible originada por la transmisión a través de cerramientos translúcidos, expresado en W.
- Siendo Q_{str} el valor de la carga sensible por transmisión a través de paredes y techos exteriores, expresado también en W.
- Siendo Q_{st} el valor de la carga sensible por transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores, en W.
- Siendo Q_{si} el valor de la carga sensible transmitida por infiltraciones de aire exterior, en W.
- Siendo Q_{sai} el valor de la carga sensible debida a aportaciones internas, en W [39].

Cada termino mencionado anteriormente posee su propia fórmula para poder calcular su valor.

2.6.1.1. Transmisión a través de paredes y techos exteriores

La carga por transmisión a través de paredes y de techos exteriores Q_{str} se lo calcula con la ecuación obtenida de Soler & Palau [39]:

$$Q_{str} = K \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i) \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

- Q_{str} es la carga por transmisión a través de paredes y techos exteriores, en W.
- Siendo K el coeficiente de transmisión térmica del cerramiento ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$), también llamado transmitancia térmica.
- Siendo S la superficie del cerramiento, expresado en m^2 .
- Siendo T_{ec} la temperatura de diseño al otro lado del cerramiento, expresado en $^\circ C$.
- Siendo T_i la temperatura interior del diseño del local, expresado en $^\circ C$ [39].

Para la T exterior de diseño se debe considerar la temperatura media (T_{me}) y la temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$), ambos del mes más cálido, de ahí se ingresan los datos en la ecuación 6 [40]. Dicha ecuación se aplica para la parte de Europa, al no haber datos para la parte de América se procede a utilizar como referencia para poder realizar los cálculos.

$$T_e = 0,4 \cdot T_{me} + 0,6 \cdot T_{m\acute{a}x} \quad \text{Ec.6}$$

Finalmente, con la tabla 10 se calculará el valor de la temperatura de diseño.

Tabla 10. Temperatura exterior de cálculo [40].

Orientación	Temperatura exterior de cálculo (T_{ec}) en $^\circ C$
Norte	$0,6 \cdot T_e$
Sur	T_e
Este	$0,8 \cdot T_e$
Oeste	$0,9 \cdot T_e$
Cubierta	$T_e + 12$
Suelo	$(T_e + 15) / 2$
Paredes interiores	$T_e \cdot 0,75$

Fuente: Ingemecanica

2.6.1.2. Transmisión a través de paredes y techos interiores

La carga por transmisión a través de techos y paredes interiores Q_{st} se expresa como muestra la ecuación 7 [40]:

$$Q_{st} = K \cdot S \cdot (T_e - T_i) \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

- Q_{st} es la carga por transmisión a través de cerramientos interiores, en W.
- K es el coeficiente de transmisión térmica del cerramiento ($\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$), también llamado transmitancia térmica.
- S es la superficie del cerramiento, expresado en m^2 .
- T_e es la temperatura de diseño del cerramiento, en $^\circ\text{C}$.
- T_i es la temperatura interior del diseño del local, en $^\circ\text{C}$.

2.6.1.3. Transmisión de radiación solar a través del cristal

La transmisión de radiación solar Q_{sr} se da a través de la radiación solar que traspasa las partes de cristal transmitiendo así calor e incrementado la temperatura en la parte interna del local [40]. La carga térmica se la pueda calcular como:

$$Q_{sr} = S \cdot R \cdot F \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

- Q_{sr} es la carga térmica por radiación a través del cristal, en W.
- R es la radiación solar que atraviesa la superficie, en W/m^2 .
- F es el factor de corrección de la radiación en función del tipo de vidrio empleado en la ventana, efectos de sombras que pueda existir, etc [40].

2.6.1.4. Transmisión por infiltraciones del aire exterior

La carga por transmisión por infiltraciones del aire exterior Q_{si} se calcula mediante la ecuación 9 [40]:

$$Q_{si} = V \cdot \rho \cdot C_{e,aire} \cdot \Delta T \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

- Q_{si} es la carga térmica por infiltración y ventilación de aire exterior, en W.
- V es el caudal de aire infiltrado y de ventilación, en m³/s.
- ρ es la densidad del aire, de valor 1,18 kg/m³.
- $C_{e,aire}$ es el calor específico del aire, de valor 1 012 J/kg °C.
- ΔT es la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior [40].

2.6.1.5. Transmisión por aportaciones internas

Las cargas por transmisión por aportaciones internas es la suma de 3 tipos de cargas, ganancia interna por iluminación, ganancia interna por ocupantes y ganancia interna por varios aparatos que se encuentren en el local. Y se la aprecia de mejor forma en la ecuación 10 [40]:

$$Q_{sai} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se} \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

- Q_{sil} es el valor de la ganancia interna de carga sensible debida a la iluminación interior del local (W) y se la expresa como muestra la ecuación 11 y 12 obtenida de la página de Ingeniería Mecánica [40]:

a. Lámparas Incandescentes

$$Q_{sil} = n \cdot Pot_{Lamp,Incandescente} \quad \text{Ec.11}$$

$n \rightarrow$ número de lámparas colocadas

b. Lámparas de descarga o fluorescentes

$$Q_{sil} = 1,25 \cdot n \cdot Pot_{Lamp,fluorescente} \quad \text{Ec.12}$$

$n \rightarrow$ número de lámparas colocadas

La suma de las dos cargas nos da el total de la ganancia interna por luminarias.

- Q_{sp} es la ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes del local (W). El cálculo se lo realiza mediante la ecuación 13 [40]:

$$Q_{sp} = n \cdot C_{sensible,Per} \quad \text{Ec.13}$$

Donde n es el número de persona que se encuentran en el local y $C_{sensible,Per}$ es el calor sensible de la persona esta se la puede obtener de tablas.

- Q_{se} es la ganancia interna de carga sensible por diversos aparatos existentes en el local, como equipos eléctricos, ordenadores, etc. (W) [40]. Para el cálculo de estas cargas se tiene en cuenta de la potencia íntegra de trabajo de los equipos y máquinas que se encuentran en el local, todas estas se transforman en calor sensible.

Para todos los equipos y electrodomésticos hay que tener en cuenta que no todos están funcionando a la par, por ende, se le impondrá un coeficiente de simultaneidad del 0,75 a la adición de las potencias obtenidas.

2.6.2. Cargas térmicas latentes

Para los cálculos de las cargas térmicas latentes se tiene a causa de infiltraciones de aire exterior y cargas térmicas por ocupación.

2.6.2.1. Carga latente causada infiltraciones de aire del exterior

La carga latente por infiltraciones de aire del exterior se expresa como muestra en la ecuación 14 [40]:

$$Q_{li} = V \cdot \rho \cdot C_{l,agua} \cdot \Delta W \quad \text{Ec.14}$$

Donde:

- Q_{li} es la carga térmica latente por ventilación de aire exterior, en W.
- $C_{l,agua}$ es el calor específico del agua, de valor 2 257 kJ/kg.
- ΔW es la diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior e interior [40].

2.6.2.2. Carga latente por ocupación

La carga por calor latente por ocupación se expresa como:

$$Q_p = n \cdot C_{latente,Per} \quad \text{Ec.15}$$

Donde:

- n número de personas en el local.
- $C_{latente,Per}$ calor latente de personas y actividad (valores en tablas).

2.7. Parámetros de confort y calidad de aire en viviendas unifamiliares

La Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción o bien conocida como ASHRAE se encarga de especificar los parámetros de ventilación aptos para los ocupantes de la vivienda con el objetivo de reducir al mínimo los posibles efectos adversos para la salud, estos parámetros son las tasas mínimas de ventilación y la calidad del aire del anterior [41].

La ASHRAE en su reglamento 62-2004 ha determinado el flujo de aire exterior mínimo recomendado y este ha sido establecido así [41]:

- Rango de 15 a 60 pies cúbicos por minuto (CFM's) por persona
- Gamas más comunes 15 - 35 pies cúbicos por minuto por persona
- Gama media 15-20 cfm por persona

2.8. Equipos y elementos

Para el diseño de este sistema se considera usar los VMC (Ventiladores Mecánicos Controlados) de doble flujo, por ser una buena opción que garantiza la calidad del aire, cuyo funcionamiento ya fue detallado anteriormente. Gracias al núcleo del recuperador se puede recuperar hasta el 95 % de la energía del aire de expulsión, siguiendo así el objetivo principal del diseño de este sistema [29]. Los elementos adicionales que se necesitarán son los siguientes:

Tabla 11. Listado de elementos del sistema [29].

Elementos

Conductos	Regular Rectangular Circular Atenuador acústico
Continúa	
Elementos	
Conductos	Flexible aislado
Empalme	Rectangular Circular Mixto Mixto en “T”
Codo	Circular Rectangular Mixto vertical de 90° Rectangular vertical de 90° Rectangular vertical de 45° Rectangular horizontal de 90° Rectangular horizontal de 45° Circular de 90° Circular de 45° Flexible rectangular Flexible circular
Adaptador	Rectangular
Unión “T”	Mixta vertical Circular Rectangular horizontal
Adaptador	Macho Múltiple
Ventanilla	Salida rectangular Salida mixta Salida redonda
Abrazadera	Rectangular Cerrada rectangular

Clip fijación para resistencia encaje
Bocas insuflación/extracción
Reguladores de caudal red de ventilación

Fuente: Siber

2.8.1. Control y automatización

Los equipos que se pueden utilizar para el diseño de este sistema pueden ser los que cuenten con elementos y/o componentes inteligentes, los cuales son integrados a la domótica de cada vivienda, facilitando así su manejo.

Los elementos que forman parte de la automatización de los VMC [29] son los siguientes:

- Mando pulsador inalámbrico
- Mando multicontrol inalámbrico
- Sensor humedad inalámbrico
- Sensor CO₂ inalámbrico

Incluso en el mercado existen ya VMC que pueden ser controlados desde un Smartphone, con tan solo una aplicación.

2.9. Consumo y evaluación energética de los sistemas de climatización

AFEC habla sobre las instalaciones térmicas y menciona lo siguiente:

[...] las instalaciones térmicas deben: diseñarse, calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse de manera que se merme el consumo de energía convencional. En consecuencia, deben: utilizar sistemas eficientes, permitir la recuperación de energía, utilizar energías renovables, reducir la emisión de gases de efecto invernadero. [42].

Es importante considerar una serie de parámetros para controlar el consumo energético de los sistemas de climatización, desde que adquirimos los equipos hasta su uso diario. Los parámetros por considerar son los siguientes: las características del equipo (recomendable un equipo de alta eficiencia A+++ con un SEER de rendimiento), que cuente con tecnología inverter, u opciones de control y regulación.

- Etiqueta energética

La etiqueta energética [43] es una herramienta informativa, la cual nos ayuda para cumplir con uno de los parámetros mencionados. Nos permite conocer la eficiencia energética de los equipos que se desean adquirir. En esta etiqueta se encuentra una letra de la A-F seguidas del signo +. Los equipos más eficientes van de la siguiente manera: A+++, A++, A+, B lo que significa que tienen un consumo moderado. Por otro lado, los equipos con clases C y D significa que son de alto consumo y los E y F no son recomendados para ser usados a diario. A pesar de ser equipos más baratos, presentan un mayor consumo de energía cuando están funcionando de manera normal para cumplir con normalidad su función.

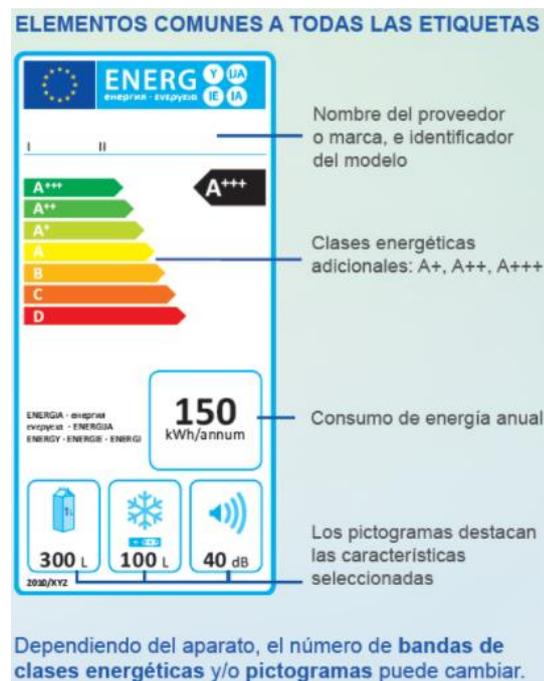


Figura 11. Etiqueta energética. [43]

El consumo eléctrico según Loarca “puede venir indicado como consumo, input power, etc. y si el equipo es una bomba de calor dará el dato de consumo en calefacción y en refrigeración” [8]. No se debe mezclar los términos de potencia térmica con eléctrica, aunque ambos están dados en kW, se debe reconocer que el consumo eléctrico será alrededor de 1/3 de la carga térmica.

Se puede manejar la siguiente tabla como una guía para definir el valor de la potencia térmica de un equipo considerando solo la superficie del local, aunque esto no presenta resultados tan precisos, por lo tanto, se debe usar con moderación.

Tabla 12. Valores de potencia eléctrica en base a la superficie [8].

Superficie [m²]	Pot. térmica [kW]	Pot. eléctrica [kW]
0-30	2,5	0,5-0,8
30-40	3,5	0,9-1,2
40-60	5	1,5-1,9
60-90	7,1	2-2,6
90-120	10	2,7-3,7
120-140	12,5	3,9-4,4
140-180	14	4,3-5,6

Elaborado por: Carlos Loarca

Finalmente, una vez conocida la potencia eléctrica del equipo, se puede establecer cuánto va a costar hacerlo funcionar. Se deben tener en cuenta el tipo de tecnología con el que estos cuentan ya sea Inverter o no Inverter, teniendo en cuenta que se recomienda usar estos equipos para obtener un ahorro energético.

- **Equipos inverter**

En este caso el equipo modula la potencia térmica, por lo tanto, el consumo eléctrico también es variable [8].

- **Equipos no inverter**

En este caso los equipos si consumen casi toda su potencia eléctrica nominal hasta que se alcance la temperatura de consigna. Una vez conseguida esta temperatura el equipo arrancará o se detendrá las veces que sean necesarias para mantenerla.

CAPÍTULO III

CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS, RENOVACIONES DE AIRE Y SELECCIÓN DE EQUIPO

Para poder realizar los cálculos de cargas térmicas se ha optado por tomar dos situaciones de análisis en las siguientes condiciones, se realizará el cálculo para las épocas de invierno y verano, esto ya que se debe tener en cuenta la época más desfavorable así mismo la hora de estudio para poder tener valores como radiación solar será a las 12 horas de la mañana donde su radiación es la mayor.

3.1. Renovaciones de aire

En base a la ecuación 1 tomada de la Norma Ecuatoriana de Construcción eficiencia energética en edificaciones residenciales se calculó el requerimiento mínimo de aire. Tanto el área como el número de dormitorios se hicieron en base a los planos que se anexarán al final [18].

$$Q_{tot} = 0,15A_{piso} + 3,5 \cdot (N_{dorm} + 1) \quad Ec.1$$

Donde:

$$A_{piso} = 90m^2$$

$$N_{dorm} = 3 \text{ dormitorios}$$

Reemplazando los datos en la Ec.1

$$Q_{tot} = 0,15 \cdot (90m^2) + 3,5 \cdot (3 + 1)$$

$$Q_{tot} = 27,5 \frac{l}{s} \approx 99 \frac{m^3}{h}$$

Se obtiene un caudal de 27,5 l/s o a su vez transformando un caudal de 99 m³/h, los cuales se utilizarán para realizar el cálculo de las cargas térmicas específicamente en las infiltraciones de aire.

3.2. Cálculo de caudales para un sistema de doble flujo con recuperador de calor

En el cálculo de caudales en un sistema de doble flujo con recuperador de calor se debe calcular los caudales en zonas seca y zonas húmedas teniendo en cuenta que se debe tener un caudal en zonas húmedas de 86,4 m³/h. Siguiendo la metodología de cálculo mencionado en el punto 2.3 se tiene:

Tabla 13. Caudales VMC zonas secas

Zonas secas	Cant.	Caudal unitario (m³/h)	Caudal total (m³/h)
Dormitorio máster	1	28,8	28,8
Dormitorios Independientes	2	14,4	28,8
Sala-comedor	1	36	36
Caudal zonas secas			93,6

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 14. Caudales VMC zonas húmedas

Zonas húmedas	Cant.	Caudal unitario (m³/h)	Caudal total (m³/h)
Cocina	1	28,8	28,8
Baños	3	28,8	86,4
Caudal zonas húmedas			115,2
Min. exigido			86,4

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Los valores de caudales unitarios se los tomaron de la Figura 11 de la sección de tipo de vivienda de 3 dormitorios o más.

El caudal de zonas húmedas al superar el mínimo exigido se procede a tomar el mayor valor en este caso el valor de 115,2 m³/h. Puesto que los caudales de zona secas y zonas húmedas son diferentes se procede a realizar una corrección de caudales, esto se realiza por motivo que los caudales tanto de admisión (zonas secas) y extracción (zonas húmedas) son diferentes.

Se debe ir incrementando poco a poco los valores de los caudales unitarios de cada zona para así poder llegar a tener el mismo caudal en las dos zonas.

Tabla 15. Corrección de caudales

Zonas	Cant.	Admisión	Total admisión (m³/h)	Extracción	Total extracción (m³/h)
Dormitorio máster	1	30	30		
Dormitorios	2	22	44		
Sala-comedor	1	45	45		
Cocina	1			30	30
Baños	3			30	90
		Total	119	≈	120

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Con los caudales ya corregidos se procede a tomar un caudal de extracción de 119 m³/h.

3.3. Cálculo de cargas térmicas sensibles y latentes para verano

Las cargas térmicas como se mencionó anteriormente son el fenómeno por el cual se modifica la temperatura interior de un recinto o local. Las cargas térmicas por calcular en el proyecto son cargas sensibles y latentes, para poder hacer una comparación del calor que va a ser eliminado mediante el sistema de doble flujo tanto como en invierno y verano. En el desarrollo de los cálculos se va a ir especificando medidas y tablas de donde se fueron obteniendo los resultados.

Para realizar los cálculos se ha previsto describir los valores a utilizar en los cálculos como son valores de propiedades de paquetes constructivos, áreas de piso, paredes y el techo de la vivienda unifamiliar, temperaturas de diseño.

Tabla 16. Propiedades de paquetes constructivos [34].

Elemento	Paquete constructivo	Componentes	Espesor (cm)	Densidad (kg/m³)	Conductividad (W/m K)	Factor U (W/m²K)
Paredes	Bloque de concreto (15cm)	Enlucido exterior	1	1300	0,5	2,35
Elemento	Paquete constructivo	Componentes	Espesor (cm)	Densidad (kg/m³)	Conductividad (W/m K)	Factor U (W/m²K)
Paredes	Bloque de concreto (15cm)	Bloque de concreto	15	1040	0,62	
		Enlucido interior	1	1760	0,72	
Techos	Losa de hormigón	Hormigón Armado	10	2400	2,3	4,7
Piso	Hormigón	Piedra	10	2880	3,49	3,2
		Polietileno	0,04	920	0,33	
		Hormigón	5	1800	1,35	3,2
Puerta	Metal	Acero	0,03	7800	50	
		Aire (R0,15 m ² K/W)	0,1	-	-	3,124
		Acero	0,03	7800	50	
	Madera sólida	Roble pintado	4,2	700	0,19	2,56
Ventanas	Vidrio simple (3mm)	Vidrio transparente	0,3	-	0,9	5,89

Fuente: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda

Tabla 17. Área de muros, piso y techo del primer y segundo piso

Áreas primer piso				
Ubicación	Muro [m²]	Ventanas [m²]	Puertas [m²]	Área neta [m²]
Norte	14,26	5,04	1,68	7,54
Sur	14,26	3,01	1,68	9,57
Este	16,1	0	0	16,1
Oeste	16,1	0	0	16,1
Suelo	43	0	0	43

Continúa...

Áreas segundo piso				
Ubicación	Muro [m²]	Ventanas [m²]	Puertas [m²]	Área neta [m²]
Norte	14,26	5,6	0	8,66
Sur	14,26	3,57	0	10,69
Este	17,986	0	0	17,986
Oeste	17,986	0	0	17,986
Techo	47	0	0	47
Suelo sin voladizo	43	0	0	43

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

3.3.1. Cálculo de cargas térmicas sensibles de transmisión y radiación a través de paredes y techo

Los valores de T_{me} y T_{max} se obtuvieron de la tabla 4 correspondiente al mes de julio-agosto para así poder calcular las temperaturas de diseño exteriores en las diferentes orientaciones.

La temperatura deseada al interior de la vivienda tiene el valor de 18 °C, ya que según los valores de confort térmico para una persona lo óptimo ronda entre los 18 °C a 21 °C. Para calcular la temperatura de diseño exterior se parte de la ecuación 6 y se tiene:

$$T_e = 0,4 \cdot T_{me} + 0,6 \cdot T_{m\acute{a}x}$$

$$T_e = 0,4 \cdot (15,5^\circ\text{C}) + 0,6 \cdot (22,7^\circ\text{C})$$

$$T_e = 19,82^\circ\text{C}$$

Partiendo de la temperatura de dise\~no se procede a encontrar las temperaturas en cada direcci3n como se establece en la Tabla 12. Se obtiene:

Norte

$$T_{ecn} = 0,6 \cdot T_e$$

$$T_{ecn} = 0,6 \cdot (19,82^\circ\text{C})$$

$$T_{ecn} = 11,89^\circ\text{C}$$

Sur

$$T_{ecs} = T_e$$

$$T_{ecs} = 19,82^\circ\text{C}$$

Este

$$T_{ece} = 0,8 \cdot T_e$$

$$T_{ece} = 0,8 \cdot (19,82^\circ\text{C})$$

$$T_{ece} = 15,856^\circ\text{C}$$

Techo

$$T_{ect} = T_e + 12$$

$$T_{ect} = (19,82^\circ\text{C}) + 12$$

$$T_{ect} = 31,82^\circ\text{C}$$

Oeste

$$T_{eco} = 0,9 \cdot T_e$$

$$T_{eco} = 0,9 \cdot (19,82^\circ\text{C})$$

$$T_{eco} = 17,838^\circ\text{C}$$

Suelo

$$T_{esu} = \frac{T_e + 15}{2}$$

$$T_{esu} = \frac{19,82^\circ\text{C} + 15}{2}$$

$$T_{esu} = 17,91^\circ\text{C}$$

A continuaci3n, se realiza un cuadro de resumen para poder especificar la diferencia de temperaturas.

Tabla 18. Temperaturas para dise\~no verano

Temperaturas [$^\circ\text{C}$]		
Temperatura media m\~axima	Tme	15,5
Temperatura m\~axima	Tmax	22,7
Temperatura deseada interior	Ti	18
Temperatura de dise\~no exterior	Te	19,82
Temperatura de dise\~no direcci3n Norte	Tecn	11,892
Temperatura de dise\~no direcci3n Sur	Tecs	19,82
Temperatura de dise\~no direcci3n Este	Tece	15,856
Temperatura de dise\~no direcci3n Oeste	Teco	17,838

Temperatura de diseño techo	Tect	31,82
Temperatura de diseño suelo	Tesu	17,91

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

El diferencial de temperatura no es más que la diferencia entre la T de diseño exterior en las diferentes orientaciones y la T interna deseada.

$$\Delta T = T_{ecn} - T_i$$

$$\Delta T = 11,89^{\circ}C - 18^{\circ}C$$

$$\Delta T = -6,108^{\circ}C$$

Tabla 19. Temperaturas para diseño verano

Diferencia de temperaturas	
Norte	-6,108
Sur	1,82
Este	-2,144
Oeste	-0,162
Techo	13,82
Suelo	-0,59

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Teniendo todos los valores requeridos para el cálculo de carga térmica por transmisión y por radiación de paredes y techo se parte de la Ecuación 5, los cálculos se los realiza para los muros norte, sur, este, oeste del primer y segundo piso y techo, no se realiza el cálculo para el piso puesto que este no está sometido a transmisión y radiación.

Los valores del coeficiente total de transferencia de calor (U) son tomados de la tabla 16 proporcionada por la norma ecuatoriana de construcción [34]. Por demostración solo se realizará los cálculos del muro norte para el primero y segundo piso, en la tabla 20 y 21 se muestra los valores totales para todos los muros. Se tiene que:

Muro norte primer piso

$$Q_{str1} = U \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i)$$

$$Q_{str1} = \left(2,35 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) \cdot (7,54 m^2) \cdot (11,89^\circ C - 18^\circ C)$$

$$Q_{str1} = -108,228 W$$

Muro norte segundo piso

$$Q_{str2} = U \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i)$$

$$Q_{str2} = \left(2,35 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) \cdot (8,66 m^2) \cdot (11,89^\circ C - 18^\circ C)$$

$$Q_{str2} = -124,34 W$$

Cuando sale el signo negativo en el cálculo teniendo en cuenta que la diferencia de T entre el exterior e interior es negativa, se puede interpretar de tal manera que esto sucede, ya que, la menor temperatura se encuentra a fuera. Es decir, que la vivienda está perdiendo calor en esa parte del muro.

Al final se procede a sumar cada uno de los valores obtenidos de los muros para tener el calor total sensible. Los valores de U se obtienen de la tabla 16.

Tabla 20. Carga térmica por transmisión y radiación paredes y techo primer piso

Ubicación	U (W/m ² K)	Área (m ²)	ΔT (°C)	Qstr ₁ (W)
Norte	2,35	7,54	-6,108	-108,228
Sur	2,35	9,57	1,82	40,931
Este	2,35	16,1	-2,144	-81,118
Oeste	2,35	16,1	-0,162	-6,129
			Total	-154,544

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 21. Carga térmica por transmisión y radiación paredes y techo segundo piso

Ubicación	U (W/m ² K)	Área (m ²)	ΔT (°C)	Qstr ₂ (W)
Norte	2,35	8,66	-6,108	-124,304
Sur	2,35	10,69	1,82	45,721
Este	2,35	17,986	-2,144	-90,621

Oeste	2,35	17,986	-0,162	-6,847
Techo	4,7	47	13,82	3052,838
			Total	2876,787
			Calor total Qstr	2722,243

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

3.3.2. Cálculo de cargas térmicas por transmisión a través de paredes y techos interiores

En el cálculo de cargas térmicas sensibles al interior de la vivienda se debe tener en cuenta la diferencia de T entre la T de diseño exterior y la T deseada en el interior. En el apartado anterior ya se procedió a calcular la temperatura exterior de diseño cuyo valor es 19,82 °C y la temperatura interior por confort térmico es de 18 °C.

Los valores de U son tomados de la tabla 16, proporcionada por la norma ecuatoriana de construcción, es el coeficiente total de transferencia de calor. Por demostración solo se realizará los cálculos del muro norte para el primero y segundo piso, en la tabla 21 y 22 se muestra los valores totales para todos los muros. Se tiene que:

Muro norte primer piso

$$Q_{st1} = U \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i)$$

$$Q_{st1} = \left(2,35 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) \cdot (7,54 m^2) \cdot (19,82 ^\circ C - 18 ^\circ C)$$

$$Q_{st1} = 32.249 W$$

Muro norte segundo piso

$$Q_{st2} = U \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i)$$

$$Q_{st2} = \left(2,35 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) \cdot (8,66 m^2) \cdot (19,82 ^\circ C - 18 ^\circ C)$$

$$Q_{st2} = 37,039 W$$

Tabla 22. Carga térmica por transmisión interior paredes y techo primer piso

Ubicación	U (W/m ² K)	Área (m ²)	ΔT (°C)	Qst2 (W)
Norte	2,35	7,54	1,82	32,249
Sur	2,35	9,57	1,82	40,931
Este	2,35	16,1	1,82	68,860

Oeste	2,35	16,1	1,82	68,860
Suelo	3,2	43	1,82	250,432
			Total	461,331

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 23. Carga térmica por transmisión interior paredes y techo segundo piso

Ubicación	U (W/m ² K)	Área (m ²)	ΔT (°C)	Qst2 (W)
Norte	2,35	8,66	1,82	37,039
Sur	2,35	10,69	1,82	45,721
Este	2,35	17,986	1,82	76,926
Oeste	2,35	17,986	1,82	76,926
Continúa...				
Ubicación	U (W/m ² K)	Área (m ²)	ΔT (°C)	Qst2 (W)
Techo	4,7	47	1,82	402,038
Suelo	4,7	43	1,82	367,822
			Total	1006,472
			Calor total Qst	1467,803

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

3.3.3. Cálculo de cargas térmicas por radiación solar a través de cristales

Para realizar el cálculo de cargas térmicas por radiación solar a través de cristales debemos tener en cuenta la radiación solar que hay en la ciudad de Quito, a partir de eso nos basamos en los datos obtenidos de radiación de 1 150 W/m² [44].

A partir de eso primero se debe realizar el cálculo del factor de corrección de la radiación, esto en función del tipo de vidrio que se utilice en la ventana y los efectos de sombras que se puedan suscitar.

Los cálculos siguientes son para los cristales del comedor como demostración, en las tablas de la 23 a la 29 se encuentran ya calculados para cada uno de los vidrios de las estancias.

Comedor

$W = 2,40m$ $H = 2,10m$ $R = 0,15m$

- Primero se obtiene la relación espesor respecto de alto y ancho:

$$\frac{R}{W} = \frac{0,15\text{ m}}{2,40\text{ m}} = 0,063 \qquad \frac{R}{H} = \frac{0,15\text{ m}}{2,10\text{ m}} = 0,071$$

- Segundo se debe ingresar a la tabla 1. Factores de sombra para obstáculos de fachada: retranqueo que se encuentra el en cálculo de la transmitancia del hueco para renovación de ventanas [45]. Si no se sabe la dirección es recomendable elegir el valor más alto, ya que es el más crítico. La selección de los valores se anexará al final del documento. Se obtiene lo siguiente valores:

- S = 0,82
- SE/SO = 0,86
- E/O = 0,91

- Tercero se procede a calcular el área del hueco y del cristal en m². Hay que tener en consideración para el área del cristal se debe restar 3,5 cm por lado ya que este representa el espesor que sujeta el vidrio.

Área del hueco

$$\text{Hueco} = W \times H$$

$$\text{Hueco} = (2,40\text{ m}) \cdot (2,10\text{ m})$$

$$\text{Hueco} = 5,04\text{ m}^2$$

Área del cristal

$$\text{Cristal} = (2) \cdot (1,20\text{ m} - 0,07\text{ m}) \cdot (2,10\text{ m} - 0,07\text{ m})$$

$$\text{Cristal} = 4,59\text{ m}^2$$

- Cuarto se procede a calcular F_v y F_m es decir las fracciones de hueco y cristal

$$F_v = \frac{\text{área cristal}}{\text{área hueco}}$$

$$F_v = \frac{4,58\text{ m}^2}{5,04\text{ m}^2} = 0,91$$

$$F_m = 1 - F_v$$

$$F_m = 1 - 0,91 = 0,09$$

- Quinto se calcula el factor de corrección por radiación

$$F = F_s \cdot [F_v \cdot g + F_m \cdot 0,04 \cdot U \cdot \alpha]$$

Donde

g = Factor solar del vidrio

U = Coeficiente de transferencia

α = Absortividad del marco

El valor para los vidrios se considera con un espesor de 3 mm y este tendrá un marco de color negro, ya que para la absortividad nos dirigiremos a la tabla 2. Absortividad del marco para radiación solar de [45]. Y el valor de U obtendremos de la Norma Ecuatoriana de Construcción.

$$F = F_s \cdot [F_v \cdot g + F_m \cdot 0,04 \cdot U \cdot \alpha]$$

Donde

$$g = 0,5$$

$$U = 5,89 \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$$

$$\alpha = 0,96$$

$$F = 0,91 \cdot [0,9 \cdot 0,5 + (0,09) \cdot (0,04) \cdot (5,89) \cdot (0,96)]$$

$$F = 0,43$$

Los valores de F son adimensionales.

Una vez calculado el factor F se calcula el calor por radiación por medio de cristales.

$$Q_{sr} = R \cdot S \cdot F$$

$$Q_{sr} = \left(1150 \frac{W}{m^2 K} \right) \cdot (5,04 m^2) \cdot (0,43)$$

$$Q_{sr} = 2507,6 W$$

A continuación, se muestran las tablas con los datos obtenidos para las demás estancias de la vivienda unifamiliar.

Para las tablas 23 a la 29 las leyendas son:

- W: Ancho del hueco
- H: Altura del hueco
- R: Espesor del hueco
- S: Sur

- SE/SO: Sureste/Suroeste
- E/O: Este/Oeste
- Fv: Fracción de la ventana que corresponde al cristal
- Fm: Fracción de la ventana que corresponde al marco
- F: Factor de corrección de la radiación en base al tipo de vidrio utilizado en la ventana

Tabla 24. Carga térmica por radiación vidrios en el comedor

W (m)	H (m)	R (m)	R/W	R/H
2,4	2,1	0,15	0,063	0,071
Continúa...				
Factor sombra		Áreas m ²		
S	0,82	Hueco	5,04	
SE/SO	0,86	Cristal	4,59	
E/O	0,91			
Fv	0,91	U vidrio (W/m ² K)	5,89	
Fm	0,09	α	0,96	
F	0,43			
Carga térmica vidrios				
Área (m ²)	F	R (W/m ²)	Qsr (W)	
5,04	0,43	1 150	2 507,60	

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 25. Carga térmica por radiación vidrios en la sala

W (m)	H (m)	R (m)	R/W	R/H
2	1,4	0,15	0,08	0,11
Factor sombra		Áreas m ²		
S	0,76	Hueco	2,8	
SE/SO	0,79	Cristal	2,47	
E/O	0,86			
Fv	0,88	U vidrio (W/m ² K)	5,89	
Fm	0,12	α	0,96	
F	0,40			

Carga térmica vidrios

Área (m ²)	F	R (W/m ²)	Qsr (W)
2,8	0,40	1 150	1 296,26

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 26. Carga térmica por radiación vidrios en el baño del primer piso

W (m)	H (m)	R (m)	R/W	R/H
0,7	0,3	0,15	0,21	0,50
Factor sombra		Áreas m ²		
N	0,39	Hueco	0,21	

Continúa...

Factor sombra		Áreas m ²		
SE/SO	0,47	Cristal	0,13	
E/O	0,61			
Fv	0,61	U vidrio (W/m ² K)	5,89	
Fm	0,39	α	0,96	
F	0,24			

Carga térmica vidrios

Área (m ²)	F	R (W/m ²)	Qsr (W)
0,21	0,24	1 150	58,06

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 27. Carga térmica por radiación vidrios del dormitorio 1

W (m)	H (m)	R (m)	R/W	R/H
2	1,4	0,15	0,08	0,11
Factor sombra		Áreas m ²		
S	0,76	Hueco	2,8	
SE/SO	0,79	Cristal	2,47	
E/O	0,86			
Fv	0,88	U vidrio (W/m ² K)	5,89	
Fm	0,12	α	0,96	
F	0,40			

Carga térmica vidrios

Área (m ²)	F	R (W/m ²)	Qsr (W)
2,8	0,40	1 150	1 296,26

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 28. Carga térmica por radiación vidrios del dormitorio 2

W (m)	H (m)	R (m)	R/W	R/H
2	1,4	0,15	0,08	0,11
Factor sombra		Áreas m ²		
S	0,76	Hueco	2,8	
SE/SO	0,79	Cristal	2,47	

Continúa...

Factor sombra		Áreas m ²		
E/O	0,86			
Fv	0,88	U vidrio (W/m ² K)	5,89	
Fm	0,12	α	0,96	
F	0,40			

Carga térmica vidrios

Área (m ²)	F	R (W/ m ²)	Qsr (W)
2,8	0,40	1 150	1 296,26

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 29. Carga térmica por radiación vidrios del dormitorio máster

W (m)	H (m)	R (m)	R/W	R/H
2,4	1,4	0,15	0,06	0,11
Factor sombra		Áreas m ²		
S	0,76	Hueco	3,36	
SE/SO	0,79	Cristal	3,01	
E/O	0,86			
Fv	0,89	U vidrio (W/ m ² K)	5,89	
Fm	0,11	α	0,96	
F	0,41			

Carga térmica vidrios

Área (m ²)	F	R (W/ m ²)	Qsr (W)
------------------------	---	------------------------	---------

3,36	0,41	1 150	1 565,60
------	------	-------	----------

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 30. Carga térmica por radiación vidrios del baño segundo piso

W (m)	H (m)	R (m)	R/W	R/H
0,7	0,3	0,15	0,21	0,50
Factor sombra		Áreas m ²		
S	0,39	Hueco	0,21	
SE/SO	0,47	Cristal	0,13	
E/O	0,61			
Continúa...				
Factor sombra		Áreas m ²		
Fv	0,61	U vidrio (W/m ² K)	5,89	
Fm	0,39	α	0,96	
F	0,24			
Carga térmica vidrios				
Área (m ²)	F	R (W/ m ²)	Qsr (W)	
0,21	0,24	1 150	58,06	

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Se consideró también adjuntar como cargas térmicas como conducción, mas no como radiación, a las puertas, ya que, existiría un hueco tanto en la entrada de la casa como para la parte de salida al patio posterior. Por lo cual se realiza el siguiente cálculo que se indica en la tabla 31:

Tabla 31. Carga térmica conducción de puertas del primer piso

	U (W/m ² k)	Área (m ²)	$\Delta T(^{\circ}C)$	Q (W)
Metal	3,124	1,68	1,82	9,552
Madera	2,56	2,1	1,82	9,784
Total				19,336

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

En la tabla 31 se encuentran resumidas todas las cargas sensibles por radiación a través de vidrios agregándole la carga térmica por puertas.

Tabla 32. Resumen de cargas sensibles por radiación solar atreves de cristales

Ubicación	Valor [W]
Comedor	2 507,60
Sala	1 296,26
Baño 1 piso	58,06
Dormitorio 1	1 296,26
Dormitorio 2	1 296,26
Dormitorio M	1 565,60
Continúa...	
Ubicación	Valor [W]
Baño máster	58,06
Puertas	19,336
Total Qsr	8 097,44

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

3.3.4. Cálculo de cargas térmicas por infiltraciones de aire exterior

Para los cálculos de las infiltraciones por aire exterior se debe encontrar la densidad y el calor específico en tablas. A continuación, se procede a calcular el calor con el caudal mínimo requerido obtenido en las renovaciones con un valor de 99 m³/h, en este caso se lo transforma a metros cúbicos por segundo con un caudal de 0,0275. Esto para poder trabajar las unidades.

Los valores de la densidad y calor específico del aire se las obtuvo del Apéndice 1, Tabla A-2 del libro termodinámica de Cengel octava edición.

$$Q_{si} = V \cdot \rho \cdot C_{e,aire} \cdot \Delta T$$

$$Q_{si} = \left(0,0275 \frac{m^3}{s} \right) \cdot \left(1,18 \frac{kg}{m^3} \right) \cdot \left(1 005 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right) \cdot (19,82 \text{ } ^\circ C - 18 \text{ } ^\circ C)$$

$$Q_{si} = 59,35 \text{ W}$$

3.3.5. Cálculo de cargas térmicas por aportaciones internas

Para las aportaciones internas se ha considerado los electrodomésticos básicos que puede tener una vivienda unifamiliar aparte de eso se tiene que la vivienda posee 13 focos fluorescentes y que en su vivienda pueden habitar entre 4 a 5 personas con una actividad moderada. Por lo cual en la tabla 32 se calcula todos los valores por aportaciones internas.

$$Q_{sil} = 1,25 \cdot n \cdot Pot_{Lamp, fluorescente}$$

$$Q_{sil} = 1,25 \cdot (13) \cdot (25 W)$$

$$Q_{sil} = 406,25 W$$

Tabla 33. Cargas por aportaciones internas

Iluminación			
Focos	Watts	Factor	Qsai (W)
13	25	1,25	406,25
Por ocupantes			
Personas	C. sensible	Qsai (W)	
5	70	350	
Aparatos			
Electrodomésticos	Cantidad	Watts	Qsai (W)
Microondas	1	1 100	1 100
Licuada	1	450	450
Refrigeradora	1	130	130
Cocina eléctrica	1	1 800	1 800
Cafetera	1	1 200	1 200
Televisores	4	65	260
Radio	1	130	130
PC	1	350	350
Laptops	2	200	400
Total			5 820
Total corregido			4 365

El total corregido se refiere a que el valor obtenido por el calor que aportan los equipos que hay en la casa se lo multiplica por 0,75 ya que no siempre van a estar funcionando todos a la misma vez.

3.3.6. Cálculo de cargas térmicas latentes por infiltraciones de aire exterior

Los valores de densidad y calor específico del aire se las obtuvo del Apéndice 1, tabla A-3 y de la carta psicométrica de la figura A-31 del libro termodinámica de Cengel octava edición. La selección de los valores de la carta se los anexará al final del documento.

$$Q_{li} = V \cdot \rho \cdot C_{e,aire} \cdot \Delta W$$
$$Q_{li} = \left(0,0275 \frac{m^3}{s}\right) \cdot \left(1,18 \frac{kg}{m^3}\right) \cdot \left(2257 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}\right) \cdot (0,0088 - 0,00625)$$
$$Q_{li} = 186,76 W$$

3.3.7. Cálculo de cargas térmicas latente por ocupantes

$$Q_{lp} = n \cdot C_{latente,per}$$
$$Q_{lp} = 5 \cdot (176 W)$$
$$Q_{lp} = 880 W$$

Después de haber calculado todos los valores se elabora una tabla de resumen con todas las cargas sensibles y latentes con su respectiva grafica para el análisis.

Tabla 34. Resumen de cargas sensibles y latentes

Resumen de cargas	Qr (W)	%
Transmisión y radiación paredes y techo exterior	2 722,243	14,70
Transmisión paredes y techo interior	1 467,803	7,93
Radiación a través de vidrios	8 097,44	43,73
Infiltraciones aire sensibles	59,35	0,32
Aportaciones internas	5 121,25	27,66

Infiltraciones de aire latentes	168,45	0,91
Ocupantes	880	4,75
Total	18 516,53	100,00

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

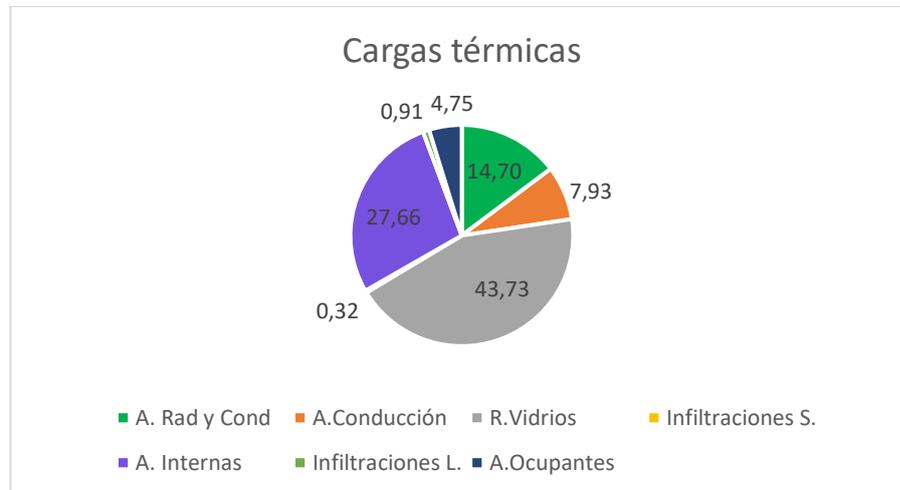


Figura 12. Gráfica de pastel de las cargas térmicas para verano

El calor total por cargas térmicas es de 18 516 W o 18,52 kW dando a notar que el mayor aporte de calor se da en 3 aportaciones lo que son radiación a través de vidrios con un 43,73 %, aportaciones internas con 27,66% y aportación por radiación y conducción sensible con 14,7 %. Todos estos valores para la época de verano.

3.4. Cálculo de cargas térmicas sensibles y latentes para invierno

Los cálculos son los mismos que se realizaron para la época de verano por lo cual solo se procede a colocar las tablas con los resultados de todas las cargas térmicas.

3.4.1. Cálculo de cargas térmicas sensibles de transmisión y radiación a través de paredes y techo

Tabla 35. Temperaturas para diseño invierno

Temperaturas [°C]		
Temperatura mínima media	T _{mm}	15
Temperatura mínima	T _{min}	9,6
Temperatura deseada interior	T _i	18
Temperatura de diseño exterior	T _e	11,76

Temperatura de diseño dirección Norte	Tecn	7,056
Temperatura de diseño dirección Sur	Tecs	11,76
Temperatura de diseño dirección Este	Tece	9,408
Temperatura de diseño dirección Oeste	Teco	10,584

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 36. Temperaturas para diseño invierno

Diferencia de temperaturas	
Norte	-10,944
Sur	-6,24
Este	-8,592
Oeste	-7,416
Techo	5,76
Suelo	-4,62

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

En la Tabla 36 se puede apreciar la diferencia de temperatura entre el aire exterior y el aire interior de la vivienda, el valor negativo significa que la casa está perdiendo calor. Los valores de U se obtienen de la tabla 16.

Tabla 37. Cargas térmicas sensibles de transmisión y radiación

Paredes y techo primer piso				
Ubicación	U (W/ m²K)	Área (m²)	ΔT (°C)	Qstr₁ (W)
Norte	2,35	7,54	-10,944	-193,917
Sur	2,35	9,57	-6,24	-140,334
Este	2,35	16,1	-8,592	-325,078
Oeste	2,35	16,1	-7,416	-280,584
Total				-939,914

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 38. Cargas térmicas sensibles de transmisión y radiación

Paredes y techo segundo piso				
Ubicación	U (W/m²K)	Área (m²)	ΔT (°C)	Qstr₂ (W)
Norte	2,35	8,66	-10,944	-222,721

Sur	2,35	10,69	-6,24	-156,758
Este	2,35	17,986	-8,592	-363,159
Oeste	2,35	17,986	-7,416	-313,453
Techo	4,7	47	5,76	1 272,384
				Continúa...
				Qstr₂ (W)
Total				216,293
Calor total Qsrt				-723,621

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

3.4.2. Cálculo de cargas térmicas por transmisión a través de paredes y techos interiores

Tabla 39. Cargas térmicas sensibles paredes y techo interiores primer piso

Ubicación	U (W/m ² K)	Área (m ²)	ΔT (°C)	Qst ₁ (W)
Norte	2,35	7,54	-6,24	-110,567
Sur	2,35	9,57	-6,24	-140,334
Este	2,35	16,1	-6,24	-236,090
Oeste	2,35	16,1	-6,24	-236,090
Suelo	3,2	43	-6,24	-858,624
Total				-1 581,706

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 40. Cargas térmicas sensibles paredes y techo interiores segundo piso

Ubicación	U (W/m ² K)	Área (m ²)	ΔT (°C)	Qst ₂ (W)
Norte	2,35	8,66	-6,24	-126,990
Sur	2,35	10,69	-6,24	-156,758
Este	2,35	17,986	-6,24	-263,747
Oeste	2,35	17,986	-6,24	-263,747
Techo	4,7	47	-6,24	-1 378,416
Suelo	4,7	43	-6,24	-1 261,104
Total				-3 450,762
Calor total Qst				-5 032,468

3.4.3. Cálculo de cargas térmicas por radiación solar a través de cristales

En este apartado al ser igual a los cálculos de la sección de verano solo se realiza una tabla de resumen. Y se adjunta los valores de calor por puertas.

Tabla 41. Cargas térmicas puertas

	U (W/m ² K)	Área (m ²)	ΔT (°C)	Qs (W)
Metal	3,124	1,68	-6,24	-32,750
Madera	2,56	2,1	-6,24	-33,546
			Total	-66,296

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Tabla 42. Total de cargas sensibles por radiación a través de vidrios

Ubicación	Valor [W]
Comedor	2 507,60
Sala	1 296,26
Baño 1 Piso	58,06
Dormitorio 1	1 296,26
Dormitorio 2	1 296,26
Dormitorio M	1 565,60
Baño máster	58,06
Puertas	-66,296
Total	8 011,81

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

3.4.4. Cálculo de cargas térmicas por infiltraciones de aire exterior

Los valores de la densidad y calor específico del aire se los obtuvo del Apéndice 1, tabla A-2 del libro termodinámica de Cengel octava edición.

$$Q_{si} = V \cdot \rho \cdot C_{e,aire} \cdot \Delta T$$

$$Q_{si} = \left(0,0275 \frac{m^3}{s} \right) \cdot \left(1,18 \frac{kg}{m^3} \right) \cdot \left(1005 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right) \cdot (11,76 \text{ } ^\circ C - 18 \text{ } ^\circ C)$$

$$Q_{si} = -203,5 \text{ W}$$

3.4.5. Cálculo de cargas térmicas por aportaciones internas

Tabla 43. Aportaciones internas

Iluminación			
Focos	Watts	Factor	Q
13	25	1,25	406,25
Por ocupantes			
Personas	Csensible	Q	
5	70	350	
Aparatos			
Electrodomésticos	Cantidad	Watts	Total
Microondas	1	1 100	1 100
Licuadaora	1	450	450
Refrigeradora	1	130	130
Cocina eléctrica	1	1 800	1 800
Cafetera	1	1 200	1 200
Televisores	4	65	260
Radio	1	130	130
PC	1	350	350
Laptops	2	200	400
		Total	5 820
		Total R	4 365
Total de aportaciones internas			5 121,25

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

3.4.6. Cálculo de cargas térmicas por infiltraciones de aire del exterior latente

Los valores de la densidad y calor específico del aire se los obtuvo del Apéndice 1, Tabla A-3 y de la carta psicométrica de la figura A-31 del libro termodinámica de Cengel octava edición. La selección de los valores de la carta se los anexará al final del documento.

$$Q_{li} = V \cdot \rho \cdot C_{e,aire} \cdot \Delta W$$

$$Q_{li} = \left(0,0275 \frac{m^3}{s}\right) \cdot \left(1,18 \frac{kg}{m^3}\right) \cdot \left(2257 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}\right) \cdot (0,0065 - 0,006)$$

$$Q_{li} = 36,61 W$$

3.4.7. Cálculo de cargas térmicas latente por ocupantes

$$Q_{lp} = n \cdot C_{latente,per}$$

$$Q_{lp} = 5 \cdot (176 W)$$

$$Q_{lp} = 880 W$$

Tabla 44. Resumen de cargas sensibles y latentes

Resumen de Cargas	Qrp	Qrg	%Qrp	%Qrg
A. Rad y Cond	-723,621	0	12,14	0,00
A. Conducción	-5032,468	0	84,44	0,00
R. Vidrios	0	8011,81	0,00	57,02
Infiltraciones S.	-203,50	0	3,41	0,00
A. Internas	0	5121,25	0,00	36,45
Infiltraciones L.	0	36,62	0,00	0,26
A. Ocupantes	0	880	0,00	6,26
Total pérdidas	-5959,589	0	100,00	0
Total ganancias	0	14049,67	0	100,00

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

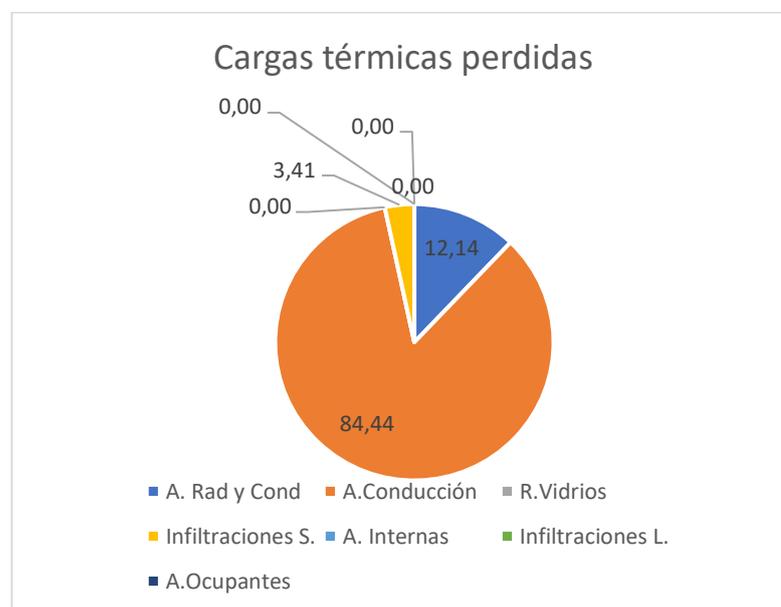


Figura 13. Gráfica de pastel de las cargas térmicas perdidas para invierno

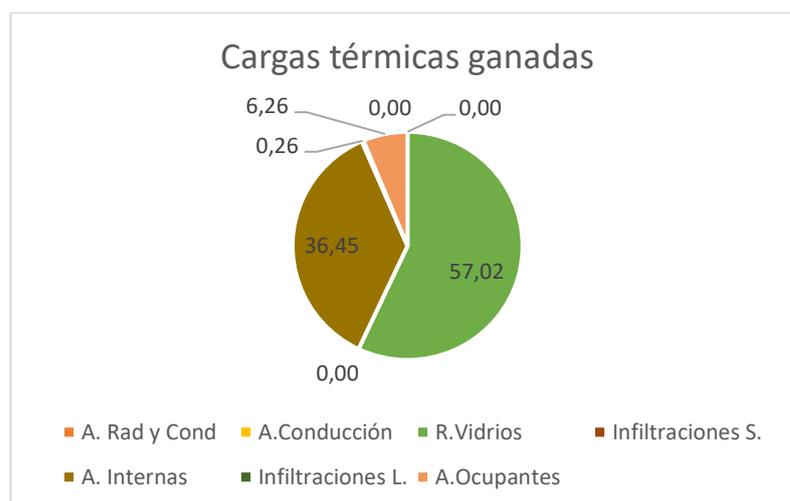


Figura 14. Gráfica de pastel de las cargas térmicas ganadas para invierno

El calor total por cargas térmicas total es de 8 090 W o 8.09 kW dando a notar que el mayor aporte de calor se da en 3 aportaciones lo que son radiación a través de vidrios con un 57,02 %, aportaciones internas con 36,45 % y aportaciones por ocupantes con 6,26 %. Todos estos valores para la época de invierno.

Se puede ver claramente que el calor total por cargas en invierno es menor con una diferencia de 10 426 W es una diferencia grande eso quiere decir que el sistema de ventilación en verano se va a encargar de eliminar el calor y mantener una adecuada temperatura en su interior y en el invierno lo que va a tratar de no perder calor y poder recircular el aire lo máximo posible para que no haya pérdidas de calor y así poder mantener un buen confort térmico.

3.5. Cálculo de presiones

3.5.1. Presión dinámica

El cálculo de la presión dinámica se lo realiza con la ecuación 2 y teniendo en cuenta la figura 12 y 13 respecto a las velocidades en las residencias y en el confort de la persona, además se puede ingresar al manual de ventilación de Soler & Palau en la Fig. 3.1 con un diámetro de tubería de 125 mm y un caudal de 120 metros cúbicos de aire y obtenemos la velocidad de 2,5 metros por segundo.

$$P_d = \frac{V^2}{16}$$

$$P_d = \frac{\left(2,5 \frac{m}{s}\right)^2}{16}$$

$$P_d = 0,4 \text{ mm.c.d.a}$$

3.5.2. Presión estática

Para la presión estática consideraremos las pérdidas de carga por ductos flexibles, accesorios, ductos rígidos y codos.

- Para ductos flexibles la pérdida de carga es igual a la longitud multiplicado por la pérdida, la cual se la obtiene de la fig. 3.1 del manual de ventilación de Soler & Palau [37].

Tabla 45. Longitudes aproximadas de tubería flexible

Lugar	Longitud [m]
Sala	4
Comedor	3,8
Dormitorio 1	8,5
Dormitorio 2	7,5
Dormitorio máster	8,9
Cocina	5
Baño primer piso	3,6
Baño segundo piso	6,7
Baño máster	9
Recuperador-plenum	4
Total	61

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

$$\Delta P_1 = L \cdot Per$$

$$\Delta P_1 = (61 \text{ m}) \cdot (0,2)$$

$$\Delta P_1 = 12,2 \text{ mm.c.d.a}$$

- Para la pérdida de carga por accesorios es indispensable buscar en la ficha técnica de cada uno la pérdida de carga, para ello los datos se encuentran en el catálogo

de accesorios de montaje de Soler y Palau. Los gráficos se encuentran al final del documento parte de anexos.

Tabla 46. Perdida de carga por accesorios

Accesorios	Cantidad	ΔP [mm.c.d.a]	ΔP_2 [mm.c.d.a]
Filtro G4	2	2,5	5
Filtro M5	1	2,75	2,75
Boca BDOP 125	5	2,55	12,75
		Total	20,5

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

- Para los ductos rígidos se repite el procedimiento que en ductos flexibles. Se tiene dos ductos rígidos para la parte interna con una distancia de 1,5 m y para la parte externa de 2 m. Los factores de pérdida de carga se encuentran en la fig. 3.1 del manual de ventilación de Soler y Palau [37].

$$\Delta P_3 = L_1 \cdot Per_1 + L_2 \cdot Per_2$$

$$\Delta P_3 = (1,5m) \cdot (0,03) + (2m) \cdot (0,05)$$

$$\Delta P_3 = 0,15 \text{ mm.c.d.a}$$

- Para la pérdida de carga por codos se tiene codos de 90° en este caso para calcular su valor se debe multiplicar la presión dinámica por el factor de pérdidas de cargas por codos que se encuentra en la Fig. 3.6 del manual de ventilación de Soler y Palau [37].
- A la Figura se ingresa con la relación R/D en la línea de codo en tres piezas, el codo según el fabricante tiene un diámetro exterior y un radio de 182 y 36 mm respectivamente. La relación R/D es igual 0,2 de la cual se obtiene un valor de “n” aproximadamente de 0,7.

$$\Delta P_4 = P_d \cdot n$$

$$\Delta P_4 = (0,4 \text{ mm.c.d.a}) \cdot (0,7)$$

$$\Delta P_4 = 0,28 \text{ mm.c.d.a}$$

La sumatoria de las 4 pérdidas de cargas dará el valor para poder entrar a la curva característica del sistema VMC con recuperador de calor.

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4$$

$$\Delta P = (12,2 + 20,5 + 0,15 + 0,84)$$

$$\Delta P = 33,7 \text{ mm.c.d.a}$$

3.6. Selección de equipo

Para la selección del equipo se deben tener en cuenta dos datos, el caudal requerido y la presión estática total con valores de 120 m³/h y 33,7 mm.c.d.a respectivamente.

De todos los modelos existentes en el mercado se eligió el producto IDEO² 325 ECOWATT del proveedor Soler y Palau.

Con la curva característica Fig.18, los valores de caudal y presión estática se procede a hallar el punto de trabajo del equipo.

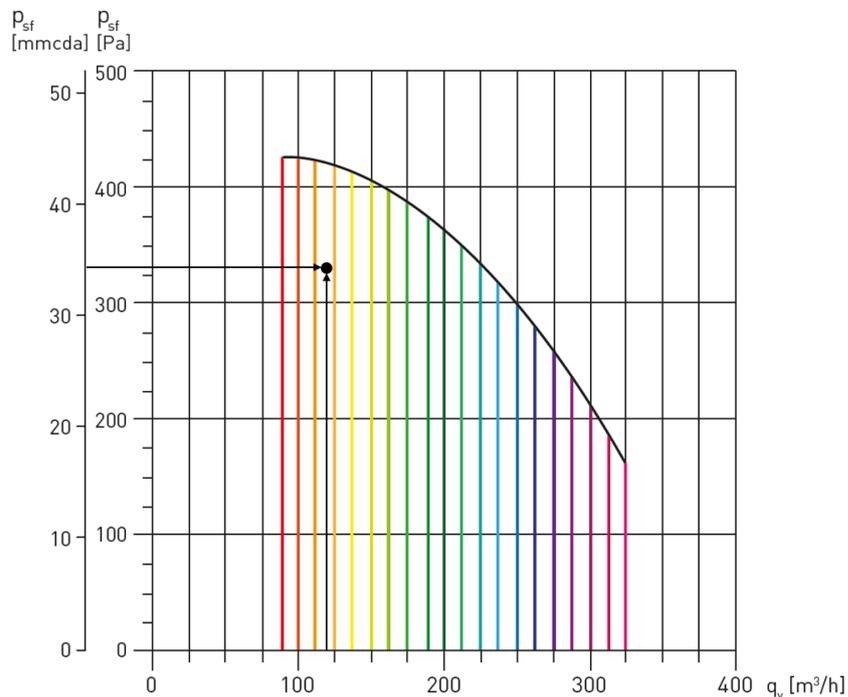


Figura 15. Curva del sistema [46]

Al ser un equipo el cual se puede manipular sus velocidades y caudales es fácil acoplarse al punto de trabajo, se puede ver también en la curva de rendimiento con el valor de caudal el rendimiento aproximadamente del 90,4 % como se observa en la figura 19.

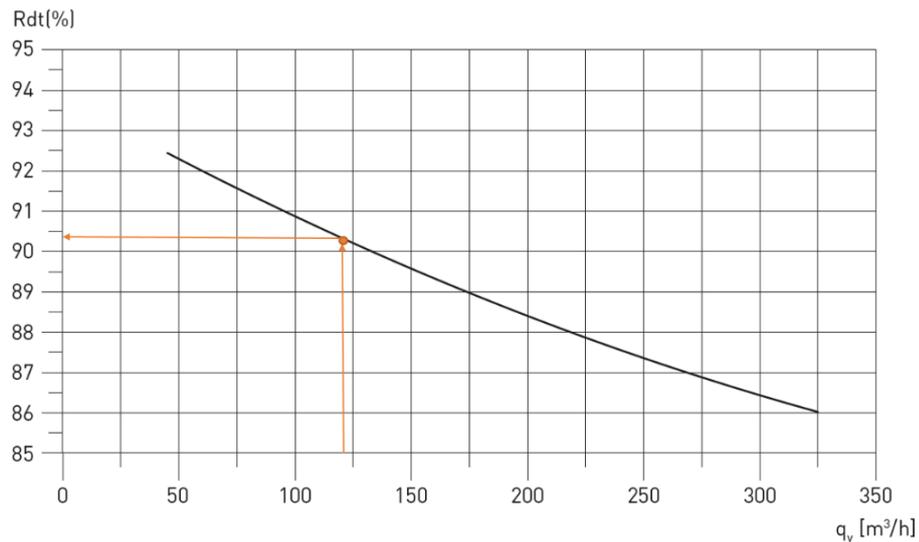


Figura 16. Curva de rendimiento [46]

Tabla 47. Características técnicas del equipo [46]

Modelo	Tensión [V]	Caudal [m³/h]		Potencia [W]		Intensidad [A]		Nivel de presión sonora 3 m [dB(A)]		Eficiencia	Peso [kg]		
		min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.				
IDEO ² 325 ECOWATT	2320	45*	90	325	21	198	0,1	0,7	22,9	35,5	86	92	45

Fuente: Soler&Palau

Este equipo además cuenta con sistemas que frecuentemente están monitoreando el ambiente el cual es un AIRSENS es un elemento de control que monitorea el CO₂, VOC y HR, a su vez consta con una sonda que recepta la información denominada AIRSENS RF. Dispone de un mando BOOST IDEO para cocina el cual aporta un caudal máximo por 30 minutos. Todos estos sistemas permiten una mejor monitorización del sistema VMC con recuperador de calor.

En el presente capítulo se realizaron los cálculos precisos para establecer el valor de cargas térmicas: sensibles y latentes, de transmisión y radiación, por infiltraciones de aire exterior y por aportaciones internas. Esto tanto para la época de verano como para la época de invierno. Obteniendo finalmente un valor total de 18,52 kW para las cargas térmicas de verano y un valor de 8,09 kW para las de invierno. Valores necesarios para

poder seleccionar el equipo correcto, que cumpla con todas las condiciones requeridas. Por esta razón se optó por el elegir el equipo IDEO² 325 ECOWATT el cuál será ideal para lograr un óptimo confort térmico dentro de la vivienda.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA 3D, ANALISIS ENERGÉTICO Y ECONÓMICO

4.1. Propuesta 3D para la vivienda unifamiliar de 90 m²

En esta parte se da una posible solución con una simulación 3D para la instalación de los ductos según los planos las imágenes se encuentran en el anexo D.

4.2. Análisis energético

El análisis energético consta en el estudio de consumo del equipo durante un periodo de tiempo. Así se puede establecer si el equipo brinda un ahorro o un gasto respecto de otro equipo.

4.2.1. Análisis de consumo de energía

El equipo anteriormente seleccionado promete una potencia de consumo mínimo y máximo de 21 y 198 W respectivamente, siendo una media de consumo de 40 W que establece el fabricante. El equipo puede ser programado para activar el máximo caudal, puede ser de forma manual las veces y el tiempo que se requiera o el programado donde se activa dos o tres veces al día por una hora. El resto de tiempo de operación se considera un uso aproximado de 15 horas al día, con un funcionamiento total de 18 horas diarias. Las horas de uso van a ir variando, dependiendo las condiciones del recinto dependiendo de la información que recepte los sensores del equipo. Se tiene en cuenta que la mayor parte del tiempo funcionara en la tarde y noche y pocas horas de la mañana.

Con estas condiciones se calcula los costos de consumo energético.

Tabla 48. Consumo diario y mensual del equipo IDEO² 325 ECOWATT

Consumo diario			
	Potencia [W]	Horas [h]	Consumo [Wh]
Caudal máximo	198	3	594
Caudal normal	40	15	600
		Total	1 194

Continúa...

Consumo mensual			
	Consumo [Wh]	Días	Total [kWh]
Consumo mensual	1 194	30	35,82

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

La comercialización de la energía eléctrica en la ciudad de Quito está a cargo de la Empresa Eléctrica Quito S.A. El costo del kWh para una categoría de uso residencial de bajo y medio voltaje es de 0,099 USD/kWh para un nivel de voltaje de 201-250 V según el tarifario para empresas eléctricas de distribución, servicio público de energía eléctrica del periodo enero- diciembre 2020 [47].

$$\text{Costo} = kWh \cdot \text{precio}$$

$$\text{Costo} = (35,82 \text{ kWh}) \cdot \left(0,099 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \right)$$

$$\text{Costo} = 3,55 \text{ USD}$$

El valor por pagar de una planilla de luz para viviendas unifamiliares en la ciudad de Quito ronda entre los 20 a 30 USD con todos los servicios que factura la empresa eléctrica por conceptos de alumbrado eléctrico, comercialización, etc. Una media del valor a pagar es de 25 USD, a este valor se le sumara el costo de consumo por el equipo de VMC IDEO² 325 ECOWATT dando un total de 28,55 USD al mes.

Para poder realizar la comparación con un sistema mixto de aire acondicionado y calefacción, se tiene en cuenta de equipos comunes que se usan frecuentemente de esta forma se realiza los cálculos de consumo como se muestra a continuación.

Tabla 49. Consumo diario y mensual sistema A/C y calefacción

Consumo diario			
	Potencia [W]	Horas [h]	Consumo [Wh]
A/C	2 700	2	5 400
Calefacción	475	4	1 900
		Total	7 300

Continúa...

Consumo mensual			
	Consumo [Wh]	Días	Total [kWh]
Consumo mensual	7 300	30	219

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

Costo mensual de uso de los equipos:

$$\text{Costo} = kWh \cdot \text{precio}$$

$$\text{Costo} = (219 \text{ kWh}) \cdot \left(0,099 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \right)$$

$$\text{Costo} = 21,68 \text{ USD}$$

Con el valor de la media de pago por una planilla de luz de un valor de 25 dólares le sumamos el valor por uso de sistema de a/c y calefacción de 21,68 dando un total de 46,68 USD al mes.

4.3. Costos directos

Los costos directos se relacionan directamente con el producto o servicio, lo cual ayuda a establecer con claridad la cantidad y el costo de estos [48].

4.3.1. Costo de los accesorios y equipo

Tabla 50. Costos y cantidades detalladas de cada uno de los accesorios y del equipo

Nombre del equipo/accesorio	Imágenes de referencia*	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Equipo IDEO ² 325 Ecowatt		1	\$1 732	\$1 732

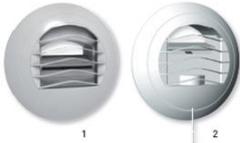
Continúa...

Filtros AFR-N-125 G4		2	\$19,97	\$39,94
Filtro AFR-N-125 M5		1	\$25,81	\$25,81
Sombrero de tejado CT-125 TEJA o CT-125 PIZARRA		1	\$75,10	\$75,10
Toma de aire mural TAP rejilla para pared		1	\$57,31	\$57,31
Plenum uni ext 6+1 (extracción con descarga)		1	\$85,71	\$85,71
Plenum uni imp 8 (impulsión con aspiración)		1	\$85,71	\$85,71
Reducción para conectar conductos flexibles ATRF 125/100/80		10	\$9,13	\$90,13
Conducto de aire flexible de diámetro 125 mm		65 m	\$6,37	\$414,05

Continúa...

Codos de 90° CDR-ISO160/90		3	\$12,24	\$36,73
Bridas de sujeción CSR-ISO 160		2	\$13,63	\$27,26
Conducto rígido aislado poliestireno GPR-ISO 160		2,5 m	\$38,62	\$96,55
Conducto flexible PVC GPX-160 6M		4 m	\$28,62	\$114,48
Reguladores de caudal autorregulables RDR-125/90		5	\$24,64	\$123,2
Reguladores de caudal autorregulables RD BP 125/60 SM		4	\$22,18	\$88,72
Bocas de plástico BDOP 125		5	\$30,20	\$151
Conexiones acústicas LA 125		1	\$30,85	\$30,85

Continúa...

Bocas de extracción autorregulables BARP 120		4	\$22,34	\$89,36
AIRSENS-C02		1	\$181,58	\$181,58
AIRSENS RF		1	\$179,95	\$179,95
TOTAL				\$3 725,44

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

*Figuras tomadas del catálogo de Soler & Palau [49].

4.3.2. Costo de importación del equipo

Tabla 51. Costo total del equipo

Costo equipo	Valor importación (Jacksonville, Usa)	Valor del impuesto	Costo total equipo
\$1 732	\$259,04	\$519,60	\$2 510,64

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

4.3.3. Total costos directos

Tabla 52. Total costos directos

Detalle	Valor
Costos accesorios y equipo	\$3 725,44
Valor importación equipo	\$259,04
Valor impuesto equipo	\$519,60
Costos de instalación	\$1 300
TOTAL	\$5 804,08

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

4.4. Costos indirectos

Los costos indirectos no tienen relación directa con el producto final, pero deben ser considerados para el costo total de un proyecto o servicio [48].

Tabla 53. Tabla de gastos varios

N°	Detalle	Valor total
1	Imprevistos	\$150
2	Electricidad	\$35
3	Internet	\$50
	TOTAL	\$235

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

4.5. Costo total proyecto

Tabla 54. Tabla costo total del proyecto

Detalle	Valor total
Costos directos	\$5 804,08
Costos indirectos	\$235
TOTAL	\$6 039,08

Elaborado por: Arias Samantha, Pozo Esteban

CONCLUSIONES

- En el capítulo I se pudo determinar los diferentes parámetros óptimos de confort como son: la temperatura del aire de 16 a 18 °C, la humedad relativa con un 60 % y el movimiento del aire en un rango de 2,5 a 4 m/s, datos que se localizan dentro de los rangos recomendados según Ezquerria, V. [3] en un estudio realizado sobre VMC y filtrado de aire. Concluyendo así que este análisis es relevante para la consecución del confort térmico.
- Se diseñó el sistema de ventilación considerando los parámetros mínimos de renovación de aire tomados de la Norma Ecuatoriana de Construcción en la parte de Eficiencia energética en edificios residenciales, con un caudal de 99 m³/h. Se calculó para el sistema de doble flujo con recuperador de calor, los caudales de admisión y extracción siendo 119 y 120 m³/h respectivamente, a su vez se tomaron en cuenta los valores de la Tabla 6 que corresponden a los datos de la norma ASHRAE.
- Para las cargas térmicas de verano se pudo determinar las ganancias de calor para la vivienda de 18 516 W o 18,52 kW dando a notar que el mayor aporte de calor se da en 3 aportaciones las cuales son: radiación a través de vidrios con un 43,73 %, internas con 27,66 % y por radiación y conducción sensible con 14,7 %. Y para el caso de invierno las cargas térmicas de 8 090 W o 8,09 kW dando a notar que el mayor aporte de calor se da de igual manera en 3 aportaciones: radiación a través de vidrios con un 57,02 %, internas con 36,45 % y por ocupantes con 6,26 %. Se seleccionó el equipo del fabricante Soler & Palau IDEO² 325 ECOWATT, que cumple con los parámetros necesarios para un óptimo confort térmico.
- Mediante un análisis de consumo energético se pudo determinar el gasto mensual de energía que requiere el equipo de VMC de doble flujo con recuperador de calor dando un promedio de 35, 82 kW/h en comparación con los sistemas tradicionales de aire acondicionado y de calefacción que requieren un consumo mixto aproximado de 219 kW/h al mes pudiendo obtener un ahorro casi de 183 kW/h al mes. Después de este análisis se pudo obtener el valor a pagar por el uso de la energía eléctrica con una media de 28,55 USD al mes para el equipo VMC IDEO

325 ECOWATT, en comparación a los sistemas tradicionales en los que se obtuvo un valor a pagar de 46,68 USD al mes, considerando que el costo de la planilla de luz es de 25 USD y el costo de la energía es de 0,099 USD/kWh.

RECOMENDACIONES

- Al ser un proyecto que está en planos se recomienda una altura de piso-techo de 2,50 m para así poder ubicar cielo falso a la altura de 2,30 m, para que cubra las instalaciones de ductería del sistema de ventilación. Para después volver a calcular las cargas térmicas las cuales no variarían mucho.
- Para realizar el cálculo de cargas térmicas se recomienda tomar en cuenta las diferentes estaciones del año que se presenten en el lugar donde se desea aplicar este tipo de sistemas ya que las temperaturas varían según la época del año.
- Se recomienda aplicar los sistemas de VMC de doble flujo con recuperador de calor en viviendas pasivas unifamiliares ya que ahí se podrá tener aún más el ahorro energético que se busca, debido a que ese tipo de viviendas reducen la pérdida de calor considerablemente.
- Se recomienda tener en cuenta el diámetro de los ductos que se van a utilizar en la instalación ya que dependiendo del caudal y la velocidad del aire el tamaño de estos puede variar, también se debe considerar el dato para los cálculos de pérdidas de cargas y ver si el equipo está dentro de los rangos de funcionamiento. En caso de que no cumpla las condiciones, se debe variar el diámetro de los ductos o seleccionar otro equipo que sí cumpla las especificaciones requeridas.
- El tiempo de instalación para el sistema de ductos y equipo puede ser entre 1 a 5 días dependiendo del tamaño del recinto, para lugares no mayores a 120 m² se estima que en un día se realice la instalación. A su vez el mantenimiento del equipo es de cada año, consta en cambio de filtros y revisión de los mecanismos internos, su costo no supera los 200 dólares.

LISTA DE REFERENCIAS

- [1] L. Zhao y J. Liu, «Operating behavior and corresponding performance of mechanical ventilation systems in Chinese residential buildings,» *Building and Environment*, vol. 170, 2020.
- [2] O. Ribé, Estudio de la mejora de la eficiencia energética de la ventilación en sistemas de climatización con el uso de recuperadores de calor, Institute de Sostenibilitat, 2018.
- [3] V. Ezquerro, «Vanesa/Ezquerro,» [En línea]. Available: <https://www.vanesaezquerro.com/ventilacion-de-doble-flujo-contr-el-covid-19/>. [Último acceso: 10 03 2021].
- [4] Ministerio del Medio Ambiente Gobierno de Chile, *Guía de Calidad del Aire y Educación Ambiental*, 2016.
- [5] Lenntech, «Lenntech,» [En línea]. Available: <https://www.lenntech.es/faq-quimica-y-fisica-del-aire.htm>. [Último acceso: 27 02 2021].
- [6] E. PITA, Air conditioning principles and systems, New York: Prentice Hall, 2001.
- [7] J. A. Fernández y C. Corrochano, Fundamentos de Transferencia de calor, Dextra, 2014.
- [8] C. Loarca Martínez, *Sistemas de acondicionamiento de aire en arquitectura*, Guatemala, 2015.
- [9] M. Pinazo Ojer, Manual de climatización Tomo II: Cargas Térmicas, Instituto Politécnico Nacional, 2010.
- [10] Á. L. Miranda, Técnicas de Climatización, Barcelona: MARCOMBO S.A., 2007.
- [11] R. Blesa, Conocimientos fundamentales sobre climatización, Barcelona: Ceac, 1995.
- [12] C. Echeverri Londoño, Ventilación Industrial, Medellín, 2011.
- [13] Soler & Palau, «El Blog de la ventilación eficiente,» 20 08 2018. [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sistemas->

ventilacion/#:~:text=Sistemas%20de%20ventilaci%C3%B3n%20de%20simple,lo%20vierte%20a%20la%20calle..

- [14] cotoLma, «cotoLma,» 10 02 2021. [En línea]. Available: <https://www.cotoLma.com/sistema-ventilacion-doble-flujo/>.
- [15] Soler Palau, «solerpalau,» 09 08 2017. [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sistemas-doble-flujo-optimizar-comfort-los-usuarios/>.
- [16] Souler & Palau, «El Blog de la ventilación eficiente,» 25 09 2017. [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/hvac-que-es/>.
- [17] Soler Palau, «solerpalau,» 31 10 2016. [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/renovacion-de-aire/>.
- [18] MINISTERIO DE DESAROLLO URBANO Y VIVIENDA, *Norma Ecuatoriana de la Construcción*, 2018.
- [19] DefinicionABC, «DefinicionABC,» 09 01 2021. [En línea]. Available: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/aire-acondicionado.php>.
- [20] N. Colocho, P. Daza y M. Guzmán, *Manual básico de sistemas de aire acondicionado y extracción mecánica de uso común en arquitectura*, Cuscatlam, 2011.
- [21] C. Cañizales, «La Opinion,» 11 06 2018. [En línea]. Available: <https://laopinion.com/guia-de-compras/5-aire-acondicionados-de-ventana-por-menos-de-200-para-antes-que-llegue-el-calor/>. [Último acceso: 04 03 2021].
- [22] MI BODEGA.EC, «mibodega.ec,» [En línea]. Available: <https://mibodega.ec/product/split-inverter-hyundai-12000-btu/>. [Último acceso: 04 03 2021].
- [23] climatécnica, «climatécnica,» [En línea]. Available: <https://www.climatecnica.com/aire-acondicionado-central-sistema-separado-horizontal-de-alta-capacidad-gree-big-duct-inverter.72.1120.html>. [Último acceso: 04 03 2021].
- [24] Climaproyectos.com, «Climaproyectos.com,» [En línea]. Available: <https://paquetesdeaireacondicionado.com/aire-acondicionado-tipo-paquete>. [Último acceso: 04 03 2021].

- [25] Arquigrafico, «Arquigrafico,» [En línea]. Available: <https://arquigrafico.com/los-chillers-sistemas-de-enfriamiento-ideal-para-grandes-espacios/>. [Último acceso: 04 03 2021].
- [26] E. Pita, Acondicionamiento de aire: Principios y sistemas un enfoque energético 2 ed., México: Continental, 1994.
- [27] franci9622, «franci9622,» 07 11 2020. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/franci9622/concepto-de-vivienda-unifamiliar>.
- [28] M. Pesántes, Confort Térmico en el área social de una vivienda unifamiliar en Cuenca-Ecuador, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2012.
- [29] Siber, *Catálogo Tarifa 2021 Sistemas de Ventilación*, Barcelona: Siber Zone, 2021.
- [30] MIDUVI, «Reglamento para Validación de Tipologías y Planes Masa para Proyectos de Vivienda de Interés Social (Reformado),» 24 01 2020. [En línea]. Available: <https://apive.org/download/miduvi-004-19-reglamento-para-validacion-de-tipologias-y-planes-masa-para-proyectos-de-vivienda-de-interes-social/>. [Último acceso: 12 05 2021].
- [31] D. Yates, D. Purkey, F. Flores-Lopez, L. Forni, J. Estacio, N. Depsky, V. Mehta y K. Tehelen, *Distrito Metropolitano de Quito: Análisis Integrado de Amenazas Relacionada con el Cambio Climático, aspectos naturales y socioeconómicos.*, Quito, 2013.
- [32] H. D. Yoandy, *Efectos del cambio climático en registros de temperatura y precipitación en la ciudad de Quito, Ecuador.*, Quito, 2016.
- [33] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, «Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología,» [En línea]. Available: <http://186.42.174.236/InamhiEmas/#>. [Último acceso: 09 07 2021].
- [34] MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, «Norma Ecuatoriana de la Construcción,» de *EFICIENCIA ENERGÉTICA en Edificaciones Residenciales*, 2018, p. 40.
- [35] Soler & Palau, «Soler & Palau,» [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-ventilacion-ambiental-iii/>. [Último acceso: 12 03 2021].

- [36] Soler & Palau, «Soler & Palau,» [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/vmc-unifamiliar-recuperacion-calor-caso-practico/>. [Último acceso: 12 03 2021].
- [37] Soler & Palau , «Soler & Palau,» [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/vmc-unifamiliar-recuperacion-calor-caso-practico/>. [Último acceso: 12 03 2021].
- [38] Soler & Palau, «Soler & Palau,» [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/cata/General.pdf>. [Último acceso: 12 03 2021].
- [39] Soler & Palau, «Soler & Palau Blog,» 20 01 2020. [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/calculo-cargas-termicas/>. [Último acceso: 29 01 2021].
- [40] Ingemecanica, «Ingemecanica,» 14 03 2021. [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>. [Último acceso: 14 03 2021].
- [41] ASHRAE, Handbook Fundamentals, 1972.
- [42] AFEC, «Asociación de fabricantes de equipos de climatización,» 25 04 2013. [En línea]. Available: http://contenidos.ceoe.es/resources/image/jornada_eficiencia_energetica_edificacion_2013_04_25_presentacion_06.pdf.
- [43] E. M. Martín, «Consumoteca Consumidores Bien Informados,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.consumoteca.com/suministros/etiqueta-energetica/>.
- [44] K. Franco, «ANÁLISIS COMPARATIVO DE RADIACIÓN SOLAR VS. ACTIVIDAD SOLAR EN QUITO Y SUS EFECTOS SOBRE LA SALUD EN EL PERÍODO 2007-2016,» p. 61, 2017.
- [45] Castilla-La Mancha, «Castilla-La Mancha,» [En línea]. Available: <https://ovcis.castillalamancha.es/OVCISEficienciaEnergetica/manuales/ventanas/CalculoTransmitancia.pdf>. [Último acceso: 10 04 2021].
- [46] Soler & Palau, «Soler & Palau,» [En línea]. Available: https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/ES_IDEO2-325-ECOWATT.pdf. [Último acceso: 01 05 2021].

- [47] ARCONEL, «CNELEP,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.cnelep.gob.ec/pliego-tarifario-2/>. [Último acceso: 02 05 2021].
- [48] M. Riquelme, «Web y empresas,» 24 08 2017. [En línea]. Available: <https://www.webyempresas.com/diferencia-entre-costos-directos-e-indirectos/>. [Último acceso: 02 05 2021].
- [49] Solar & Palau Ventilation Group, «Solar & Palau Catálogo productos 2021,» Solar & Palau Ventilation Group, 2021. [En línea]. Available: <https://www.fanairsl.com/wp-content/uploads/SP-tarifa-2021-b.pdf>. [Último acceso: 01 05 2021].
- [50] SUKASA, «SUKASA,» [En línea]. Available: <https://www.sukasa.com/aires-acondicionados/48368-aire-acondicionado-portatil-12000btu-eap12a3tsrwelectrolux-1650-644-7861106330483.html>. [Último acceso: 04 03 2021].
- [51] Á. L. Miranda, Condiciones de Bienestar, Barcelona: BOIXAREU, 2007.
- [52] E. Nestor y N. A. Enderica Armijos, *Diseño de un sistema de climatización para la clínica-hospital Esperanza de la Ciudad de Machala*, Cuenca, 2013.

ANEXOS

Anexo A

Factor de corrección de cristales

Comedor

			$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$
ORIENTACIÓN DE LA VENTANA	S	$0,05 < R/H \leq 0,1$	→ 0,82	0,74	0,62	0,39
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,76	0,67	0,56	0,35
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56	0,51	0,39	0,27
		$R/H > 0,5$	0,35	0,32	0,27	0,17
	SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	→ 0,86	0,81	0,72	0,51
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,79	0,74	0,66	0,47
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59	0,56	0,47	0,36
		$R/H > 0,5$	0,38	0,36	0,32	0,23
	E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	→ 0,91	0,87	0,81	0,65
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,86	0,82	0,76	0,61
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71	0,68	0,61	0,51
		$R/H > 0,5$	0,53	0,51	0,48	0,39

Sala

			$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$
ORIENTACIÓN DE LA VENTANA	S	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,82	0,74	0,62	0,39
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	→ 0,76	0,67	0,56	0,35
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56	0,51	0,39	0,27
		$R/H > 0,5$	0,35	0,32	0,27	0,17
	SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,86	0,81	0,72	0,51
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	→ 0,79	0,74	0,66	0,47
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59	0,56	0,47	0,36
		$R/H > 0,5$	0,38	0,36	0,32	0,23
	E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,91	0,87	0,81	0,65
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	→ 0,86	0,82	0,76	0,61
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71	0,68	0,61	0,51
		$R/H > 0,5$	0,53	0,51	0,48	0,39

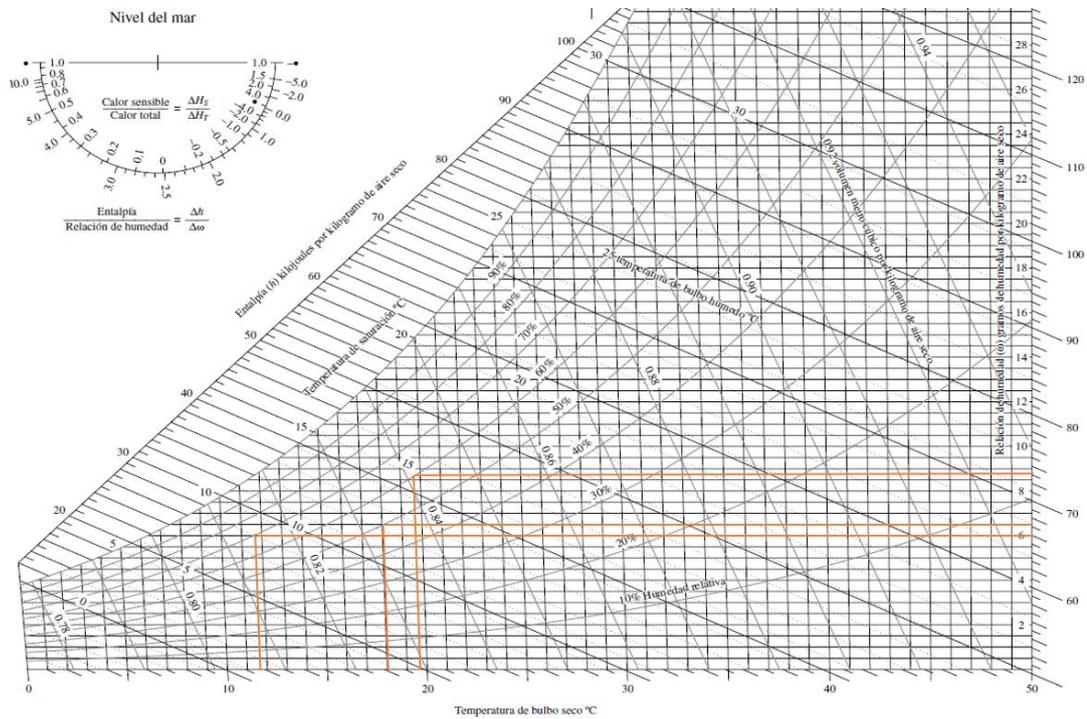
Baño primer piso y Baño máster

			$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$
ORIENTACIÓN DE LA VENTANA	S	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,82	0,74	0,62	0,39
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,76	0,67	0,56	0,35
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56	0,51	→ 0,39	0,27
		$R/H > 0,5$	0,35	0,32	0,27	0,17
	SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,86	0,81	0,72	0,51
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,79	0,74	0,66	0,47
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59	0,56	→ 0,47	0,36
		$R/H > 0,5$	0,38	0,36	0,32	0,23
	E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,91	0,87	0,81	0,65
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,86	0,82	0,76	0,61
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71	0,68	→ 0,61	0,51
		$R/H > 0,5$	0,53	0,51	0,48	0,39

Dormitorio 1,2 y máster

		Orientación de la Ventana				
		0,05 < R/W ≤ 0,1	0,1 < R/W ≤ 0,2	0,2 < R/W ≤ 0,5	R/W > 0,5	
ORIENTACIÓN DE LA VENTANA	S	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,82	0,74	0,62	0,39
		0,1 < R/H ≤ 0,2	→ 0,76	0,67	0,56	0,35
		0,2 < R/H ≤ 0,5	0,56	0,51	0,39	0,27
		R/H > 0,5	0,35	0,32	0,27	0,17
	SE/SO	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,86	0,81	0,72	0,51
		0,1 < R/H ≤ 0,2	→ 0,79	0,74	0,66	0,47
		0,2 < R/H ≤ 0,5	0,59	0,56	0,47	0,36
		R/H > 0,5	0,38	0,36	0,32	0,23
	E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,91	0,87	0,81	0,65
		0,1 < R/H ≤ 0,2	→ 0,86	0,82	0,76	0,61
		0,2 < R/H ≤ 0,5	0,71	0,68	0,61	0,51
		R/H > 0,5	0,53	0,51	0,48	0,39

Cartas psicométricas

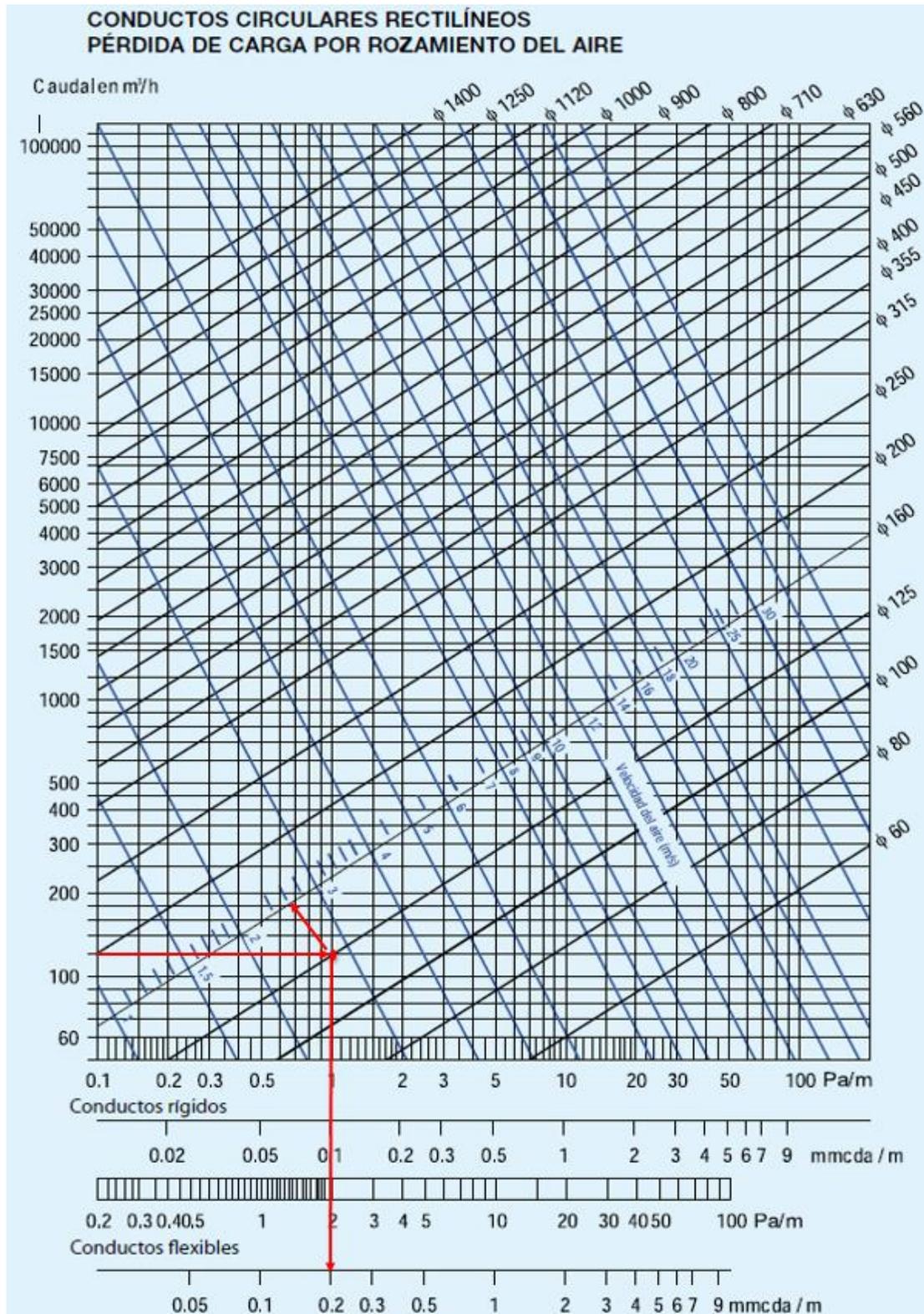


Preparado por el Centro de Estudios Aplicados de Termodinámica, Universidad de Idaho.

Figura A-31

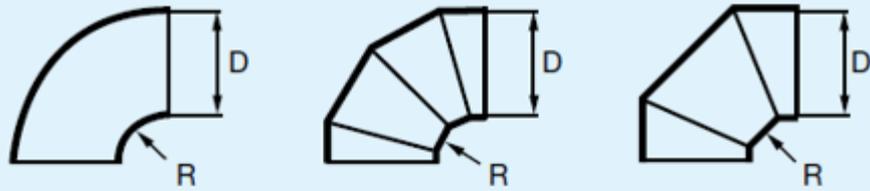
Anexo B

Velocidad, diámetro tubería y factor de resistencia

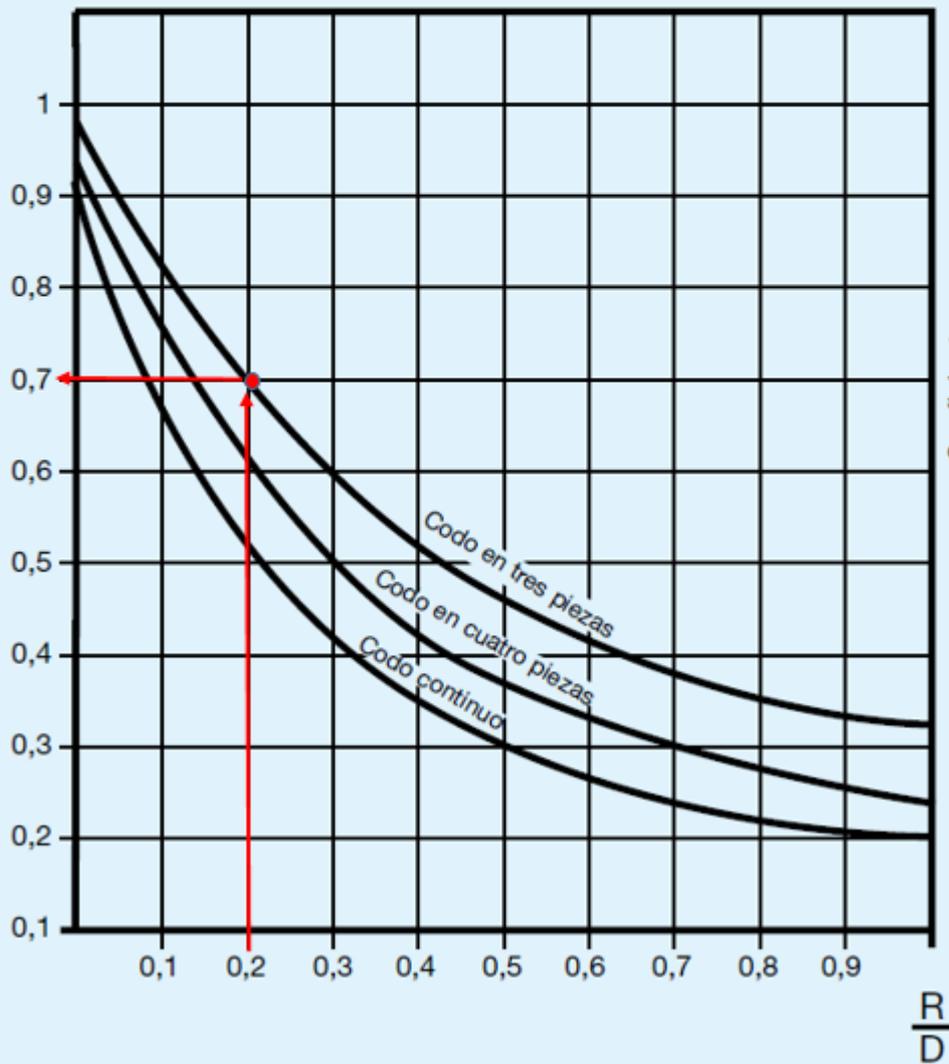


Coeficiente "n" pérdida en codo 90°

COEFICIENTES <n> DE PÉRDIDAS DE CARGA CODOS

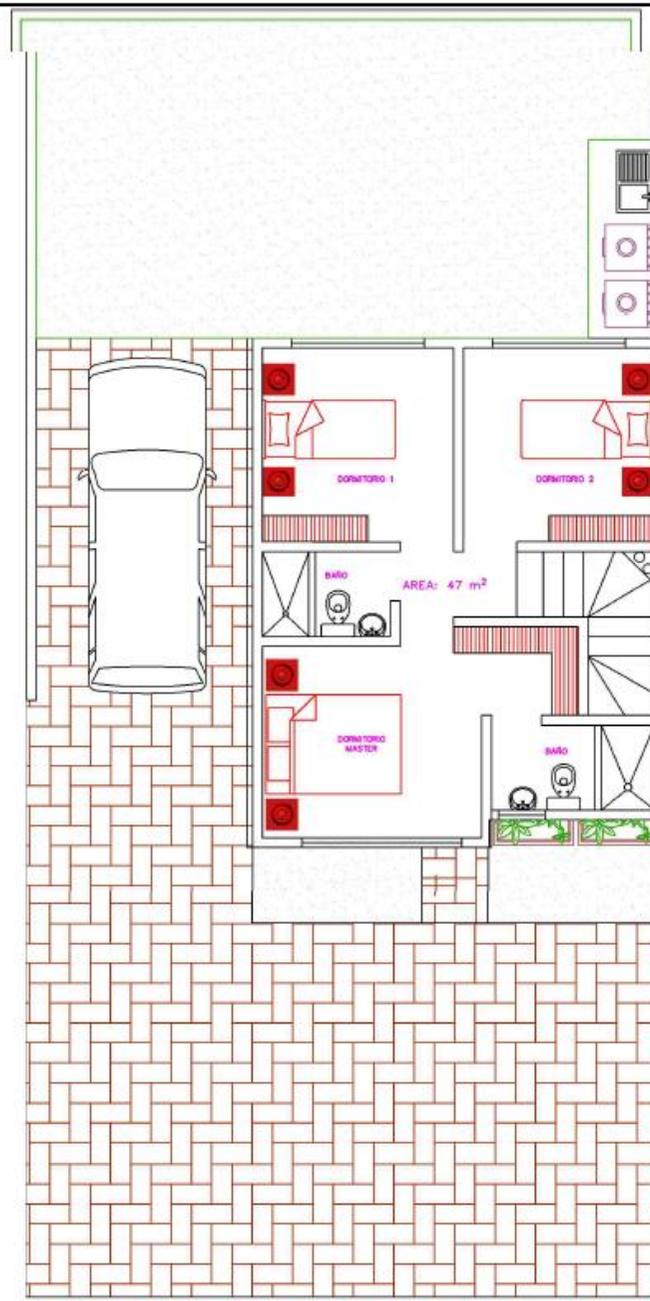


Sección circular



Anexo C

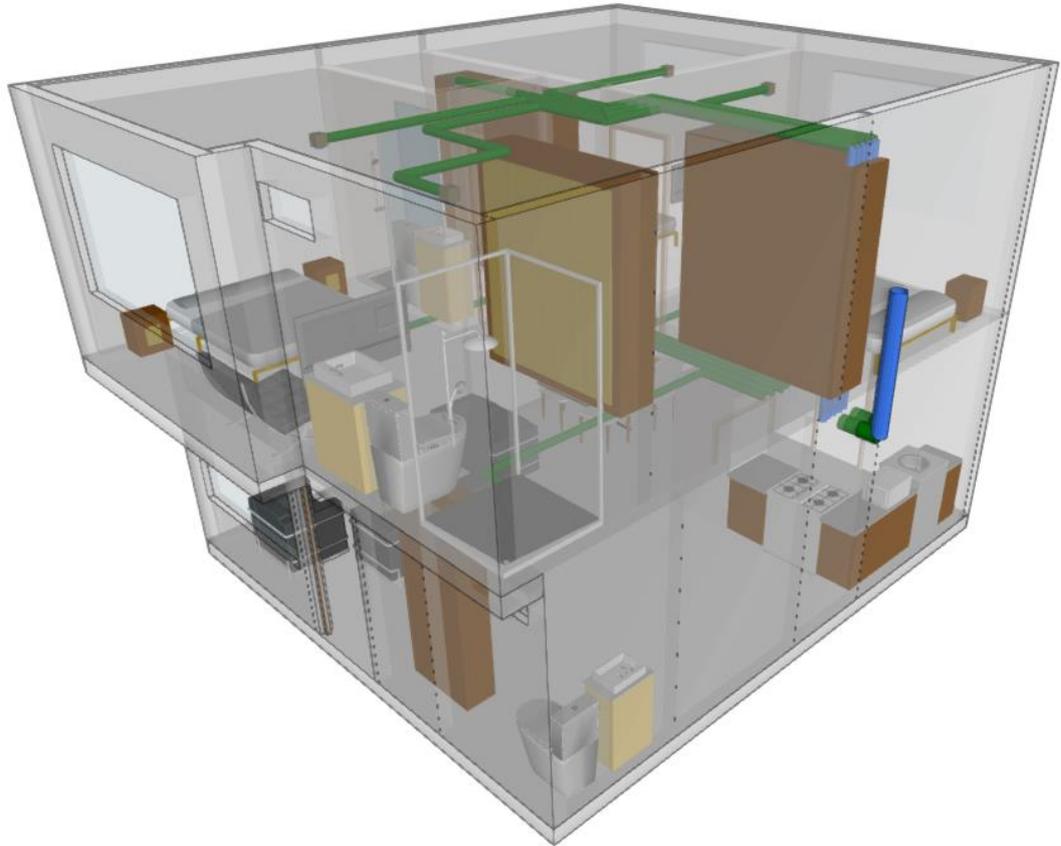
Planos vivienda unifamiliar



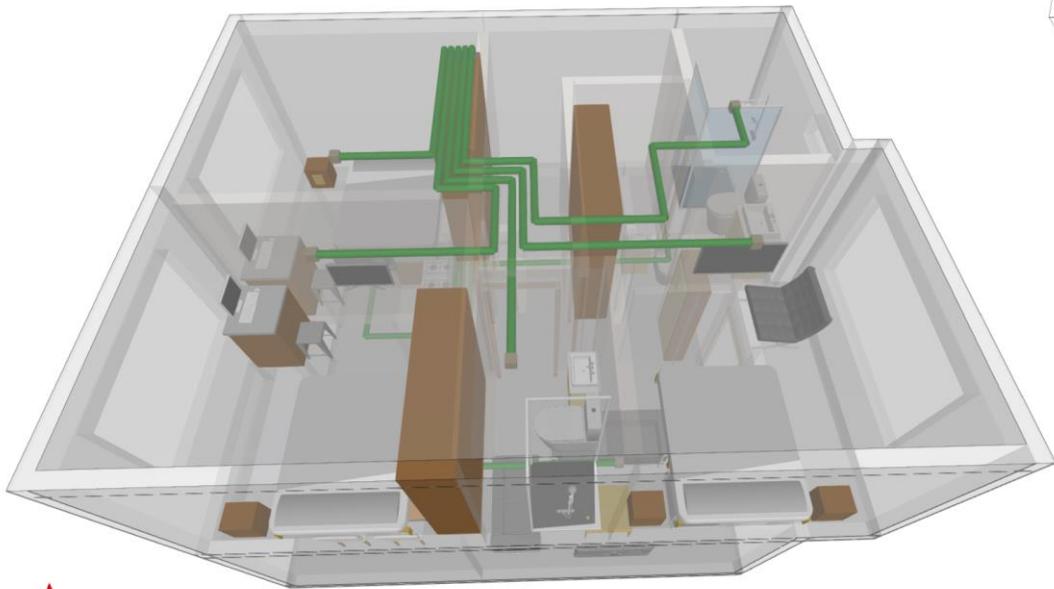
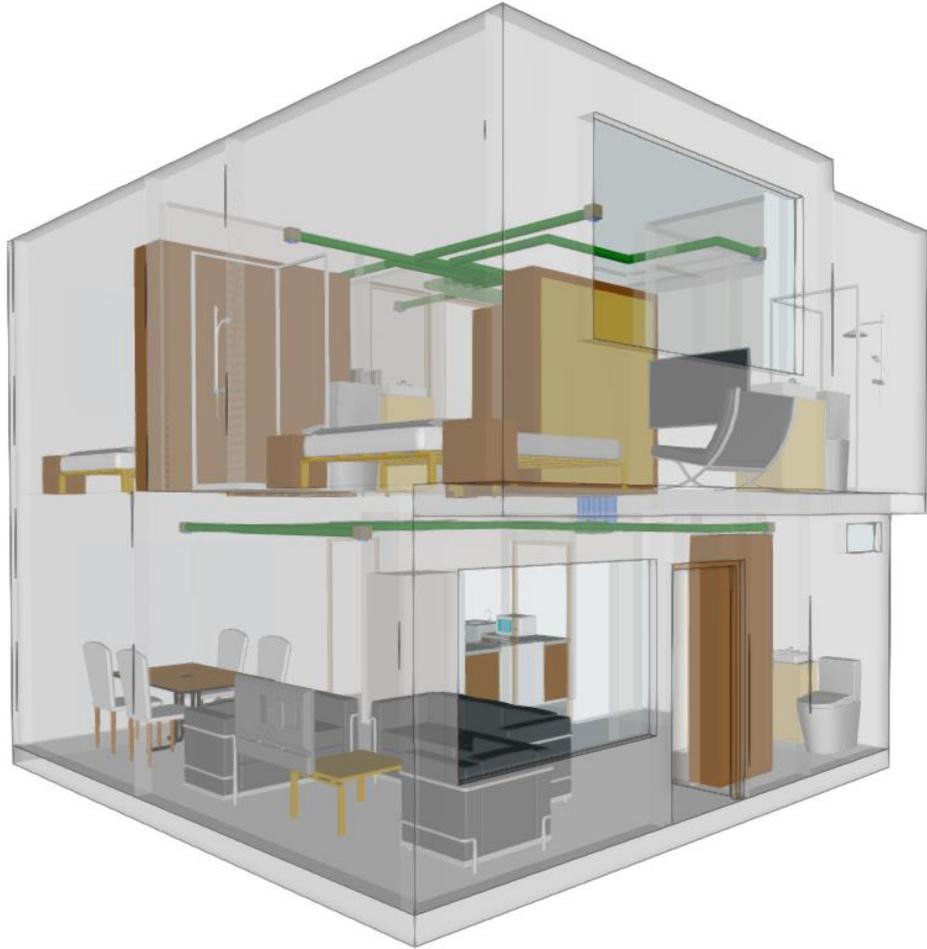
Tratamiento térmico:	NA	Material:	NA	Dim. brutas:	7x6.20x2.30 m
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA		UPS	Diseñó:	Pozo Esteban	2021-05-10
			Dibujó:	Arias Samantha	2021-05-10
			Revisó:	Ing. Carlos Maldonado	2021-05-10
VIVIENDA UNIFAMILIAR 90m2		Escala:	Código:	00.0000.00	Tot. Gral.: NA
		SE			

Anexo D

Distribución 3D ductos de sistema VMC







|

