



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN
PARA EL REFUGIO DEL CHIMBORAZO”**

AMANGANDI AGUILAR ÁNGEL REMIGIO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Diciembre, 17 del 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ÁNGEL REMIGIO AMANGANDI AGUILAR

Titulada:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN PARA EL REFUGIO DEL CHIMBORAZO”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Ramiro Valenzuela S.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Rodrigo Díaz
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ÁNGEL REMIGIO AMANGANDI AGUILAR

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN PARA EL REFUGIO DEL CHIMBORAZO”

Fecha de Examinación: Diciembre 17 del 2012

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Ramiro Valenzuela S. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Rodrigo Díaz (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que se presenta, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ángel Remigio Amangandi Aguilar

DEDICATORIA

A mi madre por todo el amor, comprensión, consejos y su inagotable dedicación en la educación de sus hijos, que han sido los pilares fundamentales para conseguir mis objetivos.

A mi padre y hermanos por brindarme su apoyo incondicional y enseñarme que la perseverancia y dedicación traen grandes recompensas.

A mi esposa y mi hija por ser la fuente de inspiración y dedicación que me llevaron a conseguir mi meta.

Ángel Remigio Amangandi Aguilar

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad y a mi familia.

Infinito agradecimiento a Dios por mis padres y por todas las personas que han estado en forma incondicional en la elaboración y la culminación de esta trabajo.

Ángel Remigio Amangandi Aguilar

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo, Diseño de un Sistema de Climatización para el Refugio del Chimborazo, surge de la necesidad de brindar un ambiente de confort a los turistas y deportistas que frecuentan los refugios del Chimborazo, para lo cual se ha decidido implementar un sistema de climatización que se convierta en una prioridad, debido a las condiciones climáticas que se tiene en las faldas del volcán Chimborazo, por su altitud y situación geográfica, posee bajas temperaturas inferiores a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y con una humedad relativa promedio del 60%.

El estudio desarrollado para el presente proyecto involucra el cálculo de las cargas térmicas de calefacción, tomando en cuenta todos los aspectos que intervienen en las pérdidas de calor, siguiendo las normas ASHRAE y el reglamento RITE para sistemas de calefacción por agua caliente y sus aplicaciones.

Se analizaron dos sistemas de calefacción, por radiadores y por suelo radiante, y se determina que el sistema de calefacción por suelo radiante es el más óptimo para el lugar, debido a sus beneficios, consumo energético, mantenimiento en las instalaciones y, menor impacto en el ambiente.

Posteriormente se indican todos los equipos con la capacidad necesaria para obtener un ambiente de comodidad, así como también el dimensionamiento y selección de las tuberías de conducción, la cantidad de material e insumos para su instalación, el número de radiadores, la longitud de tubería de los circuitos calefactores y otros componentes, además de los costos involucrados para la instalación del sistema de calefacción.

ABSTRACT

This work research, Design of a System of Weatherization to the Shelter of Chimborazo mountain, was performed because of the necessity of creating a comfortable environment for tourists and sportsmen that usually stay at the shelters of Chimborazo, to get result the implementation of a system of weatherization becomes priority due the climate conditions that are on the slopes of Chimborazo mountain, the altitude and geographic situation that have low temperatures, lower than $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, and with a relative humidity of 60%.

The study developed for the present project involves calculus of thermic charges of heating, taking in count that every aspect are part of losing heating, following the norm ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioner Engineers, and the regulations RITE (Regulations of Thermic Installations of Buildings for heating systems through hot water and applications).

Two systems of heating were analyzed, by radiator and hot soil; the heating system was determined as the most optimum for this place, because of its benefit, energetic consumption, maintenance of the company, and minor impact to the environment.

Later, the equipment with good capacity was determined in order to get a comfortable environment, the sizing, the choice of the pipelines, the quantity of material, inputs for installation, the number of radiators, length of pipe of the heating circuits, the cost of installation of the heating system, and other components were also shown.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Condiciones de aire disponible en los refugios Carrel y Whymper56
2	Condiciones interiores para el diseño, de los refugios Carrel y Whymper.....58
3	Coeficiente global de transferencia de calor para las ventanas60
4	Coeficiente global de transferencia de calor para el tragaluz.61
5	Coeficiente del ambiente convectivo exterior e interior del aire62
6	Coeficiente de transferencia de calor para el techo63
7	Coeficiente de transferencia de calor para el piso -entrepiso64
8	Coeficiente de transferencia de calor para el piso-contrapiso65
9	Coeficiente de transferencia de calor para las paredes exteriores66
10	Coeficiente de transferencia de calor para las paredes interiores67
11	Coeficiente de transferencia de calor para las ventanas68
12	Coeficiente de transferencia del tragaluz.....69
13	Carga térmica a través de paredes (refugio Carrel)72
14	Carga térmica a través del piso (refugio Carrel).....73
15	Carga térmica a través del techo (refugio Carrel).....73
16	Carga térmica a través del tragaluz (refugio Carrel).....74
17	Carga térmica a través de las puertas (refugio Carrel).....74
18	Carga térmica del comedor (refugio Carrel).....76
19	Carga térmica por ventilación (refugio Carrel76
20	Resumen de la carga térmica (refugio Carrel).....77
21	Carga térmica a través de las paredes (refugio Whymper).....80
22	Carga térmica a través del piso (refugio Whymper).....81
23	Carga térmica a través del techo (refugio Whymper).....81

24	Carga térmica a través del tragaluz (refugio Whymper).....	81
25	Carga térmica a través de las puertas (refugio Whymper).....	82
26	Carga térmica del comedor (refugio Whymper).....	83
27	Carga térmica por ventilación (refugio Whymper).....	83
28	Resumen de la carga térmica (refugio Whymper)	84
29	Calor emitido por los radiadores (refugio Carrel)	90
30	Diámetro y pérdidas de carga por tubería hidro 3 (refugio Carrel)	92
31	Coefficiente de pérdida de carga por fricción para accesorios	93
32	Pérdidas de carga por accesorios (refugio Carrel)	93
33	Pérdidas de carga por radiadores (refugio Carrel)	94
34	Pérdidas de carga total del circuito más desfavorable (refugio Carrel)	95
35	Calor emitido por los radiadores y pérdidas a través de tuberías (refugio Carrel)	97
36	Calor emitido por los radiadores (refugio Whymper)	102
37	Diámetro y pérdidas de carga por tubería hidro 3 (refugio Whymper)	103
38	Pérdidas de carga por accesorios (refugio Whymper)	104
39	Pérdidas de carga por radiadores (refugio Whymper)	104
40	Pérdidas de carga total del circuito más desfavorable (refugio Whymper)	105
41	Calor emitido por radiadores y pérdidas a través de tuberías (refugio whymper)	106
42	Calor emitido por el suelo radiante del refugio Carrel	118
43	Calor emitido por el suelo radiante del refugio Whymper	119
44	Longitud de las tuberías del circuito calefactor (refugio Carrel).....	121
45	Pérdidas por tuberías del circuito calefactor (refugio Carrel).....	122
46	Pérdidas de carga por tuberías, accesorios y colectores (refugio Carrel)	123
47	Pérdidas de carga total por tubería y accesorios (refugio Carrel).....	124

48	Calor emitido por los circuitos calefactores y pérdidas a través de tuberías de conducción (refugio Carrel)	125
49	Longitud de las tuberías del circuito calefactor (refugio Whympet).....	129
50	Pérdidas de carga por tuberías del circuito calefactor (refugio Whympet)	130
51	Pérdidas de carga por tuberías, accesorios y colectores (refugio Whympet)	131
52	Pérdidas totales por tubería y accesorios (refugio Whympet).....	132
53	Calor emitido por los circuitos calefactores y pérdidas a través de tuberías de conducción (refugio Whympet).....	133
54	Características técnicas y dimensiones de radiadores.....	136
55	Dimensiones de las tuberías hidro 3	137
56	Características técnicas de la caldera de pellets.....	138
57	Características técnicas del vaso de expansión.....	140
58	Características del colector de distribución	141
59	Dimensiones de las tuberías de polietileno reticulado.....	142
60	Características técnicas de la caldera de pellets.....	144
61	Características técnicas del vaso de expansión.....	146
62	Costos de equipos para el refugio Carrel	150
63	Costos de equipos para el refugio Whympet	150
64	Costos de accesorios para el refugio Carrel.....	151
65	Costos de accesorios para el refugio Whympet.....	151
66	Costos de mano de obra para los refugios Carrel y Whympet	151
67	Costos de herramientas para los refugios Carrel y Whympet	152
68	Costos por transporte	152
69	Costos directos.....	152
70	Costos indirectos (25%).....	153
71	Costo total del proyecto	153

72	Costos de equipos para el refugio Carrel.....	154
73	Costos de equipos para el refugio Whymper.....	154
74	Costos de accesorios para el refugio Carrel.....	155
75	Costos de accesorios para el refugio Whymper.....	155
76	Costos de mano de obra para los refugios Carrel y Whymper.....	155
77	Costos de equipos y herramientas para los refugios Carrel y Whymper.....	156
78	Costos por transporte.....	156
79	Costos directos.....	157
80	Costos indirectos (25%).....	157
81	Costo total del proyecto.....	158
82	Mantenimiento del sistema.....	159

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Sistema de calefacción por aire caliente 14
2	Acumuladores eléctricos..... 16
3	Convectores eléctricos 17
4	Potenciales usos de los fluidos geotermales a diferentes temperaturas 19
5	Conexiones domesticas de sistemas de calefacción geotérmica..... 21
6	Mapa de Ecuador con los recursos geotérmicos existentes 22
7	Componentes de un sistema de calefacción por agua caliente 23
8	Caldera de condensación de gas 25
9	Caldera de gasóleo (Fuel oil No 2)..... 26
10	Caldera por gas propano 27
11	Caldera de pellets..... 28
12	Quemador para la caldera de pellets 30
13	Bomba de calor 31
14	Esquema de calefacción con energía solar 33
15	Tubería hidro 3..... 34
16	Tubería de polietileno reticulado 36
17	Bomba de recirculación para agua caliente 36
18	Radiador de acero o aluminio 37
19	Convector utilizado en calefacción hidrónica..... 38
20	Zoclo utilizado en calefacción hidrónica 39
21	Toallero utilizado en calefacción hidrónica..... 39
22	Esquema de suelo radiante con difusores de aluminio 41
23	Esquema de un difusor de aluminio..... 42
24	Esquema de distribuidor utilizado en calefacción por suelo radiante..... 44

25	Distribución en serpentín	44
26	Distribución en doble serpentín	45
27	Distribución en espiral	45
28	Tubería de conducción para agua caliente con aislamiento térmico	49
29	Vaso de expansión	52
30	Modelo para la reconstrucción del refugio Carrel	57
31	Esquema de la placa de aislamiento térmico colocado en el tragaluz	61
32	Composición y materiales del techo	63
33	Composición y materiales del piso-entrepiso	64
34	Composición y materiales del piso-contrapiso	65
35	Composición y materiales de las paredes exteriores	66
36	Composición y materiales de las paredes interiores	67
37	Composición y materiales de las ventanas	68
38	Composición y materiales del tragaluz	69
39	Esquema de los dormitorios (refugio Carrel)	71
40	Esquema del comedor (refugio Carrel).....	75
41	Esquema de los dormitorios (refugio Whympen)	79
42	Esquema del comedor (refugio Whympen).....	82
43	Esquema de un radiador para $\Delta T= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	87
44	Circuito de calefacción por radiadores para los dormitorios (refugio Carrel).....	89
45	Circuito de calefacción por radiadores para el comedor (refugio Carrel)	90
46	Esquema del circuito más desfavorable (refugio Carrel).....	95
47	Circuito de calefacción por radiadores para los dormitorios (refugio Whympen)	
	101	
48	Circuito de calefacción por radiadores para el comedor (refugio Whympen)	102

49	Esquema del circuito más desfavorable (refugio Whympers).....	105
50	Esquema de composición del suelo radiante	109
51	Circuito por suelo radiante para los dormitorios (refugio Carrel)	120
52	Circuito por suelo radiante para el comedor (refugio Carrel).....	121
53	Esquema del circuito más desfavorable del sistema (refugio Carrel).....	124
54	Circuito por suelo radiante para los dormitorios (refugio Whympers)	128
55	Circuito por suelo radiante para el comedor (refugio Whympers).....	129
56	Esquema del circuito más desfavorable (refugio Whympers).....	132
57	Curvas de funcionamiento de la bomba grundfos UPS	140
58	Curvas de funcionamiento de la bomba grundfos UPS	145
58	Esquema del flujo de energía desde el generador hacia los consumidores	147

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
Q:	Calor.
qs:	Calor sensible
K:	Conductividad térmica.
A:	Área.
L:	Longitud.
T:	Temperatura.
h:	Coefficiente de transferencia de calor por convección.
σ:	Constante de Stefan-Boltzmann.
ϵ:	Coefficiente de emisividad.
C_p:	Calor específico.
U:	Coefficiente global de transmisión de calor.
T_{ext} :	Temperatura exterior.
T_{int} :	Temperatura interior.
DT:	Diferencia de temperaturas.
V:	Caudal de infiltración de aire.
ΣA:	Sumatoria de áreas.
R:	Resistencia térmica.
R_{eq}:	Resistencia equivalente.
ΣR:	Sumatoria de resistencias.
L_s:	Longitud del serpentín.
\dot{m}:	Flujo másico.
\bar{v}:	Velocidad promedio.
ρ:	Densidad.
Re:	Número de Reynolds.
μ:	Viscosidad dinámica.
D_i:	Diámetro interior.
Pr:	Número de Prandtl.

λ :	Factor de fricción.
Nu :	Número de Nusselt.
r_i :	Radio interior.
r_o :	Radio exterior.
g :	Gravedad terrestre.
V :	Volumen del local a calefactar.
ρ_a :	Densidad del aire.
n :	Número de renovaciones horarias.
H :	Pérdida de carga total de la instalación.
J :	Pérdida de carga de la tubería.
k :	Rugosidad interna absoluta.
h :	Pérdida en accesorios.
V_i :	Volumen total del vaso de expansión.
V :	Contenido total de agua en el circuito.
C_e :	Coefficiente de dilatación del fluido.
C_p :	Coefficiente de presión del gas.
P_M :	Presión máxima.
P_m :	Presión mínima.

LISTA DE ABREVIACIONES

ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado Ingenieros (American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioner Engineers)
RITE	Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios

LISTA DE ANEXOS

- A Carta Psicométrica en las faldas del nevado Chimborazo
- B Propiedades del poliestireno expandido con película antivapor (catálogo ROTH)
- C Coeficiente global de transferencia de calor recomendado según la Norma IRAM Argentina 11605:1996 para techos y muros
- D Propiedades de los materiales
- E Resistencia térmica de superficies con películas y espacios de aire
- F Propiedades del agua
- G Propiedades de la tubería hidro 3 (catálogo industria saladillo)
- H Propiedades de las cañuelas de lana de vidrio rígida (catálogo FIBER GLASS)
- I Pérdidas de carga por componentes
- J Propiedades de la tubería de polietileno reticulado (catálogo Salvador Escoda)
- K Propiedades del poliuretano expandido
- L Características de la caldera de pellets automático y el quemador (catálogo Salvador Escoda)
- M Características de la bomba de circulación para agua caliente (catálogo bombas Grundfos)
- N Colectores de distribución para piso radiante (catálogo Salvador Escoda)
- O Radiador de aluminio, accesorios, valvulas (catálogo Salvador Escoda)
- P Vaso de expansión de membrana fija (catálogo Salvador Escoda)
- Q Pérdidas por accesorios

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	8
1.2 Justificación técnica y social	9
1.3 Objetivos	11
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	11
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	11
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Sistemas de calefacción	12
2.2 Sistemas de calefacción por aire	13
2.2.1 <i>Sistema de volumen de aire variable (VAV)</i>	13
2.2.2 <i>Sistema de conductos VAV</i>	14
2.3 Sistemas de calefacción eléctricos	15
2.3.1 <i>Calefacción eléctrica por acumuladores</i>	15
2.3.2 <i>Calefacción eléctrica por convectores</i>	16
2.4 Sistemas de calefacción con energía geotérmica	17
2.4.1 <i>Aplicaciones de la energía geotérmica</i>	18
2.4.2 <i>Calefacción con energía geotérmica</i>	19
2.4.2.1 <i>Tipos de captación geotérmica</i>	20
2.4.3 <i>Situación actual de la geotermia en Ecuador</i>	21
2.5 Sistemas de calefacción hidrónica	23
2.5.1 <i>Definición</i>	23
2.5.2 <i>Componentes de un sistema de calefacción hidrónica</i>	23

2.5.3	<i>Fuentes de calor para calefacción</i>	24
2.5.3.1	<i>Caldera de condensación de gas</i>	24
2.5.3.2	<i>Caldera de gasóleo (fuel oil No 2)</i>	25
2.5.3.3	<i>Caldera de gas propano</i>	26
2.5.3.4	<i>Caldera de pellets</i>	27
2.5.3.5	<i>Bombas de calor</i>	31
2.5.3.6	<i>Calentadores solares de agua</i>	32
2.5.4	<i>Tubería usada en agua caliente</i>	33
2.5.4.1	<i>Tuberías de cobre</i>	33
2.5.4.2	<i>Tubería hidro 3</i>	34
2.5.4.3	<i>Tubería de polietileno reticulado</i>	35
2.5.5	<i>Bomba de recirculación</i>	36
2.6	Unidades terminales del sistema hidrónico	37
2.6.1	<i>Radiadores</i>	37
2.6.2	<i>Convectores</i>	38
2.6.3	<i>Zoclos</i>	38
2.6.4	<i>Radiadores-toalleros</i>	39
2.6.5	<i>Suelo radiante</i>	40
2.6.5.1	<i>Suelo radiante con difusores</i>	40
2.6.5.2	<i>Componentes del suelo radiante con difusores de aluminio</i>	41
2.6.5.3	<i>Distribución de los tubos en suelo radiante</i>	44
2.7	Parámetros de diseño	46
2.7.1	<i>Coeficiente global de transferencia de calor</i>	46
2.7.2	<i>Carga térmica de calefacción</i>	47
2.7.2.1	<i>Pérdida de calor a través del techo, pared, piso, ventanas y tumbado</i>	47

2.7.2.2	<i>Carga térmica por ventilación o infiltración de aire exterior</i>	47
2.7.3	<i>Pérdidas de calor a través de tuberías</i>	48
2.7.4	<i>Pérdidas de carga por fricción en tuberías y accesorios</i>	49
2.7.4.1	<i>Pérdidas de carga por fricción en tuberías</i>	50
2.7.4.2	<i>Pérdidas de carga por fricción en accesorios</i>	51
2.7.5	<i>Vasos de expansión</i>	51
2.7.5.1	<i>Volumen del vaso de expansión (según el RITE)</i>	52
2.7.5.2	<i>Volumen total de agua en el circuito (V)</i>	53
2.7.5.3	<i>Coeficiente de dilatación del fluido (Ce)</i>	53
2.7.5.4	<i>Coeficiente de presión del gas (Cp)</i>	53
3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN	
3.1	Ubicación y condiciones de aire disponible	55
3.1.1	<i>Propuesta para la reconstrucción de los refugios</i>	56
3.1.2	<i>Condiciones interiores requeridas para el lugar.</i>	57
3.2	Cálculo de la carga térmica de calefacción	58
3.2.1	<i>Composición y materiales de las edificaciones.</i>	58
3.2.2	<i>Cálculo del coeficiente convectivo por película de aire</i>	62
3.2.3	<i>Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor total</i>	62
3.2.3.1	<i>Coeficiente global de transferencia de calor para el techo</i>	63
3.2.3.2	<i>Coeficiente global de transferencia de calor para el piso-entrepiso</i>	64
3.2.3.3	<i>Coeficiente global de transferencia de calor para el piso-contrapiso</i>	65
3.2.3.4	<i>Coeficiente global de transferencia de calor para las paredes exteriores</i>	66
3.2.3.5	<i>Coeficiente global de transferencia de calor para las paredes interiores</i>	67
3.2.3.6	<i>Coeficiente global de transferencia de calor para las ventanas</i>	68

3.2.3.7	<i>Coeficiente global de transferencia de calor para el tragaluz</i>	69
3.3	Cálculo de carga térmica	70
3.3.1	<i>Carga térmica del refugio hermanos Carrel</i>	70
3.3.1.1	<i>Resumen de la carga térmica total</i>	77
3.3.1.2	<i>Carga térmica total más representativas de la edificación</i>	78
3.3.2	<i>Carga térmica del refugio Edward Whymper</i>	78
3.3.2.1	<i>Resumen de la carga térmica total</i>	84
3.3.2.2	<i>Carga térmica total más representativa de la edificación</i>	85
3.4	Calefacción por radiadores hidrónicos	86
3.5	Dimensionamiento de los radiadores	86
3.5.1	<i>Sistema de calefacción por radiadores para el refugio Carrel</i>	88
3.5.1.1	<i>Diámetro y pérdidas de carga por fricción de la tubería</i>	91
3.5.1.2	<i>Pérdidas de carga por fricción de accesorios</i>	92
3.5.1.3	<i>Pérdidas de carga por los radiadores</i>	94
3.5.1.4	<i>Pérdidas de carga por la caldera</i>	94
3.5.1.5	<i>Circuito más desfavorable para la selección de la bomba</i>	94
3.5.1.6	<i>Pérdidas de calor por el sistema de calefacción</i>	96
3.5.1.7	<i>Cálculo del vaso de expansión</i>	98
3.5.2	<i>Sistema de calefacción por radiadores para el refugio Whymper</i>	100
3.5.2.1	<i>Diámetro y pérdidas de carga por fricción de la tubería</i>	103
3.5.2.2	<i>Pérdidas de carga por fricción de accesorios</i>	103
3.5.2.3	<i>Pérdidas de carga por radiadores</i>	104
3.5.2.4	<i>Pérdidas de carga por la caldera</i>	105
3.5.2.5	<i>Circuito más desfavorable para la selección de la bomba</i>	105
3.5.2.6	<i>Pérdidas de calor por el sistema de calefacción</i>	106

3.5.2.7	<i>Cálculo del vaso de expansión.....</i>	107
3.6	Cálculo térmico del suelo radiante	109
3.6.1.1	<i>Cálculo del calor emitido por el suelo radiante</i>	110
3.6.1.2	<i>Calor ascendente (q_1)</i>	116
3.6.1.3	<i>Calor descendente (q_2).....</i>	117
3.6.1.4	<i>Temperatura de la superficie de la placa de aluminio</i>	118
3.6.1.5	<i>Temperatura del suelo radiante.....</i>	118
3.6.2	<i>Calor emitido por el suelo radiante para los refugios Carrel y Whymper</i>	118
3.6.2.1	<i>Longitud de tubería del circuito calefactor</i>	119
3.6.3	<i>Cálculo del sistema de suelo radiante para el refugio Carrel</i>	119
3.6.3.1	<i>Cálculo de la longitud de tubería del circuito calefactor.....</i>	120
3.6.3.2	<i>Pérdidas de carga por fricción de las tuberías calefactores.....</i>	122
3.6.3.3	<i>Pérdidas de carga por fricción de las tubería y accesorios de conducción.....</i>	122
3.6.3.4	<i>Pérdidas de carga por la caldera</i>	123
3.6.3.5	<i>Circuito más desfavorable para la selección de la bomba.....</i>	123
3.6.3.6	<i>Pérdidas de calor por el sistema de calefacción</i>	125
3.6.3.7	<i>Cálculo del vaso de expansión.....</i>	126
3.6.4	<i>Cálculo del sistema de suelo radiante para el refugio Whymper.....</i>	128
3.6.4.1	<i>Cálculo de la longitud de tubería del circuito calefactor.....</i>	128
3.6.4.2	<i>Pérdidas de carga por fricción de las tuberías calefactores.....</i>	130
3.6.4.3	<i>Pérdidas de carga por fricción de la tubería y accesorios de conducción</i>	130
3.6.4.4	<i>Pérdidas de carga por la caldera</i>	131
3.6.4.5	<i>Circuito más desfavorable para la selección de la bomba.....</i>	131
3.6.4.6	<i>Pérdidas de calor por el sistema de calefacción</i>	133
3.6.4.7	<i>Cálculo del vaso de expansión.....</i>	134

3.7	Selección de equipos y elementos	136
3.7.1	<i>Selección de equipos para calefacción por radiadores</i>	136
3.7.1.1	<i>Selección del radiador</i>	136
3.7.1.2	<i>Selección de la tubería de conducción</i>	137
3.7.1.3	<i>Selección de la caldera</i>	137
3.7.1.4	<i>Selección de la bomba de circulación</i>	139
3.7.1.5	<i>Selección del vaso de expansión</i>	140
3.7.2	<i>Selección de equipos para calefacción por suelo radiante</i>	141
3.7.2.1	<i>Selección del colector de distribución</i>	141
3.7.2.2	<i>Selección de la tubería para los circuitos calefactores</i>	142
3.7.2.3	<i>Selección de la caldera</i>	143
3.7.2.4	<i>Selección de la bomba de circulación</i>	144
3.7.2.5	<i>Selección del vaso de expansión</i>	146
3.7.3	<i>Selección de la fuente de energía</i>	147
4.	ANÁLISIS DE COSTOS	
4.1	Generalidades	148
4.1.1	<i>Costos</i>	148
4.1.1.1	<i>Costos directos</i>	148
4.1.1.2	<i>Costos indirectos</i>	149
4.2	Análisis de costos del sistema de calefacción por suelo radiante	149
4.2.1	<i>Costos directos</i>	150
4.2.2	<i>Costos indirectos</i>	153
4.2.3	<i>Costo total del proyecto</i>	153
4.3	Análisis de costos del sistema de calefacción por radiadores	154

4.3.1	<i>Costos directos</i>	154
4.3.2	<i>Costos indirectos</i>	157
4.3.3	<i>Costo total del proyecto</i>	157
4.4	Mantenimiento del sistema	159
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	Conclusiones	160
5.2	Recomendaciones	161

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El Chimborazo es el volcán y montaña más alta del Ecuador es el punto más alejado del centro de la tierra, está situado en los Andes centrales, a 150 km al sudoeste de Quito y a 20 Km al noreste de Riobamba. Posee una altitud de 6310 msnm con coordenadas geográficas 1° 28' 09" S (latitud) y de 78° 49' 03" O (longitud). En su ladera cara oeste se encuentra los refugios denominados, hermanos Carrel a 4858 msnm y Edward Whymper a 5044 msnm, la zona tiene temperaturas que oscilan entre -4 a 14 °C. Actualmente estos refugios son administrados por el ministerio de turismo y ministerio del ambiente, los cuales se encargan de brindar los servicios turísticos a la gran afluencia de turistas y deportistas que practican el montañismo. Los refugios acogen gran cantidad de turistas nacionales y extranjeros existiendo un mayor número los fines de semana y días feriados.

Las edificaciones se estima que fueron realizadas en la década de los años 80, utilizando materiales y componentes de la época. A continuación se realiza un breve análisis de las partes más importantes que constituyen la edificación:

- La cubierta es de placas de fibrocemento, se observa que existe gran fuga de calor por aquí, debido a la composición y al material por el que está constituido.
- Las paredes exteriores son de ladrillo, enlucidas con mortero, su espesor es aproximadamente de 20 cm.
- Las paredes interiores son de ladrillo, recubiertas por placas de triplex que funcionan como material de aislamiento térmico.
- Las ventanas poseen doble vidrio con marco de madera, y se observa que por las mismas existe grandes pérdidas de calor.
- Las puertas interiores y exteriores son de madera.

- El contrapiso y entrepiso está constituido por duelas de madera.
- La chimenea está situada en la planta baja de la edificación, utiliza leña como combustible para generar calor.
- En la actualidad los refugios no cuentan con energía eléctrica, como parte del proyecto de reconstrucción que fue presentado a la entidad administradora por el consultor, está la de instalar un generador eléctrico u otra fuente que dote de este servicio al lugar.

Las edificaciones no cuentan con ningún sistema de calefacción para contrarrestar las bajas temperaturas que se producen en este lugar, especialmente en las noches, llegando a temperaturas inferiores a -4 °C. La única fuente de energía calorífica que se utiliza es una chimenea y el calor generado por esta se concentra en un solo punto, teniendo como resultado que no brinda la temperatura de confort necesaria a las demás áreas de la edificación.

El clima en este lugar está relacionado con la altitud y la latitud en general se considera que es un clima frío, con aire muy seco y posee dos fases estacionales, una lluviosa entre Noviembre y Marzo, y una seca de Abril a Octubre. Además posee uno de los ecosistemas con gran biodiversidad de flora y fauna única en nuestra región, pero lo más importante de esto es la propiedad de almacenar grandes cantidades de agua que se filtran en la tierra por lo permeable de su suelo, las que filtradas alimentan tierras aledañas regulando el microclima de la sierra.

1.2 Justificación técnica y social

Ecuador es un país que a pesar de su pequeña extensión, sorprende a todos con la cantidad de ambientes y paisajes que ofrece a los turistas y deportistas, está atravesado por el sistema montañoso de los Andes, volcanes activos e inactivos, ofreciendo las condiciones ideales para practicar los deportes de montaña.

El nevado Chimborazo de 6310m es apto para andinistas, para esta actividad se debe contar con guías especializados para esta actividad ya que es un desafío a la destreza, habilidad y

resistencia del ser humano, las temporadas recomendables para esta actividad son entre Octubre y Febrero y entre Junio y Agosto. Los refugios Carrel y Whympers ubicados en las faldas del volcán están dentro de un parque ecológico cuyo objetivo central es la preservación de especies propias del ecosistema andino, como la vicuña, la llama y la alpaca, toda esta fauna y flora existen en los alrededores se puede observar en actividades de caminatas sin la guía de un experto o a su vez durante el recorrido del camino hacia los refugios.

En la actualidad en el país se ha optado por impulsar el turismo como sector básico y estratégico del desarrollo económico nacional, dado que contribuye sustancialmente a mejorar el ingreso de divisas, disminuir el déficit fiscal y sobre todo a generar nuevos empleos. En efecto, el turismo abarca una amplia gama de actividades, productos y servicios que se desarrollan prácticamente en todos los sectores de la economía: agricultura, ganadería, industrias manufactureras, artesanías, comercio, hoteles y restaurantes, construcción, transporte, comunicaciones, establecimientos financieros, etc.

El nevado Chimborazo además de ser atractivo para los andinistas es un sitio que es frecuentado en su mayoría por personas que gozan de realizar actividades de observación y excursionismo, por esta razón los servicios que se prestan deben ser orientados hacia las personas que mayormente frecuentan estos sitios y tiene como destino final los refugios.

Por las condiciones climáticas y de bajas temperaturas que se tienen en el lugar, los refugios como un requisito prioritario deben disponer de calefacción en todas sus instalaciones y las habitaciones deben disponer de ventilación directa al exterior o a patios no cubiertos. Además debe contar con servicios básicos, material de socorro, servicios higiénicos, espacio para secado de botas, ropa y otros.

Además se debe asegurar de que existe confort térmico, esto se logra cuando las personas no experimentan sensación de calor ni de frío; es decir, cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire son favorables a la actividad que desarrollan.

1.3 Objetivos.

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar un sistema de climatización para el refugio del Chimborazo.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Analizar el marco teórico sobre los sistemas de calefacción

Diseñar y seleccionar los equipos y componentes para el sistema de calefacción

Determinar el costo de instalación del sistema

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistemas de calefacción

En el presente capítulo se analiza la calefacción hidrónica, su definición, los sistemas alternativos más utilizadas en zonas frías y la descripción de cada una de ellas indicando el funcionamiento, elementos que lo compone y los factores indispensables para su aplicación en lugares que necesitan ser climatizados.

Los expertos en calefacción aseguran que existen algunas áreas más complejas de climatizar que otras, esto se debe a las extremas temperaturas a las que están expuestas; la calefacción en zonas frías es posible siempre y cuando este proceso se lleve a cabo con los correspondientes calefactores.

Existen diversas formas de lograr este cometido, una de ellas se relaciona con la calefacción hidrónica; para quienes no han escuchado hablar de ella se dice tiene como principales atributos ser eficiente y económica, brindar un calor agradable, sano y confortable por toda la vivienda. Lo particular de este sistema es que no necesita de ductos ni cuarto de máquinas para cumplir su labor, y, además, su costo de instalación es mucho más económico que el de otros sistemas.

La eficiencia del sistema de calefacción de un lugar estará determinada en gran medida por la comodidad que éste brindará; pero antes de optar por un calefactor que logre una calefacción en zonas frías sin problemas es necesario conocer todas las alternativas existentes.

2.2 Sistemas de calefacción por aire

Son los procesos relativos a la regulación de las condiciones ambientales con propósitos industriales o para hacer más confortable el clima de las viviendas. La calefacción eleva la temperatura en un espacio determinado, con respecto a la temperatura atmosférica, a un nivel satisfactorio. [1]

2.2.1 Sistema de volumen de aire variable (VAV)

Este sistema es utilizado con mucha comodidad en temporada de refrigeración pero para temporada de calentamiento tiene que añadirse una variedad de equipos tales como batería de calentamiento, radiadores, aleteados, etc., para aquellos espacios que se encuentran en contacto con el exterior. Se puede añadir una batería de calentamiento a una caja de volumen variable de aire (VAV). Este sistema también se lo puede utilizar en edificios de oficinas, escuelas y grandes almacenes, que son los principales usuarios de este tipo de sistema.

- **Unidad central.**- Consta de distribución con regulación de palas de entrada variable, control de velocidad variable o reguladores de descarga, baterías de enfriamiento con refrigerante o agua enfriada, filtros, baterías con vapor de agua o agua caliente para calentamiento de arranque, ventilador de aire de retorno modulado por los controles para adaptarse a las demandas del ventilador de distribución y una cámara impelente de aire de mezcla.

El ventilador de distribución se seleccionará de acuerdo con la carga calculada y presión estática del sistema. Para el diseño de un sistema VAV se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- ▶ **Aire exterior mínimo.**- Hay que tener mucho cuidado con el caudal de aire del ventilador de distribución, por lo que se recomienda mantener el mínimo caudal de aire exterior a través de un conducto corto con un sensor.

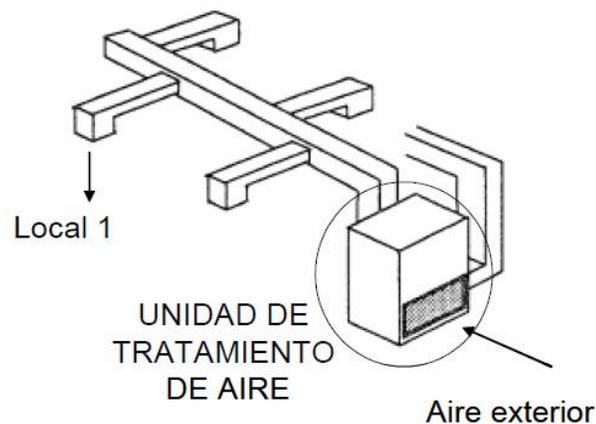
- ▶ **Presión estática del edificio.-** En esta sección los sensores tienen una función muy importante ya que deben tener una diferencia constante entre el aire de alimentación y de retorno modulando los caudales de aire de retorno y de evacuación.
- ▶ **Movimiento de aire de habitación.-** En este punto se tiene que seleccionar los difusores adecuados para un buen rendimiento.
- ▶ **Calefacción del edificio.-** A pesar de todos los aparatos eléctricos que producen calor estos no son suficientes en las noches donde el lugar está prácticamente desocupado tan solo el contacto exterior reduce la temperatura es por esta razón que al sistema VAV se le debe diseñar con una batería de calentamiento. Las cajas VAV deben ser diseñadas de tal forma que caliente el aire mínimo que normalmente va de 13 o 15 °C además del requerido para las pérdidas por transmisión.

2.2.2 Sistema de conductos VAV

Este diseño depende del espacio disponible en el techo, además un diseño a baja velocidad dará por resultado un menor coste de operación.

Los conductos de distribución deben estar o bien provistos de puertas de alivio o con capacidad suficiente para soportar toda la presión del ventilador en precaución a fallas del regulador de presión estática y la caja VAV cerradas.

Figura 1. Sistema de calefacción por aire caliente



Fuente: www.ikonet.com

2.3 Sistemas de calefacción eléctricos

La calefacción eléctrica, desde el punto de vista doméstico, es una calefacción limpia e individual que transforma la energía eléctrica en calorífica. [2]

2.3.1 Calefacción eléctrica por acumuladores

Los acumuladores eléctricos son elementos cerámicos que proporcionan calor de forma continua por radiación (acumuladores estáticos) o mediante turbina (acumuladores dinámicos). Están provistos de unas resistencias de alta calidad Ni/Cr 80-20 que durante la noche calientan unos ladrillos refractarios, que alcanzan temperaturas de aproximadamente 650°C, aunque con la protección del calorifugado (lana mineral o materiales asimilados), las partes externas no superan los 90°C de temperatura superficial por su propia radiación. La capacidad de almacenamiento nominal de calor se consigue con la conexión de las resistencias durante ocho horas ininterrumpidas.

Los ladrillos refractarios, por lo general, son del tipo cerámico aglutinante de magnesita en alta densidad. Por cada kW de acometida, se precisan 35 ó 40 kg de masa de ladrillo, lo que hace que estos radiadores sean ciertamente pesados. Por otra parte, los nuevos desarrollos los hacen bastante estéticos y decorativos, incluso ya es posible ofrecerlos en versión extraplana. Los acumuladores se presentan en diferentes potencias eléctricas a nivel doméstico, y suelen estar en torno a los 3,2 kW, 2,4 kW, 1,6 kW siempre en 220 V.

La regulación de los equipos se efectúa mediante dos reguladores (carga y descarga), y existe a la vez la posibilidad de funcionamiento en automático. El regulador de carga determina la cantidad de calor almacenado y, por consiguiente, la temperatura del núcleo de los ladrillos refractarios, con su termostato de seguridad. El regulador de descarga es un reglaje mecánico que abre o cierra un registro de salida que permite mayor circulación de aire y, por tanto, la obtención de una emisión de calor mayor o menor dependiendo de dicha regulación.

- **Inconvenientes**
- Los acumuladores son caros.
- El termo consume bastante en stand by.

Figura 2. Acumuladores eléctricos



Fuente: www.evconfort.com.

2.3.2 Calefacción eléctrica por convectores

Los convectores murales son una buena solución para aquellos usuarios que demandan un sistema sencillo de fácil colocación. Estos aparatos no requieren ningún tipo de obra siendo un sistema de calefacción económico tanto en la adquisición del producto como en su instalación. Se caracteriza por la inmediata obtención de calor, en pocos minutos los convectores son capaces proporcionar el confort demandado.

El funcionamiento de este tipo de aparatos está fundamentado en el calentamiento del aire al contacto con una resistencia calefactora situada en el interior. El flujo de aire por el interior puede realizarse por convección natural o forzado por ventiladores. Su contrastada

eficacia unida a su reducido peso y tamaño los hacen especialmente indicados para su colocación en lugares de espacio limitado siendo esta última una de sus mejores cualidades. Estos aparatos funcionan perfectamente como complemento de otro tipo de calefacciones.

- **Ventajas**

- ▶ La instalación de los convectores es barata y sin obras.

- **Inconvenientes**

- ▶ El coste del funcionamiento es elevado.
- ▶ El termo consume bastante en stand by.

Figura 3. Convectores eléctricos



Fuente: www.salvadorescoda.com

2.4 Sistemas de calefacción con energía geotérmica

La energía geotérmica es aquella que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor interno de la tierra con fines de generación de electricidad y aplicación de calor. Es un recurso:

- Sostenible ya que ofrece un flujo constante de producción energética sin dependencia de variaciones estacionales como ocurre con gran parte de las energías renovables.
- Renovable porque el calor que emana de la tierra es esencialmente ilimitado.
- Limpio debido a que los impactos medioambientales son destacablemente menores.
- Abundante porque el calor está disponible en todas partes y con una gran variedad de aplicaciones entre ellas la generación de electricidad. [3]

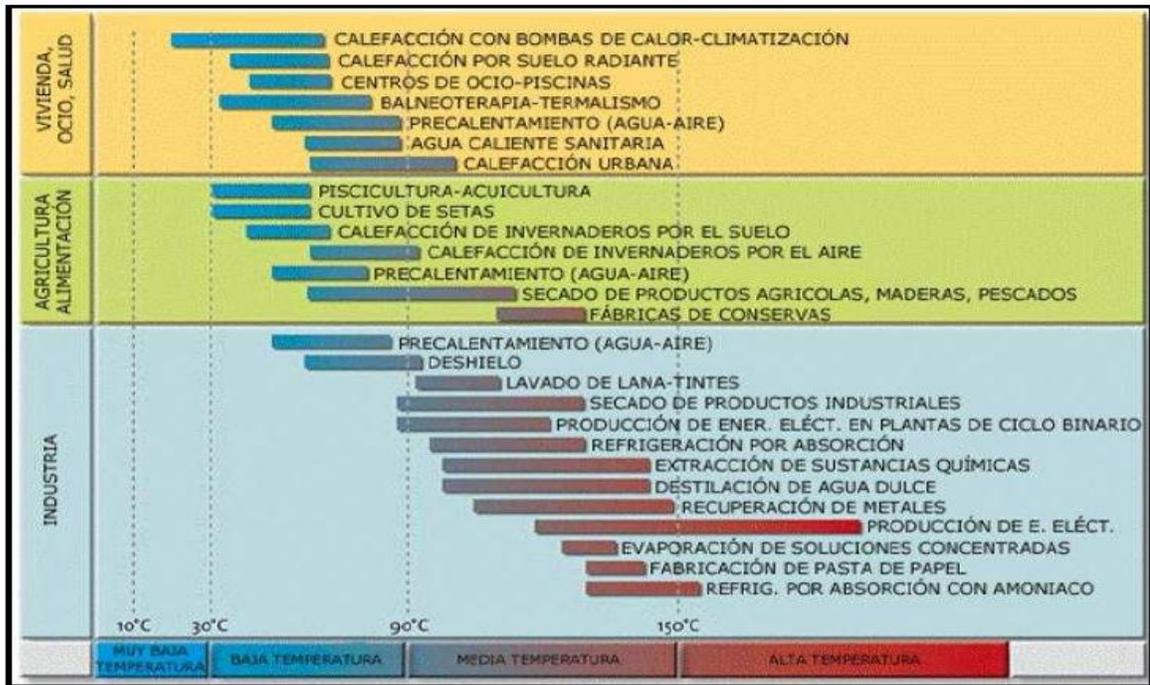
2.4.1 *Aplicaciones de la energía geotérmica*

La energía geotérmica puede ser usada tanto para la generación de electricidad, así como para el sector comercial, industrial, y residencial en una gran diversidad de actividades conocidas como usos directos en función de la temperatura que presente el fluido geotérmico.

La totalidad de la corteza terrestre del planeta constituye un extenso almacén de recursos geotérmicos de muy baja temperatura ($< 30^{\circ}\text{C}$), siendo recursos abundantes, versátiles y apropiados para diferentes tipos de utilización.

Otra gran ventaja de este tipo de sistemas es que las condiciones geológicas para su aprovechamiento son poco exigentes, por lo que prácticamente en cualquier punto de la superficie del planeta se puede captar y aprovechar el calor almacenado en las capas superficiales del subsuelo, a pocos metros de profundidad (aproximadamente a unos 15m), debido en gran medida a la enorme inercia térmica de los materiales geológicos que componen la corteza, la temperatura permanece estable (zona neutra), entre $7-15^{\circ}\text{C}$ y hasta 22°C . Actualmente son varios los países que utilizan el calor geotérmico en procesos industriales, agrícolas y de ambientación entre los principales se tiene a Rusia, Hungría, Nueva Zelanda, EE.UU e Islandia, siendo este último el país con mayor actividad geotérmica del mundo, el 99% de las viviendas utilizan la energía geotérmica para calefacción.

Figura 4. Potenciales usos de los fluidos geotermales a diferentes temperaturas



Fuente: Geothermie Perspective de l'ADEME et du BRGM

2.4.2 Calefacción con energía geotérmica.

Los acuíferos para estos usos van de los 30°C a los 150°C. En Islandia, el país con mayor actividad geotérmica del mundo, el 99% de las viviendas utilizan la energía geotérmica con esta finalidad. El calor geotérmico se utiliza directamente o través de bombas geotérmicas (en masas de agua o acuíferos poco profundos), sin la participación de una central eléctrica, para una variedad de aplicaciones tales como calefacción, refrigeración, preparación de alimentos, baño de aguas termales, agricultura, acuicultura, invernaderos, entre otros. Es una alternativa válida para procesos de generación de calor y refrigeración en especial para la climatización de los edificios.

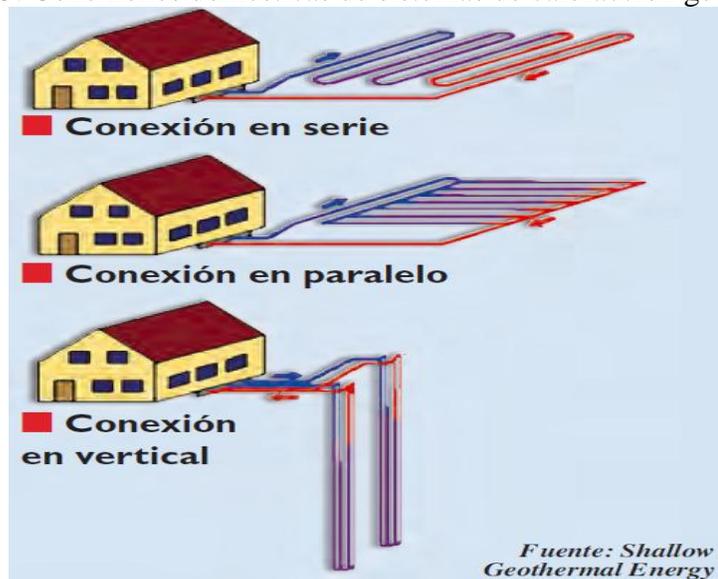
2.4.2.1 Tipos de captación geotérmica

Los sistemas más utilizados y seguros, son los sistemas con captadores que extraen la energía almacenada en la tierra (denominados sistemas tierra – agua). Dentro de las instalaciones que aprovechan la energía de la tierra existen dos variantes en función del tipo:

- Captación horizontal.- En este sistema se entierran las sondas a 1,5-2 metros de profundidad para extraer la energía del terreno. Suelen ocupar una superficie bastante grande, en la que no se pueden plantar árboles pues podrían dañar las tuberías con sus raíces.
- Captación vertical.- En este sistema se realizan perforaciones en el terreno de unos 150 mm de diámetro en las que se introducen las sondas de captación. Posteriormente se sellan los pozos con una mezcla de bentonita, arena, cemento y agua de abajo hacia arriba.

El sistema de captación vertical es más eficiente que el horizontal, ya que a partir de los 10-15 metros de profundidad la temperatura del terreno no se ve afectada por las condiciones atmosféricas. La temperatura de la tierra aumenta con la profundidad. Existe un gradiente geotérmico de aproximadamente 3 °C por cada 100 metros de profundidad. En algunos casos existe la posibilidad de aprovechar las aguas subterráneas (aprovechamiento de la capa freática) para la captación de la energía directamente mediante una bomba de calor. Para ello el agua debe ser limpia y su nivel más o menos constante en la temporada de demanda térmica. Estos sistemas necesitan un pozo para extraer el agua y otro, aguas abajo, para el retorno del agua empleada.

Figura 5. Conexiones domesticas de sistemas de calefacción geotérmica



Fuente: Shallow Geothermal Energy

2.4.3 Situación actual de la geotermia en Ecuador

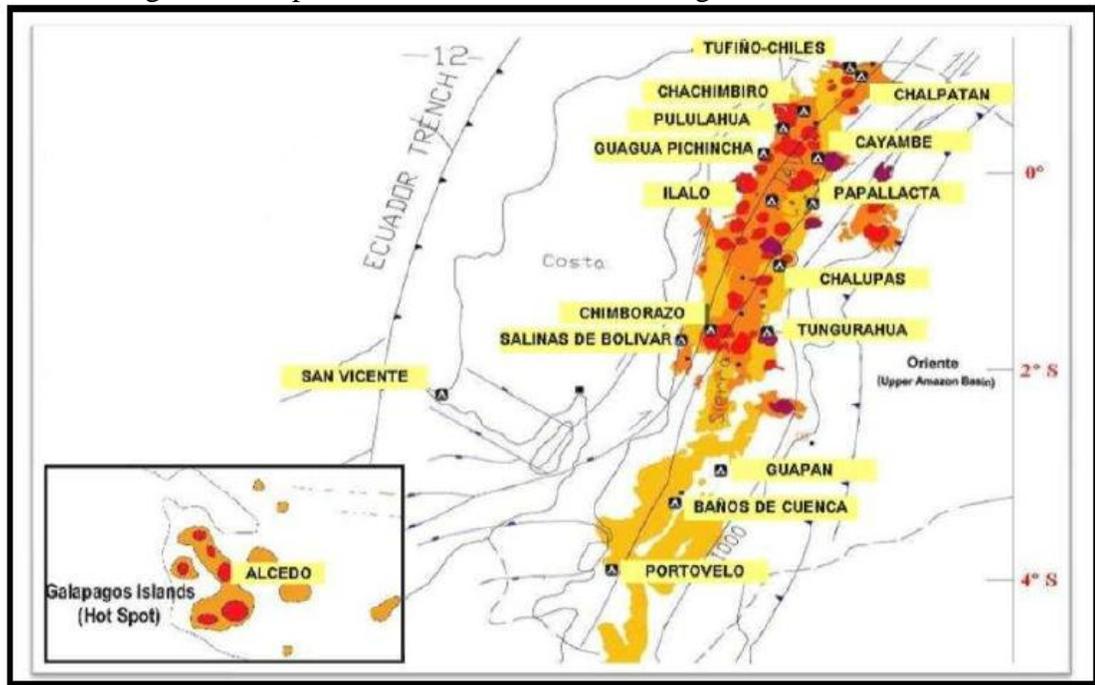
Ecuador es un país rico en recursos, dispone de tres fuentes económicamente viables de energía primaria idóneas para la generación eléctrica: hidroenergía, gas natural y geotermia (banco mundial 1986). El rasgo mayor de la geomorfología del Ecuador está constituido por la presencia, en su parte central, de la cordillera de los Andes que atraviesa el territorio de norte a sur, con una dirección meridiana y origina la división fisiográfica del país. [4]

El borde de las placas debido a características geológicas propias es un foco importante de áreas geotérmicas significativas. América del sur y en el caso particular Ecuador se caracteriza por la dinámica de dos placas la de Nazca y la Sudamericana en zonas de subducción donde ambas placas con movimientos en sentidos opuestos chocan hundiéndose una debajo de la otra. Originando un ascenso de la cámara magmática hacia las capas superficiales de la corteza.

Existe una elevada concentración de aparatos volcánicos diferenciados con el 21,5% de volcanes potencialmente activos a nivel nacional, 43 de un total de 200 que comprenden el arco volcánico andino, y que se caracterizan por la presencia de un gradiente geotérmico

anómalo. En base a lo expuesto anteriormente se puede considerar que Ecuador cuenta con características geológicas favorables, con un potencial aún inexplorado y con una energía geotérmica por mucho tiempo ignorada en el país y que se presenta como una alternativa favorable para modificar la matriz energética.

Figura 6. Mapa de Ecuador con los recursos geotérmicos existentes



Fuente: INECEL 1992

Se conoce una fuente de agua termal que es utilizada como piscinas para los turistas que frecuentan este lugar. Está localizada aproximadamente a 80 km del volcán Chimborazo, por la distancia a la fuente de agua caliente no resulta conveniente el transporte para utilizar en el sistema de calefacción.

2.5 Sistemas de calefacción hidrónica

2.5.1 Definición

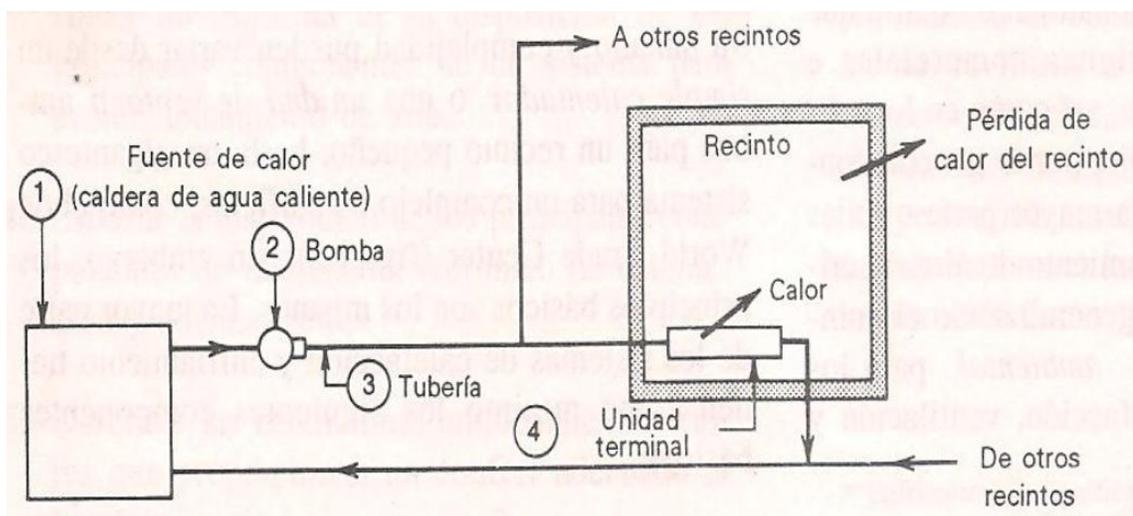
Se conoce como calefacción hidrónica a cualquier sistema que utilice agua para transportar el calor desde el punto de generación (un calentador o caldera) hasta el punto de distribución (piso radiante, zoclos radiantes, radiadores y toalleros). [5]

2.5.2 Componentes de un sistema de calefacción hidrónica

En un sistema típico de calefacción hidrónica aplicado en zonas frías. El agua se calienta en la fuente de calor y es impulsada por una bomba y pasa al recinto a través de la tubería, entra a una unidad terminal, que puede ser radiadores, toalleros u otros elementos.

El aire del recinto se calienta al entrar en contacto con la unidad terminal o en caso de utilizar piso radiante esta sede calor hacia el ambiente. Como el agua pierde su calor al pasar a las habitaciones, debe regresar a la fuente de calor, realizando así un ciclo.

Figura 7. Componentes de un sistema de calefacción por agua caliente



Fuente: Citada en Edward G. Pita, 2003

2.5.3 Fuentes de calor para calefacción

Existen diversas fuentes de calor para realizar el proceso de calentamiento de agua y los más conocidos y empleados para los sistemas descritos se mencionan a continuación.

2.5.3.1 Caldera de condensación de gas

Las calderas de condensación son sistemas similares a las calderas de gas tradicionales, con la diferencia que su configuración permite recuperar parcial o totalmente el calor asociado al vapor de agua contenido en los gases de combustión. La viabilidad termodinámica de este aprovechamiento viene condicionada por la temperatura de rocío del gas natural, que se encuentra por debajo de 55°C (el mismo fenómeno que el rocío de las mañanas). Aunque este proceso podría realizarse con otros combustibles, como son los derivados del petróleo o el carbón, en la práctica no es posible, ya que estos contienen una gran cantidad de azufre que estropearía la instalación. El hecho de que el gas sea relativamente limpio provoca que pueda utilizarse en este tipo de sistemas. [6]

La principal diferencia con respecto a las calderas convencionales en cuanto a configuración es que la caldera está adaptada a la precipitación del agua resultante de la condensación, por lo que puede disminuirse más la temperatura de salida de los gases residuales, mientras que en las calderas convencionales las temperaturas de salida se mantienen entre 150 y 200°C, y lanzan una gran cantidad de energía al medio.

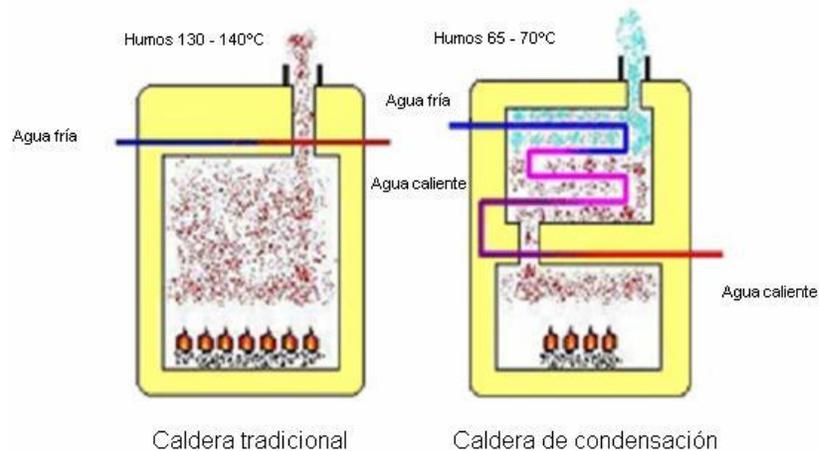
- **Ventajas energéticas y ambientales**

Esta tecnología presenta una serie de ventajas con respecto a los sistemas tradicionales, marcados por el incremento de eficiencia en el aprovechamiento del gas hasta niveles máximos del 111%, lo que implica:

- ▶ Un ahorro en el consumo de energía primaria fósil, ya que el mayor rendimiento lleva asociada una disminución del consumo de gas. Una caldera de estas características puede representar un ahorro de hasta el 40% con respecto a las calderas convencionales.
- ▶ Una reducción de las emisiones de CO₂, ya que se consume menos gas.

- ▶ Económicamente presentan una reducción de costes asociada a un menor consumo de combustible.
- ▶ Las calderas de condensación representan actualmente el máximo exponente en aprovechamiento energético en procesos de combustión a escala doméstica y terciaria.

Figura 8. Caldera de condensación de gas



Fuente: www.soliclima.com.

2.5.3.2 Caldera de gasóleo (fuel oil No 2)

Funcionan con gas-oíl y consiguen un rendimiento estacionario cercano al 94%, con lo que se consigue hasta un 20% de ahorro en comparación con una caldera convencional.

Son de baja temperatura porque, a diferencia de las convencionales, pueden trabajar calentando el agua a baja temperatura sin perder eficiencia ni tener problemas de corrosión. El hecho de que sean de baja temperatura no significa que no puedan calentar el agua hasta los 90 °C que son necesarios para un sistema de radiadores.

Pueden calentar, por ejemplo, agua caliente a 40 °C para uso sanitario o calefacción por suelo radiante en modo estacionario, evitando arrancar y parar constantemente y presentando un muy alto rendimiento. [7]

Figura 9. Caldera de gasóleo (Fuel oil No 2)



Fuente: www.solisclima.com.

2.5.3.3 Caldera de gas propano

La instalación de calefacción de gas propano usa caldera mixta y radiadores. El propano se suministra en tanque, en botella o canalizado. El propano ha sido usado como combustible desde 1913, es un subproducto del procesamiento y de la refinación del petróleo, por ello se define como GLP (gas licuado del petróleo). Es uno de los combustibles alternativos más populares en el mundo, utilizado principalmente en calefacciones, cocinas, automoción, etc. Las calderas que funcionan con gas propano o gasóleo suelen emplearse más en pequeños pueblos en donde el suministro de combustible no es suficiente o es casi inaccesible.

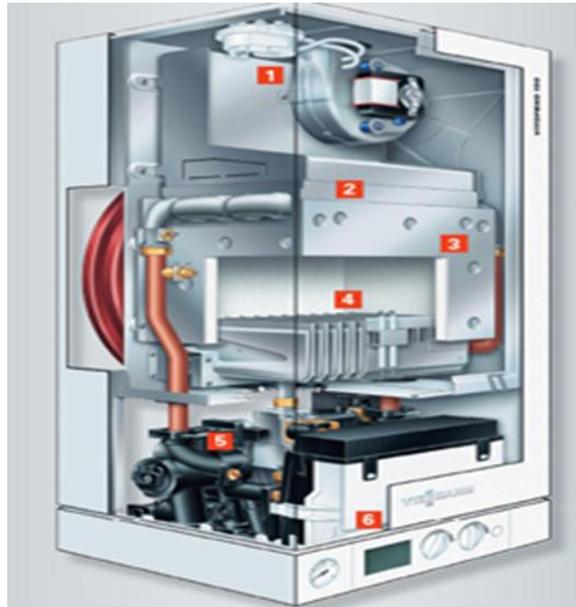
- **Ventajas.**

- ▶ El propano canalizado es cómodo.

- **Inconvenientes.**

- ▶ Las botellas son baratas pero se vacían rápidamente.
- ▶ Los precios del propano varían mucho.

Figura 10. Caldera por gas propano



Fuente: www.calderaonline.es

2.5.3.4 Caldera de pellets

Las calderas de pellets para agua caliente están diseñadas para su utilización con combustibles sólidos. Se pueden emplear en pequeños y grandes establecimientos como fuentes de calor principal o como alternativo. El intercambiador de placas incorporado produce agua caliente sanitaria de forma instantánea. Las calderas requieren un contenedor para el almacenaje del combustible situado cerca de la caldera. Desde el mismo, un alimentador de tornillo sin fin lo lleva a la caldera, donde se realiza la combustión. Estas características de sencillez de empleo y de automatización confieren a los sistemas de calefacción de pellets un elevado nivel de confort. [8]

Figura 11. Caldera de pellets



Fuente: www.stepclima.com

- **Características del pellet de madera**

- ▶ El pellet de madera es una fuente de energía renovable y por lo tanto ecológicamente aceptable.
- ▶ El pellet se fabrica a partir de residuo de madera prensado.
- ▶ Capacidad calorífica $\geq 5 \text{ kW/kg}$ (18 MJ/kg)
- ▶ Diámetro: 6mm
- ▶ Longitud máxima: 35mm
- ▶ Humedad máxima: 8%
- ▶ Cenizas: 0,5%

- ▶ 2 kg de pellet tienen el mismo poder calorífico que 1 litro de gasoil (fuel oil No 2).

- **Sistemas de almacenamiento**

Los requisitos indispensables para los sistemas de almacenamiento de biocombustibles sólidos vienen descritos detalladamente en el reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, en su versión más actual (RITE-2007).

La elección del sistema y el volumen de almacenamiento depende de varios factores: características de los sistemas de distribución y suministro de biomasa, necesidad anual de biomasa, espacio disponible para caldera y almacén, etc. En el caso de edificios nuevos, independientemente del tipo de almacenamiento elegido, este debe disponer de una capacidad mínima suficiente para cubrir el suministro de biomasa correspondiente a dos semanas de máximo consumo para calderas o conjuntos de calderas de potencia mayor o igual a 70 kW.

Las calderas precisan de un silo de almacenamiento en una habitación distinta a la sala de calderas y dedicada exclusivamente a ese fin. Desde el silo, bien en superficie o subterráneo, el combustible es transportado hasta la caldera.

El sistema de almacenamiento tiene una influencia directa sobre el tipo de transporte y los sistemas de suministro. Los silos sobre el terreno necesitan vehículos de suministro que puedan descargar lanzando el combustible sobre la pila mientras que los silos subterráneos con trampilla de acceso se podrían llenar con cualquier tipo de vehículo volquete, o caja basculante.

- ▶ **Dimensionado**

El almacén de pellet debe ser lo suficientemente grande como para almacenar la cantidad de combustible necesaria para un año de calefacción. El tamaño de este almacén depende de la carga térmica del edificio. En principio se aplica la siguiente regla:

Carga térmica del edificio en KW x factor 0.9 m³/KW = Volumen del almacén en m³

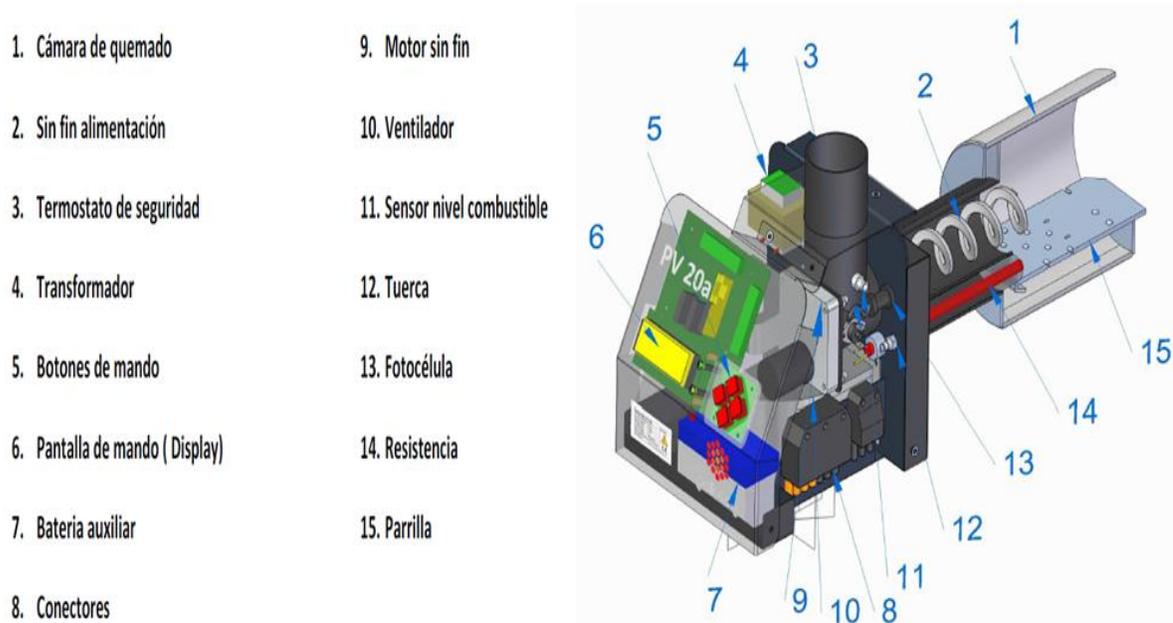
- **Quemador de la caldera de pellets**

En cualquier caso, el encendido es automático y muy rápido, gracias a una resistencia eléctrica. En los sistemas más avanzados la regulación del aire comburente y del flujo de combustible se realizan automáticamente gracias a un microprocesador. Estas características de sencillez de empleo y de automatización confieren a los sistemas de calefacción de pellets un elevado nivel de confort.

Algunos modelos poseen un sistema de ignición eléctrico se activa solamente cuando se tiene que encender en frío, o cuando el sistema ha estado mucho tiempo parado y la caldera se ha enfriado. Normalmente el quemador intenta encenderse con las brasas que mantiene en el brasero para ahorrar energía eléctrica.

Los quemadores funcionan según el principio de alimentación inferior. El sistema alimenta el combustible mediante un tornillo sin fin a la parte inferior del brasero. De esta forma todos los pequeños pellets son empujados lentamente a través de la zona de combustión y se queman totalmente, hasta que salen del brasero en forma de ceniza.

Figura 12. Quemador para la caldera de pellets

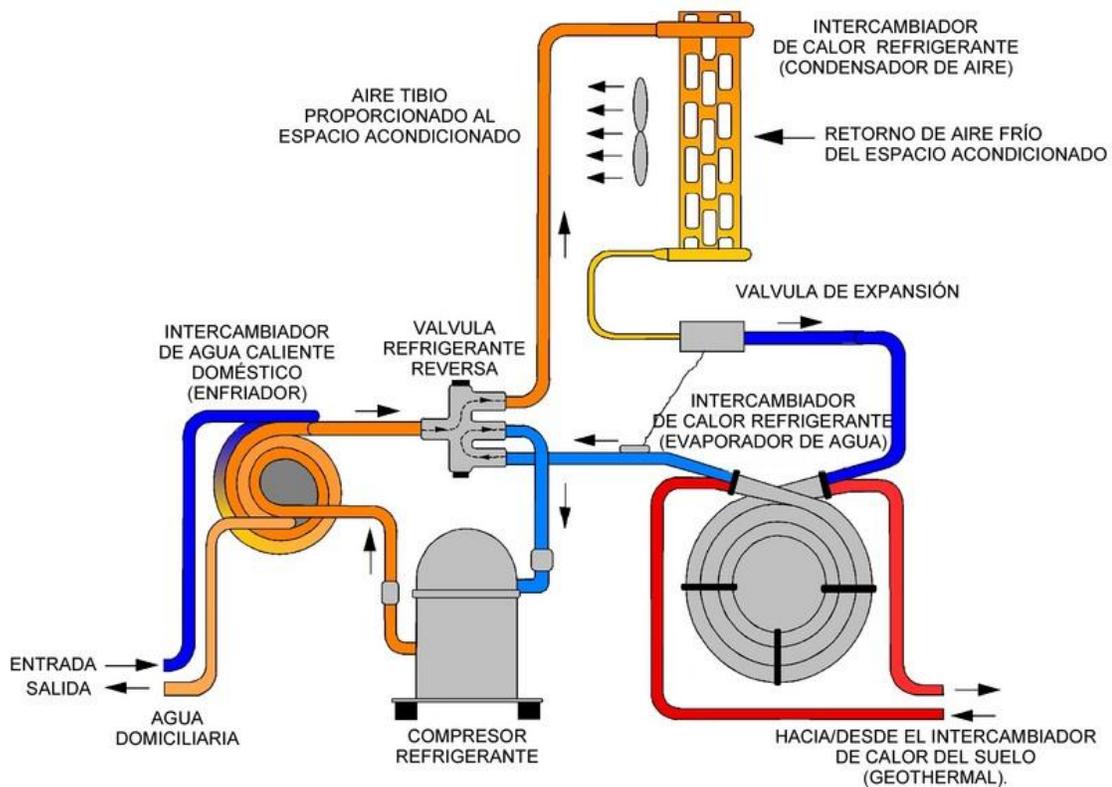


Fuente: www.pelltech.eu

2.5.3.5 Bombas de calor

La bomba de calor es un sistema que extrae el calor de una fuente energética natural como pueden ser el agua, el aire, o casi cualquier foco caliente, y lo transmite a otro lugar mediante la aportación de un trabajo. La bomba de calor es una máquina que puede asumir eficiencias superiores a la unidad transmitiendo el calor de una fuente fría a otra caliente, ya que el sistema extrae parte de la energía del medio, que se recupera en forma de energía útil. La configuración del sistema es muy similar a los sistemas de refrigeración convencionales por compresión mecánica (ambos disponen de un condensador, compresor, evaporador), aunque las bombas de calor permiten invertir el ciclo, lo que permite al sistema cubrir las necesidades de calefacción y climatización. [9]

Figura 13. Bomba de calor



Fuente: www.soliclima.com.

2.5.3.6 *Calentadores solares de agua*

Es un sistema que calienta agua sólo con la energía proveniente del sol, sin consumir gas o electricidad. En lugares donde se alcanzan temperaturas muy bajas durante la noche, los calentadores deben estar provistos de un dispositivo que evite el congelamiento del agua al interior del colector. Según algunos expertos recomienda colectores solares de tubos de vacío que por su diseño, consigue un rendimiento superior a los colectores de placa plana convencionales prácticamente sin pérdidas energéticas y permite la captación de energía en días nublados o a temperaturas bajo cero lo que lo hace también ideal para climas fríos y lluviosos.[10]

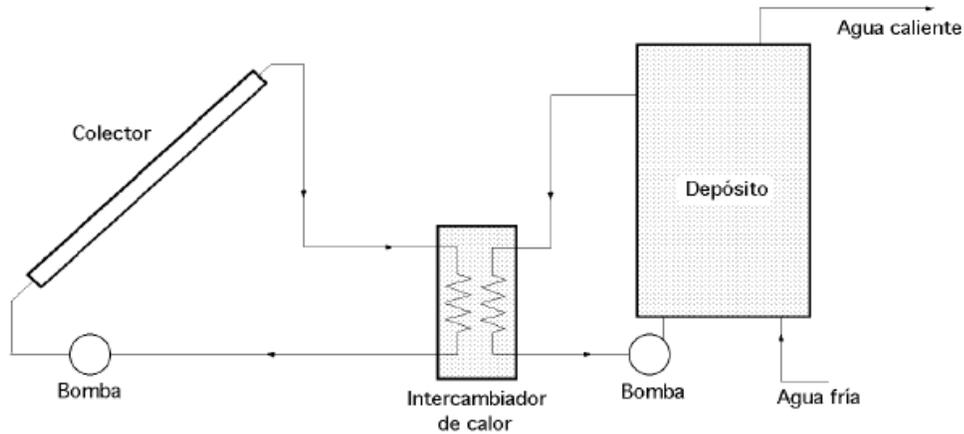
Estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío (o evacuados) cada uno de los cuales contienen un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calo-portador). Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C. De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura.

Por su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera más efectiva que los colectores planos, al permitir que los rayos de sol incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante la mayor parte del día. Estos colectores son hasta unos 30% más eficientes que los colectores planos, pero son bastante caros, por unidad de superficie suelen costar aproximadamente el doble que un colector de placa plana.

La mayoría de las aplicaciones de calentadores de agua se hacen en condiciones en las que la congelación no constituya ningún problema; el uso de un líquido anticongelante o la utilización de colectores de tubo de vacío impone el uso de un intercambiador adicional entre el colector y el depósito de almacenamiento, con disposiciones tales como las que se indican en las Figura 14.

Estos intercambiadores aumentan la temperatura de funcionamiento del colector en una cantidad que se corresponde con la caída de temperatura a través del cambiador; como regla empírica aproximada, cada °C de caída de temperatura en el cambiador implica un colector correspondientemente mayor.

Figura 14. Esquema de calefacción con energía solar



Fuente: www.actiweb.es

2.5.4 Tubería usada en agua caliente

Las tuberías se fabrican de muchos materiales, y su selección depende del servicio y del tipo de fluido a transportar. Además de su costo y disponibilidad en el mercado.

El material de tubería que se usa con mayor frecuencia en los sistemas hidráulicos es el tubo de cobre, polipropileno, polietileno reticulado.

2.5.4.1 Tuberías de cobre

Cobre "crudo", rígido desoxidado con fósforo, con uniones soldadas a accesorios siempre de cobre o latón. Muy utilizado, aunque el aumento de la temperatura lo hace muy sensible a la corrosión, y el cobre puede ser atacado por aguas amoniacales, aguas blandas (sin carbonatos), óxido cuproso, etc. [11]

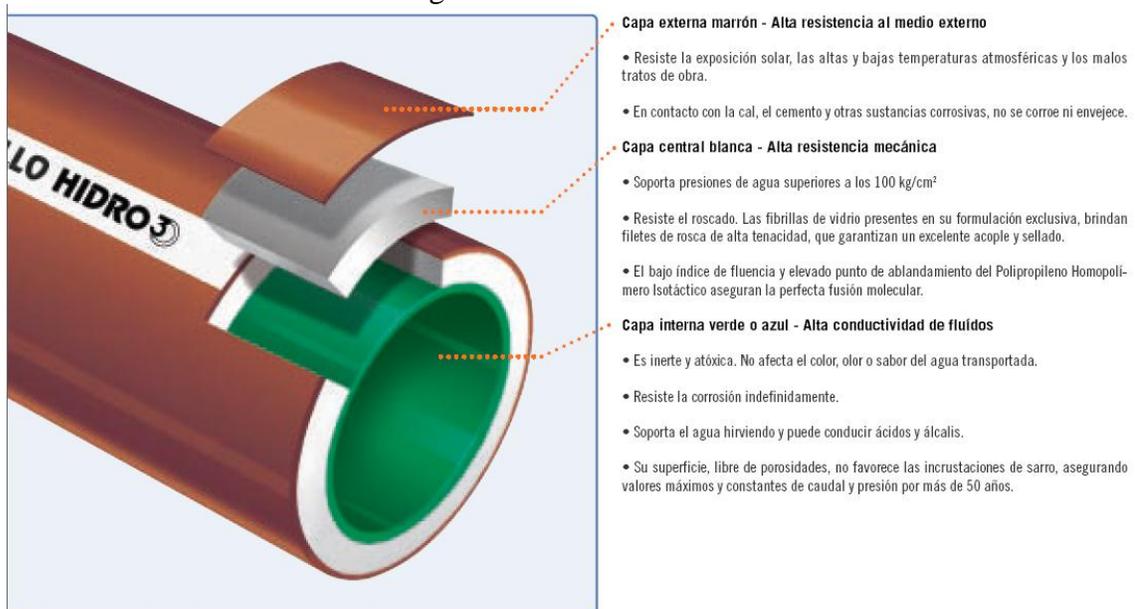
2.5.4.2 Tubería hidro 3

Es un sistema de conducción de agua tricapa con unión por termofusión o roscado para conducir agua fría y caliente de ½" hasta 4". Por su baja conductividad térmica y mínima dilatación, es ideal para conducir fluidos a altas temperaturas (Hasta 95 °C). Su alta flexibilidad la hace resistente al impacto y a los efectos de la deformación elástica. [12]

- **Ventajas**

- ▶ Máxima resistencia a la presión.
- ▶ No permite incrustaciones.
- ▶ Compatible con los accesorios monocapa.
- ▶ Resistente a la corrosión galvánica y bacteriana.
- ▶ Menores pérdidas de carga por fricción.
- ▶ Fácil instalación.

Figura 15. Tubería hidro 3



Fuente: www.industriassaladillo.com.ar

2.5.4.3 *Tubería de polietileno reticulado*

La tubería ha sido fabricado con polietileno de alta densidad (HDPE) y reticulado por el método peróxido, obteniéndose un tubo de gran flexibilidad. La norma que debe cumplir este tubo es el UNE. EN ISO 15875. [13]

La reticulación del tubo se realiza para su utilización en instalaciones de agua caliente. El polietileno, al ser un termoplástico, es un material muy flexible, pero tiene poca resistencia al calor, y sometiéndolo a un proceso de reticulación, se obtiene un material capaz de soportar temperaturas de hasta 95 °C. Existen 3 métodos de reticulación: peróxido, silano y radiación de electrones:

- **Reticulación por peróxido (PEX-A)**

En el método por peróxido, la reticulación se realiza a la vez que se va conformando el tubo. De este modo, el grado de reticulación obtenido es mayor y más seguro, ya que se consigue que la reticulación sea más uniforme.

- **Reticulación por silano (PEX-B)**

En el método por silano, la reticulación se realiza después de conseguir el tubo de polietileno, sumergiendo el tubo en cubetas.

- **Reticulación por radiación de electrones (PEX-C)**

En este método, la reticulación se realiza, al igual que en el método anterior, después de conseguir el tubo de polietileno. El proceso se realiza por impacto de electrones en la superficie del tubo. El tubo obtenido por el método de peróxido es el más flexible y el que tiene una reticulación más uniforme.

La Norma UNE EN 1264 de suelo radiante recomienda la utilización de una capa de barrera antioxígeno para reducir los problemas de corrosión cuando se combinan tubos de plástico con materiales corrosibles en la instalación. El polietileno reticulado tiene una cierta permeabilidad al oxígeno, por lo que con la barrera antioxígeno se consigue eliminar

al 100% los poros existentes. Los tubos deben protegerse de la radiación solar directa, ya que los rayos solares pueden afectar a la estructura molecular.

Figura 16. Tubería de polietileno reticulado



Fuente: www.salvadorescod.com

2.5.5 Bomba de recirculación

La bomba de circulación, debe situarse en el retorno de las cañerías, muy próxima a la caldera o fuente de calor. Entre otras, la razón principal es que el agua que impulsa está allí más fría que en el resto de la instalación. Poseen la característica de un bajo consumo de potencia, se debe tomar muy en cuenta estas características para la selección. [14]

Figura 17. Bomba de recirculación para agua caliente



Fuente: www.grundfos.com

2.6 Unidades terminales del sistema hidrónico

Las unidades terminales son cambiadores de calor que transmiten del aire del recinto al agua circulante. En general, las unidades se emplean para calentar y para enfriar son diferentes.

A los radiadores, convectores, zoclos y tubos aletados se les llama en conjunto radiación. Es un nombre engañoso, porque transmite calor al recinto por convección natural principalmente. El aire adyacente a la unidad se calienta y eleva en forma natural, creando circulación natural.

2.6.1 Radiadores

Este tipo de unidades están constituidas por secciones huecas de aluminio o acero a través de las cuales fluye agua caliente, además poseen una gran resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza y mantenimiento. Este sistema es ampliamente utilizado en Estados Unidos y Europa. Irradian un calor parejo y confortable que llega directamente a las personas y los objetos, no solo al aire, manteniendo un ambiente sano todo el tiempo, además de ser discreto, silencioso, sin pérdidas de calor. Una calefacción por radiadores reduce hasta en un 40% el costo de operación respecto a otros sistemas de calefacción. [15]

Figura 18. Radiador de acero o aluminio



Fuente: www.ecovent.com.mx

2.6.2 *Convectores*

Los convectores calientan el aire cercano al piso y lo impulsan hacia arriba, proporcionando calor de manera homogénea y limpia porque no queman gases al interior de la habitación.

El sistema funciona a partir de una instalación central por agua caliente, utilizando la convección del aire para calentar el ambiente. Se realiza el cálculo térmico de las habitaciones donde se instalarán los convectores, para determinar su capacidad y la cantidad de elementos que será necesaria. Cada convector se coloca a cierta distancia del piso, con un espacio libre en la parte superior para no dificultar la circulación del aire. Son altamente seguros, que pueden ser colocados en cocinas, recámaras, baños, etcétera.

Figura 19. Convector utilizado en calefacción hidrónica

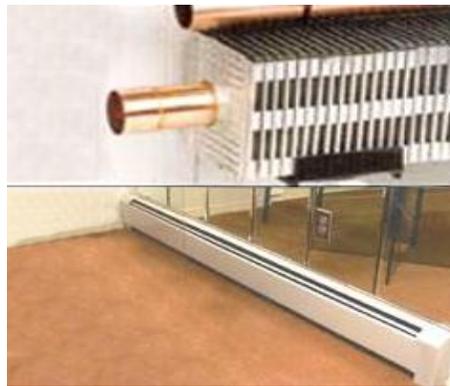


Fuente: www.ecovent.com.mx

2.6.3 *Zoclos*

Este tipo de radiación se ubica cerca del piso frente al zocalo arquitectónico. Consiste en un elemento de calefacción de tubo aletado con una cubierta de lámina abierta en la parte inferior y con una abertura ranurada en la parte superior. Con frecuencia la cubierta se instala a todo lo largo de la pared, para dar un aspecto más agradable, aunque el elemento calefactor no ocupe todo el espacio. El diámetro del tubo es pequeño en general de 1/2 o 3/4, su espesor de tan solo 7 cm no estorba el amueblado, son seguros, silencios y de apariencia atractiva.

Figura 20. Zoclo utilizado en calefacción hidrónica



Fuente: www.ecovent.com.mx

2.6.4 Radiadores-toalleros

Los radiadores-toallero pueden usarse como parte de una instalación de calefacción hidrónica en combinación con zoclos, radiadores o suelo radiante, o ser suministrados con una resistencia eléctrica para instalarse de forma individual. Se caracterizan por su gran comodidad, su importante ahorro energético.

Estos equipos cuentan con un dispositivo electrónico que permite regular el tiempo y el rendimiento. De esta forma, el consumo se va reduciendo a medida que el sistema va logrando la temperatura solicitada por el usuario. Con esta herramienta se eliminan los picos de temperatura y se obtiene una importante reducción económica en el consumo.

Figura 21. Toallero utilizado en calefacción hidrónica



Fuente: www.actiweb.es

2.6.5 *Suelo radiante*

La calefacción por suelo radiante se trata de un sistema que impulsa agua caliente (entre 40 y 45 °C) a través de un circuito de tuberías que se colocan empotradas en el suelo según técnicas variadas de una a otra marca de fabricantes [16].

2.6.5.1 *Suelo radiante con difusores*

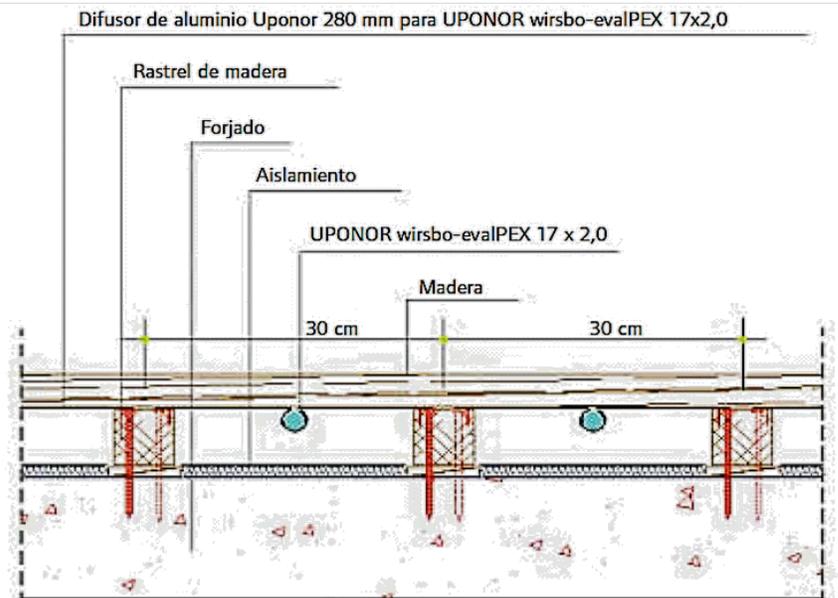
Este sistema de calefacción se basa en el montaje de una superficie de aluminio (difusores) clavada sobre la superficie de los rastreles y bajo la tarima. Los difusores transmiten homogéneamente a la tarima el calor aportado por los circuitos. Los circuitos de calefacción discurren insertados en los difusores. El proceso de rastrelado debe realizarse en primer lugar, procurando una correcta fijación al forjado y una perfecta nivelación de su superficie superior. [17]

Se debe rastrelar con una distancia entre rastreles de 20 cm, siempre teniendo la precaución de que unos difusores no se monten sobre los adyacentes para evitar ruidos posteriores durante el funcionamiento de la instalación. La altura mínima de los rastreles ha de ser de 30 mm. Entre el extremo de cada fila de rastreles y una pared debe existir una distancia sin rastrelar mínima de 20 cm para permitir el curvado de las tuberías. Para evitar que la tarima este en voladizo en los extremos próximos a las paredes se deba colocar dos filas de rastreles, una en cada pared perpendicular al sentido de rastrelado, adheridos a estas paredes a modo de rodapié sobre los que apoyara la tarima. El aislamiento térmico del sistema se realiza colocando entre filas de rastreles mantas de fibra de vidrio o de poliuretano, el aislamiento debe de sobresalir ligeramente de la parte superior de los rastreles de tal manera que al colocar los difusores estos presionen el aislamiento y luego no haya problemas de ruidos debido al choque de los difusores contra los rastreles.

Con el suelo ya rastrelado y aislado debe procederse al clavado de los difusores de aluminio a los rastreles de modo que cada difusor (de dimensiones 1,15 x 0,185 m) este clavado a dos rastreles distintos para asegurar un correcto apoyo. No prolongar las filas de difusores

hasta el límite de las paredes perpendiculares a estos para permitir el curvado de las tuberías. Se debe evitar que dos difusores contiguos se superpongan uno encima del otro.

Figura 22. Esquema de suelo radiante con difusores de aluminio



Fuente: www.uponor.es

2.6.5.2 Componentes del suelo radiante con difusores de aluminio

- **Tubería de polietileno reticulado PEX.-** Las tuberías a emplear según este sistema son de polietileno reticulado PEX. Las tuberías se colocan insertadas en unas aberturas que poseen los difusores y que han sido estampadas a este efecto. Siempre que exista espacio suficiente para ello, trazar circuitos en doble serpentín; en caso de espacios calefactados muy reducidos donde el doble serpentín sea imposible, los circuitos se configuraran en serpentín simple.
- **Difusores de Aluminio.-** Difusor de aluminio tipo omega, se emplea en sistemas DRY para alojar el tubo en su cuna y a su vez difundir el calor térmico en el pavimento.

Dimensiones: 1000x150mm

Espesor: 1mm

Conductividad térmica: 237 W/ (m°K)

Figura 23. Esquema de un difusor de aluminio



Fuente: www.uponor.es

- **Aislante térmico.-** La resistencia térmica de este material aislante permite maximizar esa transmisión de calor hacia el local ubicado por encima de ella. La colocación de estas placas aislantes debe efectuarse de modo que las juntas entre los paneles no estén alineadas unas con otras.

El material utilizado para dicho aislamiento es el poliuretano expandido, que presenta una excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío. Esta propiedad se debe a la propia estructura del material.

- **Equipo de distribución.-** El equipo de distribución es el que distribuye el agua caliente que proviene de la fuente de energía y que permite distribuirlo en tantos circuitos como sean necesarios, a la vez que recoge el agua de retorno, devolviéndolo a la fuente de energía. Para realizar esta función dispone de 2 colectores:
 - ▶ El colector inferior es el que se conecta con el tubo de impulsión y dispone de válvulas termostatzables, que permiten aislar cada circuito de la instalación.
 - ▶ El colector superior se conecta con el tubo de retorno y puede disponer de 2 tipos de válvulas: dettores o reguladores de caudal. Ambos permiten realizar el equilibrado de la

instalación, incorporando el regulador de caudal una función más, ya que indica el caudal de paso de cada uno de los circuitos.

- **Componentes de los equipos de distribución**

El equipo de distribución está constituido de las siguientes partes:

- ▶ **Regulador de caudal**

El regulador indica el caudal que circula por su vía mediante un émbolo r. Además, girando manualmente el mismo en el sentido de las agujas del reloj, la vía se cierra, disminuyendo el aporte calorífico de ese circuito. Girando el regulador en el sentido contrario a las agujas del reloj el caudal aumenta.

- ▶ **Termómetros**

El equipo de distribución dispone de 2 termómetros, que permiten comprobar el salto térmico entre la ida y el retorno.

Se pueden colocar 2 termómetros, uno en la ida y otro en el retorno, o disponer de un termómetro por cada circuito en el retorno. En el primer caso, el termómetro del retorno indicará una media de temperaturas, mientras que en el segundo, el equilibrado es más exacto.

- ▶ **Grifos de vaciado**

El equipo de distribución también dispone de válvulas de vaciado que permiten el vaciado y llenado de la instalación.

- ▶ **Válvulas de corte**

Las válvulas de corte permiten aislar la instalación de suelo radiante con respecto al resto de la instalación.

Figura 24. Esquema de distribuidor utilizado en calefacción por suelo radiante



Fuente: www.orkli.com

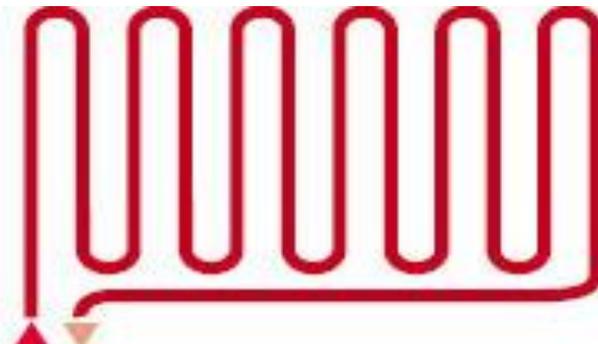
2.6.5.3 Distribución de los tubos en suelo radiante

Para conseguir un reparto uniforme del calor a lo largo de la superficie de los locales a calefactar, se pueden utilizar varios sistemas de distribución de los tubos en el suelo.

- **Distribución en serpentín**

La distribución del tubo empieza por un extremo del local y termina en el extremo opuesto avanzando en líneas paralelas equidistantes una de otras. Esta distribución es la más sencilla pero presenta el inconveniente de que el reparto del calor no es igual ya que el agua se va enfriando a lo largo del circuito.

Figura 25. Distribución en serpentín

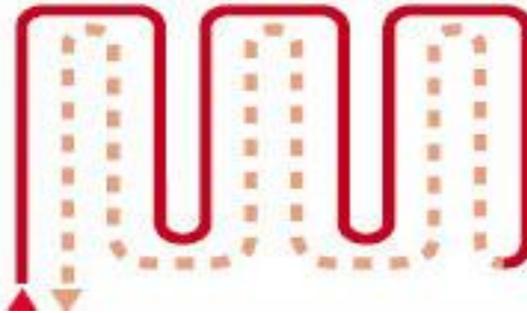


Fuente: www.barbi.es

- **Distribución en doble serpentin**

Al igual que la distribución en serpentin, se va de un extremo a otro avanzando en líneas paralelas equidistantes una de otras pero dejando huecos donde van colocadas las líneas de retorno hasta llegar otra vez al punto de partida. Esta distribución elimina el inconveniente mencionado anteriormente y se adapta perfectamente a locales irregulares o alargados.

Figura 26. Distribución en doble serpentin

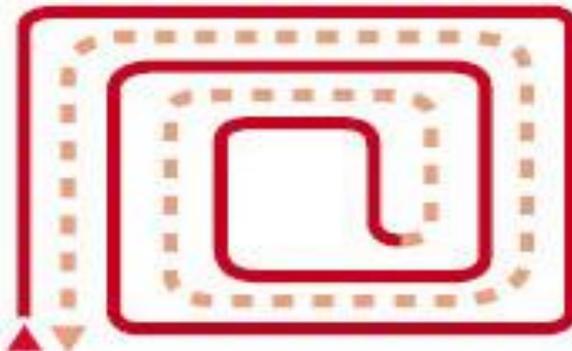


Fuente: www.barbi.es

- **Distribución en espiral**

Como su nombre indica, se realiza en forma de espiral de forma cuadrada o rectangular empezando por un extremo y avanzando de fuera a dentro dejando huecos para volver al punto de partida al llegar al centro del local. Este sistema iguala perfectamente la temperatura del suelo ya que se alterna un tubo de ida con un tubo de retorno.

Figura 27. Distribución en espiral



Fuente: www.barbi.es

2.7 Parámetros de diseño

Para determinar un sistema de calefacción óptimo para un lugar se debe tener en cuenta varias condiciones como: la ubicación, la velocidad del aire, la temperatura mínima, la humedad, altitud, latitud, etc. Los requisitos para realizar un diseño son los siguientes:

- Plano arquitectónico de la edificación en cual se va a instalar el sistema de climatización.
- El número de personas existentes en el local se deben tomar en cuenta si se va a realizar enfriamiento o ventilación.
- Fijar las condiciones del ambiente exterior e interior y calcular la carga térmica teniendo en cuenta que no tenemos “ganancias interiores ni ganancias exteriores”, el viento es una condición muy importante pues al infiltrar aire con otra temperatura este produce variación en el calor.
- Dimensionar las tuberías, tomando en cuenta las pérdidas debido al rozamiento, velocidad, nivel de ruido, pérdidas o ganancias de calor y frío.
- Selección de equipos y elementos necesarios para la instalación.

2.7.1 Coeficiente global de transferencia de calor

El coeficiente U indica la cantidad de calor intercambiado en una hora a través de una pared, por pie cuadrado de superficie y por grado Fahrenheit de diferencia entre las temperaturas del aire que baña sus caras interior y exterior. La inversa de U expresa la resistencia global ofrecida al paso del calor y es igual a la suma de las resistencias parciales ofrecidas por los distintos materiales que componen la pared, aumentada en las resistencias superficiales.

$$U = \frac{1}{R} \quad (1)$$

$$R = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n \quad (2)$$

Dónde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor $\left[\frac{Btu}{^{\circ}F \cdot ft^2 \cdot h} \right]$

R = Resultante de las resistencias parciales $\left[\frac{^{\circ}F \cdot ft^2 \cdot h}{Btu} \right]$

2.7.2 *Carga térmica de calefacción.*

Los cálculos de carga térmica se realizan tomando en cuenta muchos factores como el coeficiente de total de transferencia de calor, el área, la temperatura y otros.

2.7.2.1 *Pérdida de calor a través del techo, pared, piso, ventanas y tumbado.*

Para el cálculo de la cantidad de transferencia de calor seleccionamos las características de todos los componentes y multiplicamos por el área. En el cálculo de la pérdida calórica se emplea la siguiente ecuación:

$$q = U \cdot A \cdot TD \quad (3)$$

Dónde:

q = Carga de calor sensible [BTU/h]

U = Coeficiente total de transferencia de calor [BTU/h.ft².°F]

A = Área calculada de planos arquitectónicos [ft²]

TD = Diferencia de temperatura [°F]

2.7.2.2 *Carga térmica por ventilación o infiltración de aire exterior*

La ecuación que se necesita para la pérdida de calor por infiltración de aire y ventilación sensible es el producto entre el volumen que depende de la actividad que genera la persona y la diferencia de temperatura para el diseño multiplicado por un factor de 0.73, que se obtiene del producto de la densidad del aire y el calor específico.

$$q_s = C_e \cdot \rho_a \cdot V \cdot n \cdot \Delta T \quad (4)$$

Dónde:

q_s : Calor sensible (W)

V : Volumen del local a calefactar (m^3)

ρ_a : Densidad del aire (m^3/Kg)

C_e : Calor específico del aire ($KJ/Kg^\circ K$)

ΔT : Diferencia de temperatura ($T_{int} - T_{ext}$) ($^\circ K$)

n : Número de renovaciones horarias (1/h)

El número de renovaciones horarias a utilizar dependerá de la ventilación con la que dotemos al local, como mínimo deberemos emplear una renovación por hora, y en caso de que contemos con ventilación según DB-HS, el valor vendrá condicionado por la superficie o el caudal de dicha ventilación. [18]

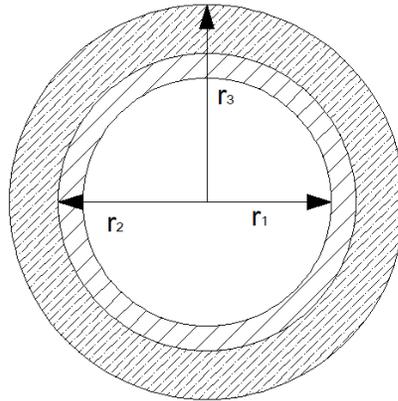
Con la densidad del aire a esta altitud y el calor específico que es constante y reemplazando en la ecuación (4) y se obtiene:

$$q_s = 0.73xVxn(t_{interior} - t_{exterior}) \quad (5)$$

2.7.3 Pérdidas de calor a través de tuberías

Para analizar las pérdidas de calor por la tubería de conducción de agua caliente desde la caldera hasta los emisores se debe tomar en cuenta que se tiene una temperatura bajo cero por lo que se considera colocar un aislamiento térmico.

Figura 28. Tubería de conducción para agua caliente con aislamiento térmico



Fuente: Autor

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot l \cdot (T_m - T_a)}{\frac{1}{h_{agua} r_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{k_{tuberia}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_{aislamiento}} + \frac{1}{h_{aire} r_3}} \quad (6)$$

Dónde:

Q = Pérdida de calor por tuberías (W)

K = Conductividad térmica de la tubería (W/m°C)

l = Longitud de la tubería (m)

T_m = Temperatura media del agua (°C)

T_a = Temperatura del ambiente (°C)

h = Coeficiente convectivo (W/m²°C)

2.7.4 Pérdidas de carga por fricción en tuberías y accesorios

Es la pérdida de energía dinámica del fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las contiene. Las pérdidas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o accidentales o localizadas, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula.

2.7.4.1 Pérdidas de carga por fricción en tuberías

Se asume un criterio de diseño y debemos limitar la velocidad de circulación del agua dentro de las tuberías, que no debe superar los 2 m/s para evitar ruidos. Generalmente se utilizan velocidades comprendidas entre 0,5 y 1,5 m/s.

En segundo lugar, debemos tener en cuenta que las pérdidas de presión por metro de tubería no superen un valor máximo de 40 mm.c.a., fijado por normativa. Generalmente se toman valores de diámetro de tubo de forma que las pérdidas estén alrededor de 15 mm.c.a. [19].

- **Resistencias continuas**

Son provocadas por el roce del agua o líquido transportado contra las paredes de la tubería. Estas pueden ser calculadas por diversas fórmulas, utilizando la de Darcy Weirbach.

$$H = J \cdot l \quad (7)$$

$$J = \lambda \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot d_i} \quad (8)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d_i}{\mu} \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{k}{3.7 d_i} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (10)$$

Dónde:

H: Pérdida de carga total de la instalación (mca)

J: Pérdida de carga de la tubería (mca/m)

l: Longitud de la tubería (m)

λ : Coeficiente de fricción sin dimensiones

v: Velocidad de conducción del fluido (m/s)

d_i : Diámetro interior del tubo (m)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

k: Rugosidad interna absoluta (mm)

Re: Número de Reynolds sin dimensiones

μ : viscosidad dinámica del agua (kg/ms)

2.7.4.2 Pérdidas de carga por fricción en accesorios

Las pérdidas por accesorios se calcula obteniendo el valor de coeficiente de pérdida k de ábacos y tablas y aplicando la formula siguiente:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} K_i \cdot v^2}{2 \cdot g} \quad (11)$$

Dónde:

h = Pérdida en accesorios (mca)

k = Coeficiente determinado en forma empírica para cada accesorio

v = Velocidad en la tubería (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

2.7.5 Vasos de expansión

Ubicado en entretechos o sobre azoteas, su misión es absorber el aumento de volumen que el agua experimenta al calentársela. Este pequeño tanque está en contacto con la atmósfera y debe ser protegido contra las heladas. El agua al calentarse se dilata aumentando su volumen, lo que podrá provocar una situación peligrosa para la instalación. [20]

- **Vasos de expansión cerrados**

Funcionan por compresión, de una cámara de gas (aire), contenida en el interior del mismo, separado del agua de la instalación, por una membrana flexible, de esta forma, el agua contenida en la instalación no tiene ningún punto de contacto con la atmósfera. Al aumentar el agua de la instalación por el efecto del aumento de la temperatura, se produce una sobrepresión en el circuito, que es absorbida, por el depósito o vaso de expansión. Al disminuir la temperatura, el volumen del agua se reduce y el depósito devuelve el agua a la instalación.

- Ventajas de los vasos de cerrados respecto a los vasos de expansión abiertos:
 - ▶ Fácil montaje
 - ▶ No absorben oxígeno
 - ▶ Elimina la necesidad de colocar conductos de seguridad
 - ▶ Se eliminan las pérdidas de agua por evaporación

Figura 29. Vaso de expansión



Fuente: www.salvadorescoda.com.

2.7.5.1 Volumen del vaso de expansión (según el RITE)

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p \quad (12)$$

Dónde:

V_t = volumen total del vaso de expansión

V = contenido total de agua en el circuito

C_e = coeficiente de dilatación del fluido

C_p = coeficiente de presión del gas

2.7.5.2 Volumen total de agua en el circuito (V)

Este volumen total de agua del circuito estará compuesta por:

- ▶ Agua de la caldera
- ▶ Agua de las tuberías
- ▶ Agua de la unidad emisora de calor

2.7.5.3 Coeficiente de dilatación del fluido (Ce)

Para este fin tendremos que ir a la página 93 del RITE donde tenemos la ecuación que nos da el coeficiente de expansión.

$$C_e = (3,24 t^2 + 102,13 t - 2708,3) \times 10^{-6} \quad (13)$$

Dónde:

t: temperatura del agua

2.7.5.4 Coeficiente de presión del gas (Cp)

Existente dos tipos de vaso de expansión:

- Vaso de expansión cerrado con diafragma

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m} = \frac{P_M}{P_M} - \frac{P_M}{P_m} = 1 - \frac{P_M}{P_m} \quad (14)$$

Dónde:

P_M = Presión máxima

P_m = Presión mínima

La presión máxima = presión de tarado (fabricante) – presión atmosférica

La presión mínima = presión estática = presión manométrica + presión atmosférica

Nota. La presión debida al tarado del vaso de expansión suele ser de 3 atm.

- Vaso de expansión cerrado sin diafragma

$$C_p = \frac{P_m \cdot P_M}{P_1 \cdot (P_M - P_m)} \quad (15)$$

Dónde:

P_1 = es la presión inicial cuyo valor aproximado es 1 atmósfera, por tanto la formula se puede simplificar quedando de esta manera:

$$C_p = \frac{P_m \cdot P_M}{(P_M - P_m)} \quad (16)$$

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN

Para el diseño del sistema se toma en cuenta algunas consideraciones como la ubicación del lugar, parámetros geográficos y climáticos, planos de la edificación y materiales con los que están contruidos y otras consideraciones que se detallan en el presente capitulo.

3.1 Ubicación y condiciones de aire disponible

Los refugios hermanos Carrel y Edward Whympfer, están situados a una distancia de 8 Km y 9 Km respectivamente, desde la carreta principal Riobamba-Guaranda, estos datos fueron tomados haciendo referencia al puesto de control del MAE.

En sus alrededores existe una temperatura promedio entre -4 y 14 °C, humedad relativa entre 50 y 70% y velocidad del viento aproximado de 30km/h (datos obtenidos en la última medición), estos datos fueron tomados en el día y la noche, realizando un intervalo aproximado para la lectura de una hora.

Se considera una temperatura de diseño de -10 °C y una humedad relativa del 66% con estos valores se graficó la carta psicométrica utilizan un software especializado. [21]

De la carta psicométrica realizada con el software se obtuvo los valores presentados en la tabla 1. ANEXO A

Para obtener un sistema de calefacción eficiente, es recomendado que los refugios deben contar en todos sus paredes, techo e incluso en el piso con un panel tipo sándwich compuesto de poliestireno expandido como aislante térmico espesor 25 mm y membrana poliespuma como barrera de vapor espesor 2 mm y como terminación interior placa MDF de espesor 6 mm. [22]

Tabla 1. Condiciones de aire disponible en los refugios Carrel y Whymper

	Refugio Carrel	Refugio Whymper
Localidad	Chimborazo-Ecuador	
Latitud	1°28' 40.82" S	1°28' 25.06" S
Longitud	150° 49' 55.98" O	150° 49' 34.31" O
Altitud	4858 <i>msnm</i>	5044 <i>msnm</i>
Presión atmosférica	55.072 <i>kPa</i>	53.722 <i>kPa</i>
Temperatura de bulbo seco	-10.0 °C	-10.0 °C
Temperatura de bulbo húmedo	-11.56 °C	-11.59 °C
Humedad relativa	66 %	66 %
Humedad absoluta	1.95 <i>g_v/Kg_a</i>	2 <i>g_v/Kg_a</i>
Volumen específico	1.38 <i>m³/Kg</i>	1.42 <i>m³/Kg</i>
Densidad específica	0.72 <i>kg/m³</i>	0.7 <i>kg/m³</i>
Punto de rocío	-14.6 °C	-14.6 °C
Entalpia	-5.280 <i>KJ/Kg</i>	-5.160 <i>KJ/Kg</i>
Presión de vapor	0.171532 <i>kPa</i>	0.171532 <i>kPa</i>
Velocidad del viento	30 <i>km/h</i>	30 <i>km/h</i>
Mes de cálculo	Junio	
Hora de Cálculo	01h00	

Fuente: Autor

3.1.1 Propuesta para la reconstrucción de los refugios

En la actualidad los refugios se encuentran en un estado que no brinda el confort requerido para los turistas, deportistas y visitantes que frecuentan este sitio. Por esta razón la entidad administradora ha visto la necesidad de realizar el mejoramiento de las edificaciones ya existentes. Aprovechando esta reconstrucción se ha propuesto realizar el diseño del sistema de calefacción para hacer de este lugar un sitio confortable y se adecuado para la permanencia de personal adultas e incluso niños.

Figura 30. Modelo para la reconstrucción del refugio Carrel



Fuente: Proyecto arquitectónico del Arq. Carlos Galarza

3.1.2 *Condiciones interiores requeridas para el lugar.*

Según las recomendaciones hechas para zonas urbanas por las normas internacionales (ASHRAE) para tener un estado de confort se debe tener una temperatura entre (21 y 23) °C y una humedad relativa entre (40 y 50) % en invierno.

Para no tener un choque térmico muy alto al salir o ingresar a los refugios se toma una temperatura de 18 °C y una humedad relativa del 30%. Con estos datos se obtiene de la carta psicrométrica y se tiene los valores dados en la tabla 2

Tabla 2. Condiciones interiores para el diseño, de los refugios Carrel y Whympier

	Refugio Carrel	Refugio Whympier
Localidad	Chimborazo-Ecuador	
Latitud	1°28' 40.82" S	1°28' 25.06" S
Longitud	150° 49' 55.98" O	150° 49' 34.31" O
Altitud	4858 <i>msnm</i>	5044 <i>msnm</i>
Presión atmosférica	55.072 <i>kPa</i>	53.722 <i>kPa</i>
Temperatura de bulbo seco	18.0 °C	18.0 °C
Temperatura de bulbo húmedo	7.03 °C	6.93 °C
Humedad relativa	30 %	30 %
Humedad absoluta	7.11 <i>g_v/Kg_a</i>	7.3 <i>g_v/Kg_a</i>
Volumen específico	1.54 <i>m³/Kg</i>	1.58 <i>m³/Kg</i>
Densidad específica	0.65 <i>kg/m³</i>	0.63 <i>kg/m³</i>
Punto de rocío	0.18 °C	0.18 °C
Entalpia	36.010 <i>KJ/Kg</i>	36.470 <i>KJ/Kg</i>
Presión de vapor	0.619466 <i>kPa</i>	0.619469 <i>kPa</i>
Velocidad del viento	0 <i>km/h</i>	0 <i>km/h</i>
Mes de cálculo	Junio	
Hora de Cálculo	01h00	

Fuente: Autor

3.2 Cálculo de la carga térmica de calefacción

Los cálculos se asume que se realizan en la noche, por este razón no se toma en cuenta la influencia del sol (sombra, vidrio), alumbrado, además no se considera la influencia de personas, equipos y otras fuentes de carga térmica existentes en los refugios.

3.2.1 Composición y materiales de las edificaciones.

Se toma como referencia algunos de los materiales presentados en el diseño arquitectónico de la edificación y otros fueron seleccionados de manera que ayude a disminuir la transferencia de calor hacia el exterior ya sea por el techo, paredes, piso, ventanas, etc.

- **Techo.-** Se seleccionó plancha de cubierta denominada duratecho (acero revestido con aluminio y zinc) que será instalada sobre una estructura conformada por vigas tipo G 150 x

50 x 15 x 3 y correas tipo C 100 x 50 x 3. Luego de la estructura se coloca un material aislante de poliestireno expandido con película antivapor. ANEXO B

Luego del aislamiento térmico se coloca cielo raso gypsum de 12 mm de espesor que será estucado y pintado como acabado final.

La norma IRAM Argentina 11605:1996 de acondicionamiento térmico de edificios recomienda para zonas frías un valor para techos de $U = 0.60W /m^2 \cdot ^\circ K$. ANEXO C

Estos valores están clasificados en tres niveles:

Nivel A: Recomendado

Nivel B: Medio

Nivel C: Mínimo

- **Pared exterior.-** Para la mampostería, se utilizarán ladrillo común de 180 mm en la parte exterior se realiza un recubrimiento con piedra de la zona y mortero de cemento con un espesor aproximado de 100 mm, en la parte interior se realizara el enlucido de 15 mm entre el enlucido y las planchas de gypsum se coloca material aislante térmico de poliestireno expandido con película antivapor de 30 mm y luego un recubrimiento con planchas gypsum de 12 mm sujetas en una estructura metálica, el acabado del recubrimiento es estucado y pintado.

La norma IRAM Argentina 11605:1996 de acondicionamiento térmica de edificios, recomienda para zonas frías un valor para muros de $U = 0.69W /m^2 \cdot ^\circ K$

- **Pared interior de gypsum.-** Se colocan planchas gypsum para pared, con un espesor de 12mm, soportada en perfiles de aluminio sujeto con pernos, acabado final estucado y pintado.

- **Piso - entrepiso.-** Está constituido en la parte superior por duelas de 20mm montado en vigas de madera de 150x70mm, en la parte inferior se coloca material aislante de poliestireno expandido con película antivapor de 30mm de espesor, y cielo raso de gypsum de 12 mm y el acabado final es estucado y pintado.

- **Piso – contrapiso.-** Está compuesto por: duela de madera de 12mm, mortero de cemento de 15mm, material aislante de poliestireno expandido con película antivapor, láminas bituminosas (chova) de 3.52mm de espesor, hormigón de 210kg/cm² y 180 kg/cm² y relleno con lastre compactado de 150mm de espesor.

- **Puertas.-** Compuesta por madera dura de propiedades aptas para el lugar pintada o barnizada.

- **Ventanas.-** Construidas de madera con vidrio claro doble de 4mm de espesor, debe estar cerrado herméticamente creando una cámara de aire que impide la pérdida de calor.

Los valores del coeficiente global de transferencia de calor para las ventanas con vidrio simple y doble se detallan en tabla siguiente:

Tabla 3. Coeficiente global de transferencia de calor para las ventanas

Ventana herméticamente sellado	U <i>W/m². °K</i>
Simple	7.18
Doble	2.00

Fuente: Autor

- **Tragaluz.-** Se construye también de madera, con vidrio claro doble de 4mm de espesor, cerrado herméticamente.

Los valores del coeficiente global de transferencia de calor para las ventanas con vidrio simple, doble y doble con aislamiento térmico se detallan en tabla siguiente:

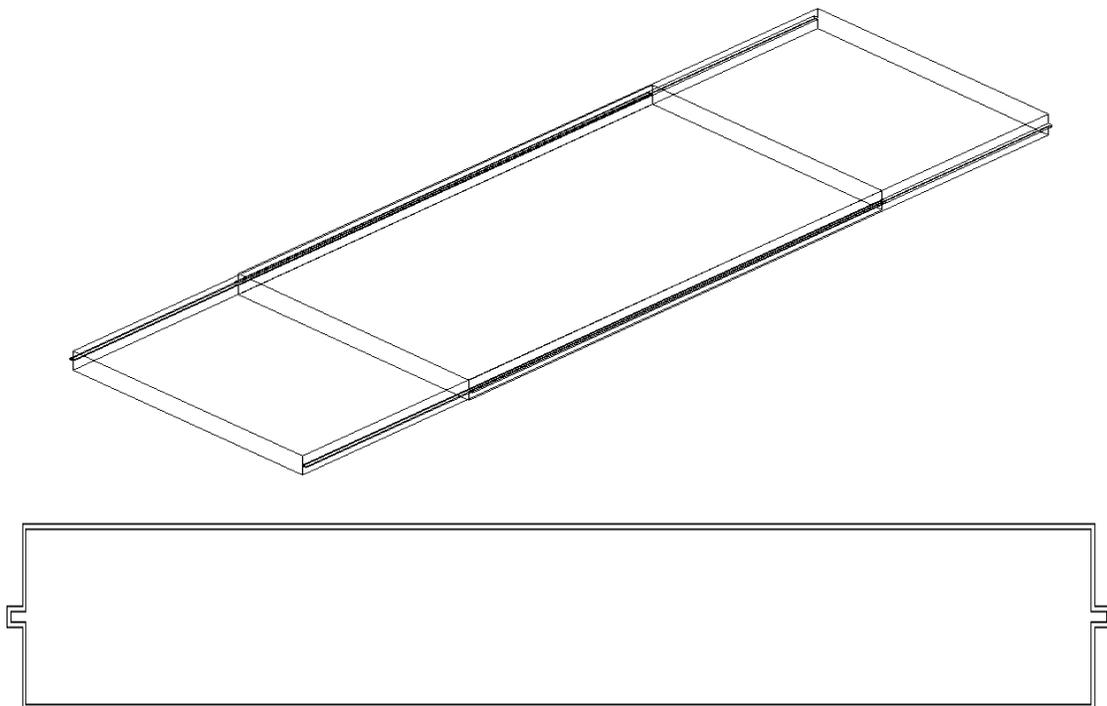
Tabla 4. Coeficiente global de transferencia de calor para el tragaluz

Tragaluz herméticamente sellado	U <i>W/m². °K</i>
Simple	7.18
Doble	2.00
Doble y con aislamiento térmico	0.71

Fuente: Autor

Por el valor de coeficiente global de transferencia de calor de la tabla 4, se observa que existe una baja resistencia térmica permitiendo que exista una gran fuga de calor por aquí, para contrarrestar esto se propone colocar aislamiento térmico de poliestireno expandido, el cual funcionaria como una ventana corrediza que se cierra en la noche y se abre en el día para dejar pasar los rayos del sol como se indica en la figura 31.

Figura 31. Esquema de la placa de aislamiento térmico colocado en el tragaluz



Fuente: Autor

3.2.2 Cálculo del coeficiente convectivo por película de aire

Para este propósito se utiliza las ecuaciones propuestas en el manual y fundamentos de ASHRAE 1967 página 65, se considera la velocidad de viento y las ecuaciones indicadas en la tabla 5.

$$V_{\text{viento}} = 30\text{Km/h}$$

Tabla 5. Coeficiente del ambiente convectivo exterior e interior del aire

No.	TIPO DE SUPERFICIE	ECUACIÓN	$h_i \frac{kcal}{h.m^2.^\circ C}$	$h_e \frac{kcal}{h.m^2.^\circ C}$	$h_i \frac{W}{m^2.^\circ K}$	$h_e \frac{W}{m^2.^\circ K}$
1	Muy lisa	$h = 6.8 + 0.85V$	6.8	32.3	7.90	37.53
2	Lisa	$h = 7.8 + 0.90V$	7.8	34.8	9.06	40.44
3	Moderadamente áspera	$h = 9.8 + 1.20V$	9.8	45.8	11.39	53.22
4	Muy áspera	$h = 10.3 + 1.50V$	10.3	55.3	11.97	64.26

Fuente: Autor

3.2.3 Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor total

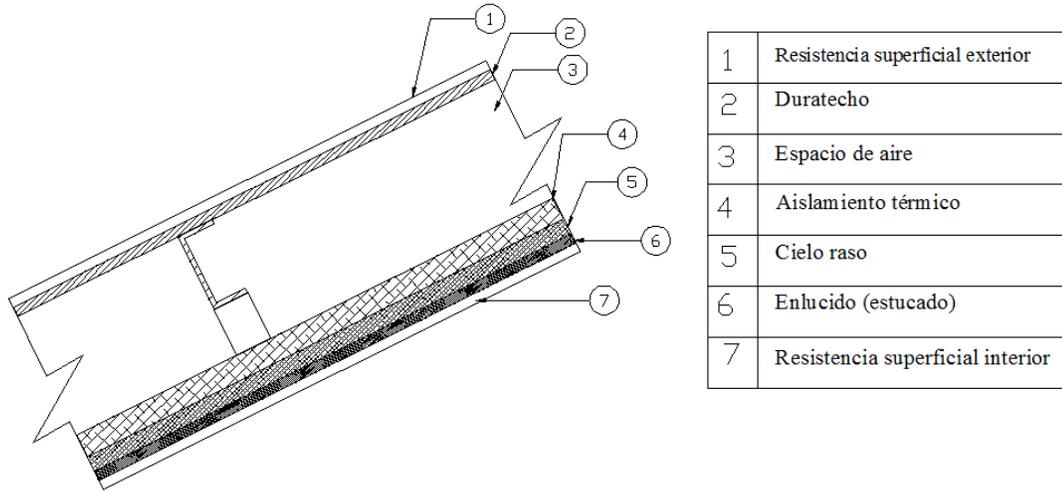
Se considera que la composición y los materiales del techo, paredes, entrepiso, contrapiso, ventanas y puertas para los dos refugios son similares, y dando como resultado el mismo valor del coeficiente global de transferencia de calor.

La conductividad térmica de los materiales que constituyen la edificación fue tomada de los anexos de los libros así como de los catálogos que son proporcionados por las industrias fabricantes de estos materiales. ANEXOS B, D, E

Utilizando las ecuaciones (1), (2) se realiza el cálculo que se presenta en las siguientes tablas.

3.2.3.1 Coeficiente global de transferencia de calor para el techo

Figura 32. Composición y materiales del techo



Fuente: Autor

Tabla 6. Coeficiente de transferencia de calor para el techo

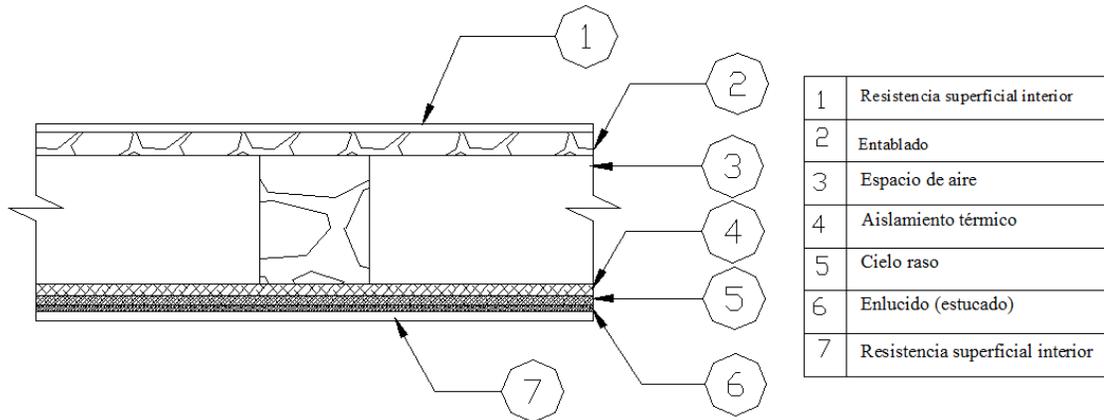
No.	Material	Densidad $\rho(Kg/m^3)$	Espesor e (mm)	Espesor e (m)	Conductividad térmica $k \left(\frac{W}{m^{\circ}K} \right)$	Resistencia calculada $R \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$	Resistencia calculada $R \left(\frac{ft^2 \cdot h^{\circ}F}{BTU} \right)$	Resistencia calculada $R \left(\frac{^{\circ}C \cdot m^2 \cdot h}{Kcal} \right)$
1	Resistencia superficial exterior (viento a 30Km/h)	-	-	-	-	0.02	0.09	0.02
2	Duratecho (acero revestido con aluminio y zinc)	7832	0.3	0.0003	63.9	0.0000047	0.000027	0.0000055
3	Espacio de aire	-	250	0.25	-	0.17	0.94	0.19
4	Aislamiento térmico de poliestireno expandido (con película antivapor)	20	30	0.03	0.033	0.91	5.16	1.06
5	Cielo raso (planchas de gypsum)	900	12	0.012	0.18	0.07	0.38	0.08
6	Enlucido (estucado 3mm)	1857	3	0.003	0.72	0.0042	0.02	0.0048
7	Resistencia superficial interior (lámina de aire)	-	-	-	-	0.11	0.63	0.13
Resistencia total $R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7$						1.27	7.22	1.48
Coeficiente global de transferencia de calor $U = 1/R$					0.79	$W/m^2 \cdot ^{\circ}K$		
					0.14	$BTU/^{\circ}F \cdot ft^2 \cdot h$		
					0.68	$Kcal/^{\circ}C \cdot m^2 \cdot h$		

Fuente: Autor

Este valor obtenido de $0.79 W/m^2 \cdot ^{\circ}K$, está dentro de los rangos dados por la norma Argentina IRAM en condiciones de invierno para techos. ANEXO C

3.2.3.2 Coeficiente global de transferencia de calor para el piso-entrepiso

Figura 33. Composición y materiales del piso-entrepiso



Fuente: Autor

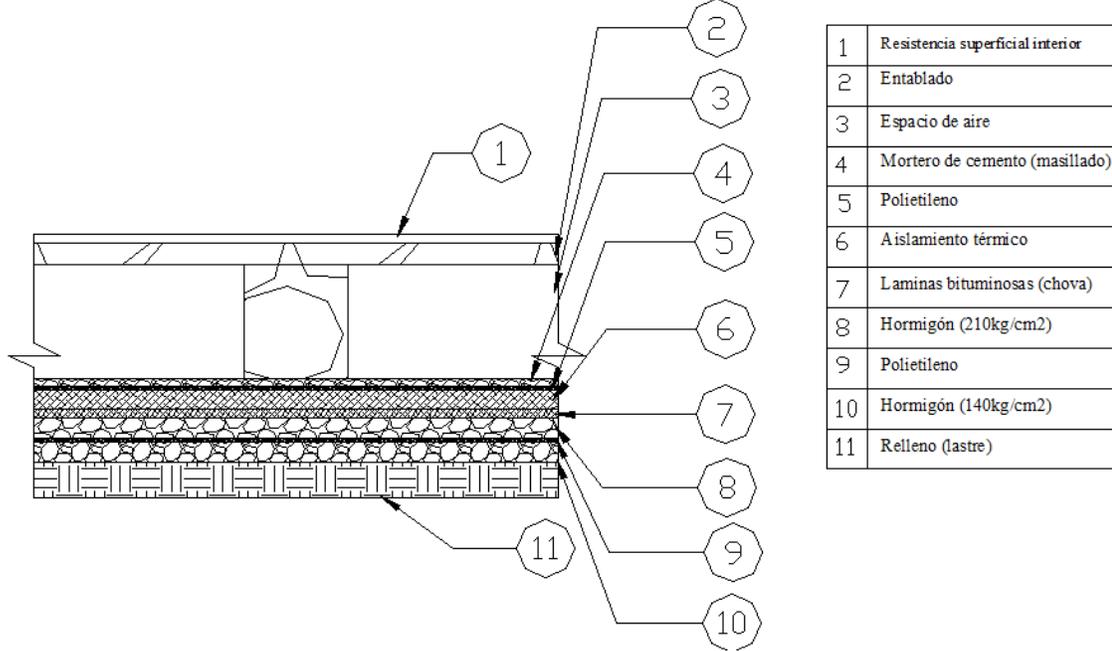
Tabla 7. Coeficiente de transferencia de calor para el piso -entrepiso

No.	Material	Densidad $\rho(\text{Kg}/\text{m}^3)$	Espesor e (mm)	Espesor e (m)	Conductividad térmica $k\left(\frac{W}{m^{\circ}K}\right)$	Resistencia calculada $R\left(\frac{m^2K}{W}\right)$	Resistencia calculada $R\left(\frac{ft^2h^{\circ}F}{BTU}\right)$	Resistencia calculada $R\left(\frac{^{\circ}C.m^2.h}{Kcal}\right)$
1	Resistencia superficial interior (lámina de aire)	-	-	-	-	0.09	0.50	0.10
2	Entablado (duela de madera dura)	721	20	0.02	0.159	0.13	0.71	0.15
3	Espacio de Aire	-	150	0.15	-	0.15	0.85	0.17
4	Aislamiento térmico de poliestireno expandido (con película antivapor)	30	30	0.03	0.033	0.91	5.16	1.06
5	Cielo Raso (planchas de gypsum)	900	12	0.012	0.180	0.0667	0.38	0.08
6	Enlucido(estucado 3mm)	1857	3	0.003	0.72	0.0042	0.02	0.0048
7	Resistencia superficial interior (lámina de aire)	-	-	-	-	0.11	0.63	0.13
Resistencia total $R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7$						1.45	8.25	1.69
Coeficiente global de transferencia de calor $U = 1/R$					0.69	$W/m^2 \cdot ^{\circ}K$		
					0.12	$BTU/^{\circ}F \cdot ft^2 \cdot h$		
					0.59	$Kcal/^{\circ}C.m^2.h$		

Fuente: Autor

3.2.3.3 Coeficiente global de transferencia de calor para el piso-contrapiso

Figura 34. Composición y materiales del piso-contrapiso



Fuente: Autor

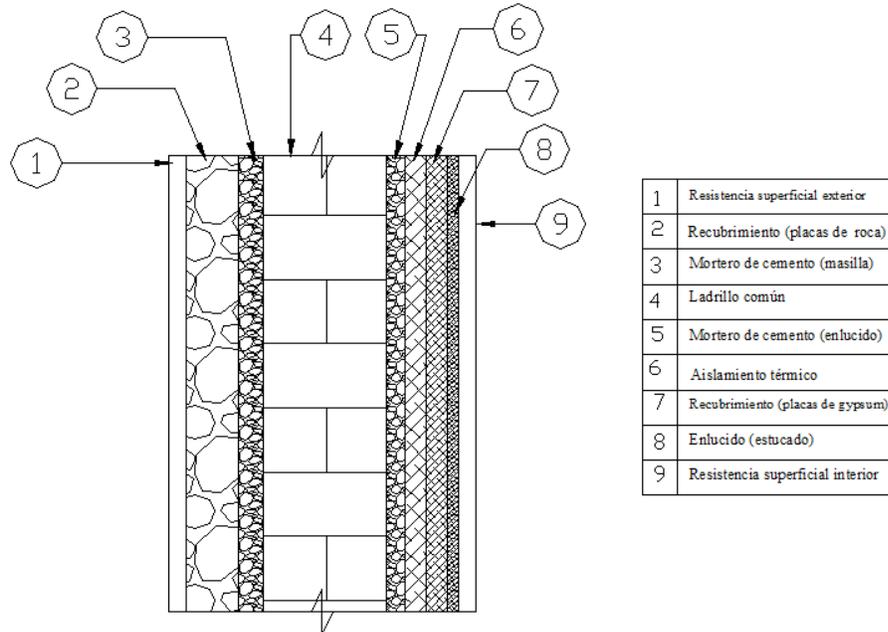
Tabla 8. Coeficiente de transferencia de calor para el piso-contrapiso

No.	Material	Densidad $\rho(Kg/m^3)$	Espesor e (mm)	Espesor e (m)	Conductividad térmica $k \left(\frac{W}{m^{\circ}K} \right)$	Resistencia calculada $R \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$	Resistencia calculada $R \left(\frac{ft^2 \cdot h^{\circ}F}{BTU} \right)$	Resistencia calculada $R \left(\frac{^{\circ}C \cdot m^2 \cdot h}{Kcal} \right)$
1	Resistencia superficial interior (lámina de aire)	-	-	-	-	0.09	0.50	0.10
2	Entablado (duela de madera dura)	721	20	0.02	0.159	0.13	0.71	0.15
3	Espacio de aire	-	50	0.05	-	0.15	0.85	0.17
4	Mortero de cemento (masillado)	1860	15	0.015	0.72	0.02	0.12	0.02
5	Polietileno	30	0.1	0.00010	0.038	0.0026	0.01	0.0031
6	Aislamiento térmico de poliestireno expandido (con película antivapor)	20	30	0.03	0.033	0.91	5.16	1.06
7	Laminas bituminosas (chova)	1100	3.52	0.0035	0.19	0.02	0.11	0.02
8	Hormigón (210kg/cm2)	1400	80	0.08	0.55	0.15	0.83	0.17
9	Polietileno	30	0.1	0.0001	0.038	0.0026	0.01	0.0031
10	Hormigón (140kg/cm2)	600	50	0.05	0.17	0.29	1.67	0.34
11	Relleno (lastre)	170	150	0.15	1.4	0.11	0.61	0.12
Resistencia total $R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7 + r_8 + r_9 + r_{10} + r_{11}$						1.86	10.58	2.17
Coeficiente global de transferencia de calor $U = 1/R$					0.54	$W/m^2 \cdot ^{\circ}K$		
					0.09	$BTU/^{\circ}F \cdot ft^2 \cdot h$		
					0.46	$Kcal/^{\circ}C \cdot m^2 \cdot h$		

Fuente: Autor

3.2.3.4 Coeficiente global de transferencia de calor para las paredes exteriores

Figura 35. Composición y materiales de las paredes exteriores



Fuente: Autor

Tabla 9. Coeficiente de transferencia de calor para las paredes exteriores

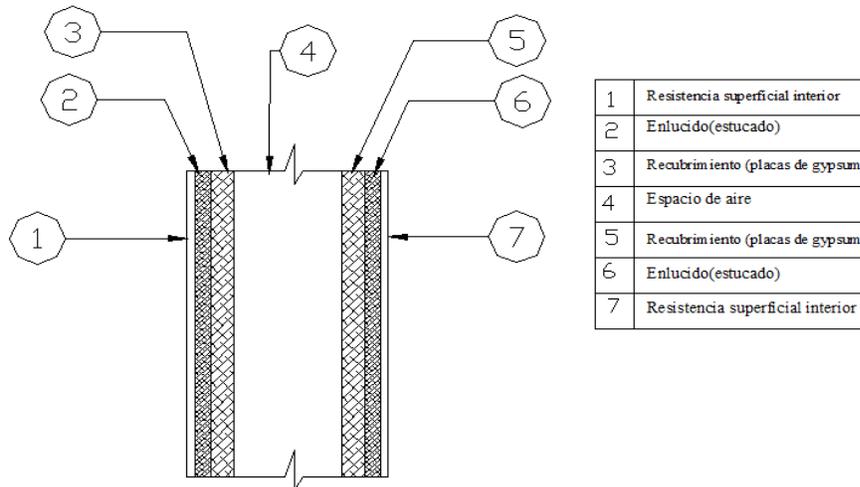
No.	Material	Densidad ρ (Kg/m ³)	Espesor e (mm)	Espesor e (m)	Conductividad térmica k ($\frac{W}{m^{\circ}K}$)	Resistencia calculada R ($\frac{m^2 \cdot K}{W}$)	Resistencia calculada R ($\frac{ft^2 \cdot h^{\circ}F}{BTU}$)	Resistencia calculada R ($\frac{^{\circ}C \cdot m^2 \cdot h}{Kcal}$)
1	Resistencia superficial exterior (viento a 30Km/h)	-	-	-	-	0.02	0.09	0.02
2	Recubrimiento (placas de roca)	1700	100	0.1	2.33	0.04	0.24	0.05
3	Mortero de cemento (masilla)	1860	15	0.015	0.72	0.02	0.12	0.02
4	Ladrillo común	1400	180	0.18	0.6	0.30	1.70	0.35
5	Mortero de cemento (enlucido)	1860	15	0.015	0.72	0.02	0.12	0.02
6	Aislamiento térmico de poliestireno expandido (con película antivapor)	20	30	0.03	0.033	0.91	5.16	1.06
7	Recubrimiento (planchas de gypsum)	900	12	0.012	0.18	0.07	0.38	0.08
8	Enlucido (estucado 3mm)	1857	3	0.003	0.72	0.0042	0.02	0.0048
9	Resistencia superficial interior (lámina de aire)	-	-	-	-	0.11	0.63	0.13
Resistencia total $R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7 + r_8 + r_9$						1.49	8.46	1.73
Coeficiente global de transferencia de calor $U = 1/R$					0.67	$W/m^2 \cdot ^{\circ}K$		
					0.12	$BTU/^{\circ}F \cdot ft^2 \cdot h$		
					0.58	$Kcal/^{\circ}C \cdot m^2 \cdot h$		

Fuente: Autor

Este valor obtenido de $0.67 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$, está dentro de los rangos dados por la norma argentina IRAM en condiciones de invierno para paredes. ANEXO C

3.2.3.5 Coeficiente global de transferencia de calor para las paredes interiores

Figura 36. Composición y materiales de las paredes interiores



Fuente: Autor

Tabla 10. Coeficiente de transferencia de calor para las paredes interiores

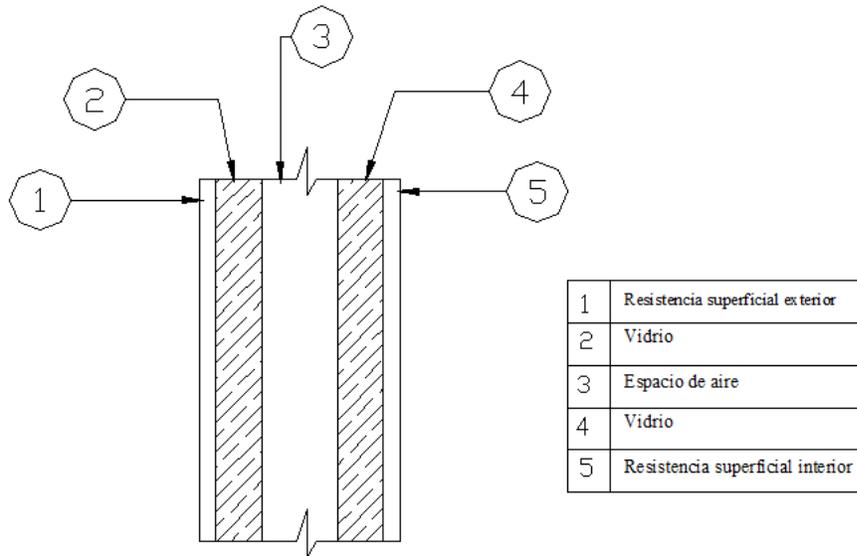
No.	Material	Densidad $\rho (\text{Kg/m}^3)$	Espesor e (mm)	Espesor e (m)	Conductividad térmica $k \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}} \right)$	Resistencia calculada $R \left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right)$	Resistencia calculada $R \left(\frac{\text{ft}^2 \cdot \text{h}^\circ\text{F}}{\text{BTU}} \right)$	Resistencia calculada $R \left(\frac{^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}}{\text{Kcal}} \right)$
1	Resistencia superficial interior (lámina de aire)	-	-	-	-	0.11	0.63	0.13
2	Enlucido(estucado 3mm)	1857	3	0.003	0.72	0.0042	0.02	0.0048
3	Recubrimiento (planchas de gypsum)	900	12	0.012	0.18	0.07	0.38	0.08
4	Espacio de aire	-	50	0.05	-	0.15	0.85	0.17
5	Recubrimiento (planchas de gypsum)	900	12	0.012	0.18	0.07	0.38	0.08
6	Enlucido(estucado 3mm)	1857	3	0.003	0.72	0.0042	0.02	0.0048
7	Resistencia superficial interior (lámina de aire)	-	-	-	-	0.11	0.63	0.13
Resistencia total $R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7$						0.51	2.91	0.60
Coeficiente global de transferencia de calor $U = 1/R$					1.95	$\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$		
					0.34	$\text{BTU}/^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{h}$		
					1.68	$\text{Kcal}/^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}$		

Fuente: Autor

3.2.3.6 Coeficiente global de transferencia de calor para las ventanas

Las ventanas están situadas en las paredes del comedor poseen doble vidrio y son selladas herméticamente.

Figura 37. Composición y materiales de las ventanas



Fuente: Autor

Tabla 11. Coeficiente de transferencia de calor para las ventanas

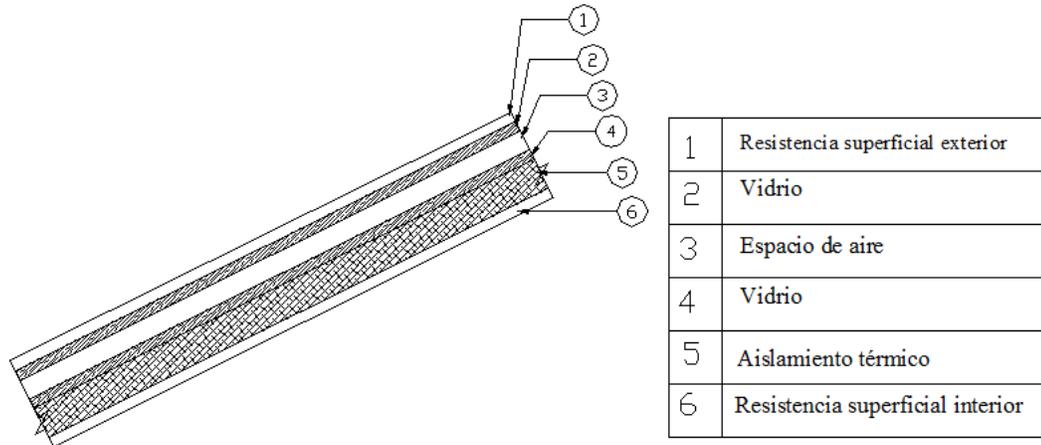
No.	Material	Densidad $\rho(Kg/m^3)$	Espesor e (mm)	Espesor e (m)	Conductividad térmica $k\left(\frac{W}{m^{\circ}K}\right)$	Resistencia calculada $R\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$	Resistencia calculada $R\left(\frac{ft^2 \cdot h^{\circ}F}{BTU}\right)$	Resistencia calculada $R\left(\frac{^{\circ}C \cdot m^2 \cdot h}{Kcal}\right)$
1	Resistencia superficial exterior (viento a 30Km/h)	-	-	-	-	0.02	0.14	0.03
2	Vidrio	2500	4	0.004	0.950	0.004	0.02	0.005
3	Espacio de Aire	-	12	0.012	-	0.36	2.03	0.42
4	Vidrio	2500	4	0.004	0.950	0.004	0.02	0.005
5	Resistencia superficial interior (lámina de aire)	-	-	-	-	0.11	0.63	0.13
Resistencia total $R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5$						0.50	2.84	0.58
Coeficiente global de transferencia de calor $U = 1/R$					2.00	$W/m^2 \cdot ^{\circ}K$		
					0.35	$BTU/^{\circ}F \cdot ft^2 \cdot h$		
					1.72	$Kcal/^{\circ}C \cdot m^2 \cdot h$		

Fuente: Autor

3.2.3.7 Coeficiente global de transferencia de calor para el tragaluz

Están colocadas en el techo y permite el paso de luz hacia las diferentes habitaciones de los dormitorios de la planta alta.

Figura 38. Composición y materiales del tragaluz



Fuente: Autor

Tabla 12. Coeficiente de transferencia del tragaluz

No.	Material	Densidad $\rho(Kg/m^3)$	Espesor e (mm)	Espesor e (m)	Conductividad térmica $k\left(\frac{W}{m^{\circ}K}\right)$	Resistencia calculada $R\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$	Resistencia calculada $R\left(\frac{ft^2 \cdot h^{\circ}F}{BTU}\right)$	Resistencia calculada $R\left(\frac{^{\circ}C \cdot m^2 \cdot h}{Kcal}\right)$
1	Resistencia superficial exterior (viento a 30Km/h)	-	-	-	-	0.025	0.14	0.03
2	Vidrio	2500	4	0.004	0.95	0.004	0.02	0.005
3	Espacio de Aire	-	12	0.012	-	0.36	2.03	0.42
4	Vidrio	2500	4	0.004	0.95	0.004	0.02	0.005
5	Aislamiento térmico de poliestireno expandido (con película antivapor)	20	30	0.03	0.033	0.91	5.16	1.06
6	Resistencia superficial interior (lámina de aire)	-	-	-	-	0.11	0.63	0.13
Resistencia total $R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6$						1.41	8.00	1.64
Coeficiente global de transferencia de calor $U = 1/R$					0.71	$W/m^2 \cdot ^{\circ}K$		
					0.13	$BTU/^{\circ}F \cdot ft^2 \cdot h$		
					0.61	$Kcal/^{\circ}C \cdot m^2 \cdot h$		

Fuente: Autor

3.3 Cálculo de carga térmica

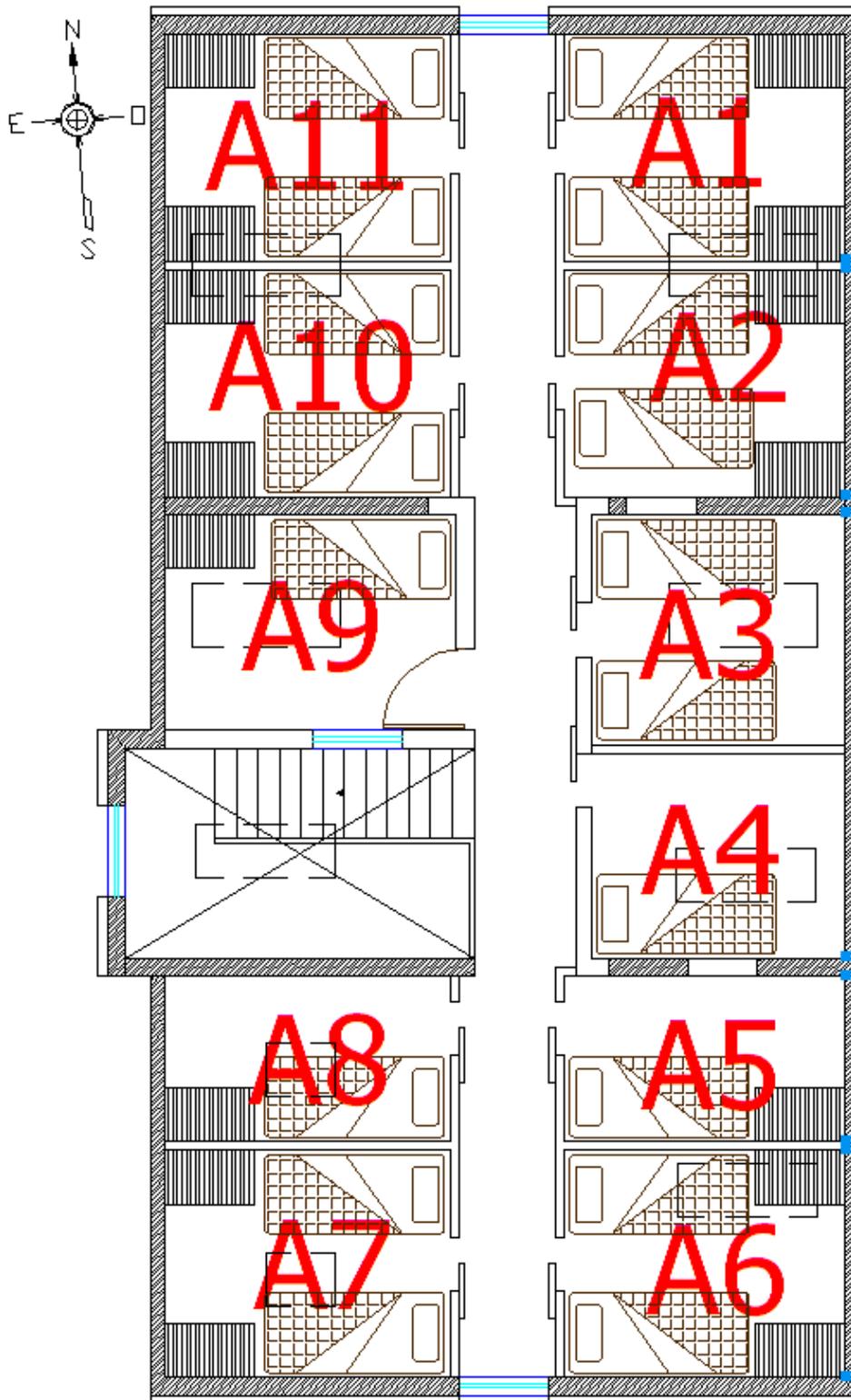
Para calcular la carga térmica se utiliza la ecuación (3) y los valores de coeficiente global de transferencia de calor que se muestran en las tablas 6, 7, 8, 9, 10, 11,12 multiplicado por el área.

3.3.1 *Carga térmica del refugio hermanos Carrel*

El refugio cuenta con un comedor, cocina, baño, etc. que están situados en la planta baja y 11 dormitorios en la planta alta. Se decidió climatizar las áreas donde permanecen con mayor frecuencia los visitantes durante su estadía en los refugios.

El cálculo de pérdida de carga por las paredes, entrepiso, contrapiso, ventanas y puertas se hizo para cada una de las habitaciones y los resultados se exponen en las tablas siguientes.

Figura 39. Esquema de los dormitorios (refugio Carrel)



Fuente: Proyecto arquitectónico del Arq. Carlos Galarza

Tabla 13. Carga térmica a través de paredes (refugio Carrel)

	Orientación	U $\left(\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}\right)$	A ft ²	DT (°F)	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Q (W)
Paredes de A1	N	0.118	57.106	50.4	340.286	85.820	99.70
	S	0.309	57.106	0	0	0	0
	E	-	-	-	-	-	-
	W	0.309	80.458	5.4	134.157	33.834	39.31
Paredes de A2	N	0.309	57.106	0	0	0	0
	S	0.344	57.106	0	0	0	0
	E	-	-	-	-	-	-
	W	0.309	80.823	5.4	134.765	33.988	39.49
Paredes de A3	N	0.309	41.135	0	0	0	0
	S	0.344	41.135	0	0	0	0
	E	-	-	-	-	-	-
	W	0.344	63.455	5.4	117.904	29.735	34.55
Paredes de A4	N	0.344	41.135	0	0	0	0
	S	0.309	41.135	0	0	0	0
	E	-	-	-	-	-	-
	W	0.344	63.455	5.4	117.904	29.735	34.55
Paredes de A5	N	0.344	57.106	0	0	0	0
	S	0.309	57.106	0	0	0	0
	E	-	-	-	-	-	-
	W	0.309	55.280	5.4	92.175	23.247	27.01
Paredes de A6	N	0.309	57.106	0	0	0	0
	S	0.118	57.106	50.4	340.286	85.820	99.70
	E	-	-	-	-	-	-
	W	0.309	92.319	5.4	153.934	38.822	45.10
Paredes de A7	N	0.309	58.201	0	0	0	0
	S	0.118	58.201	50.4	346.809	87.465	101.61
	E	0.309	80.823	5.4	134.765	33.988	39.49
	W	-	-	-	-	-	-
Paredes de A8	N	0.344	58.201	14.4	288.376	72.728	84.49
	S	0.309	58.201	0	0	0	0
	E	0.309	55.280	5.4	92.175	23.247	27.01
	W	-	-	-	-	-	-
Paredes de A9	N	0.344	59.296	0	0	0	0
	S	0.344	48.532	14.4	240.467	60.646	70.46
	E	0.344	76.079	5.4	141.360	35.651	41.42
	W	-	-	-	-	-	-
Paredes de A10	N	0.309	58.201	0	0	0	0
	S	0.344	58.201	0	0	0	0
	E	0.309	80.823	5.4	134.765	33.988	39.49
	W	-	-	-	-	-	-
Paredes de A11	N	0.118	58.201	50.4	346.809	87.465	101.61
	S	0.309	58.201	0	0	0	0
	E	0.309	80.458	5.4	134.157	33.834	39.31
	W	-	-	-	-	-	-
Subtotal					3291.093	830	964.28

Fuente: Autor

Tabla 14. Carga térmica a través del piso (refugio Carrel)

	Area	U $\left(\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}\right)$	A ft^2	DT $(^\circ F)$	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Q (W)
Piso	A1	0.1212	84.90	14.4	148.20	37.38	43.42
	A2	0.1212	85.24	14.4	148.79	37.52	43.60
	A3	0.1212	77.43	14.4	135.16	34.09	39.60
	A4	0.1212	77.43	14.4	135.16	34.09	39.60
	A5	0.1212	61.65	14.4	107.62	27.14	31.53
	A6	0.1212	85.24	14.4	148.79	37.52	43.60
	A7	0.1212	86.87	14.4	151.64	38.24	44.43
	A8	0.1212	62.84	14.4	109.69	27.66	32.14
	A9	0.1212	83.96	14.4	146.56	36.96	42.94
	A10	0.1212	126.77	14.4	221.28	55.81	64.83
	A11	0.1212	86.53	14.4	151.04	38.09	44.26
Subtotal					1603.94	404.51	469.95

Fuente: Autor

Tabla 15. Carga térmica a través del techo (refugio Carrel)

	Area	U $\left(\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}\right)$	A ft^2	DT $(^\circ F)$	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Q (W)
Techo	A1	0.1386	118.94	50.4	830.78	209.52	243.42
	A2	0.1386	119.44	50.4	834.25	210.40	244.43
	A3	0.1386	95.33	50.4	665.89	167.94	195.10
	A4	0.1386	95.33	50.4	665.89	167.94	195.10
	A5	0.1386	90.89	50.4	634.83	160.10	186.00
	A6	0.1386	113.22	50.4	790.83	199.45	231.71
	A7	0.1386	121.73	50.4	850.26	214.44	249.12
	A8	0.1386	86.65	50.4	605.27	152.65	177.34
	A9	0.1386	108.89	50.4	760.57	191.81	222.84
	A10	0.1386	120.55	50.4	842.03	212.36	246.71
	A11	0.1386	120.05	50.4	838.53	211.48	245.69
Subtotal					8319.11	2098.08	2437.48

Fuente: Autor

Tabla 16. Carga térmica a través del tragaluz (refugio Carrel)

	Área	U $\left(\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}\right)$	A ft ²	DT (°F)	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Q (W)
Tragaluz	A1	0.1250	6.22	50.4	39.16	9.88	11.47
	A2	0.1250	6.22	50.4	39.16	9.88	11.47
	A3	0.1250	12.43	50.4	78.32	19.75	22.95
	A4	0.1250	12.43	50.4	78.32	19.75	22.95
	A5	-	-	-	-	-	0.00
	A6	0.1250	12.43	50.4	78.32	19.75	22.95
	A7	0.1250	5.04	50.4	31.74	8.00	9.30
	A8	0.1250	5.04	50.4	31.74	8.00	9.30
	A9	0.1250	10.76	5.4	7.27	1.83	2.13
		0.1250	12.43	50.4	78.32	19.75	22.95
	A10	0.1250	6.22	50.4	39.16	9.88	11.47
A11	0.1250	6.22	50.4	39.16	9.88	11.47	
Subtotal					540.69	136.36	158.42

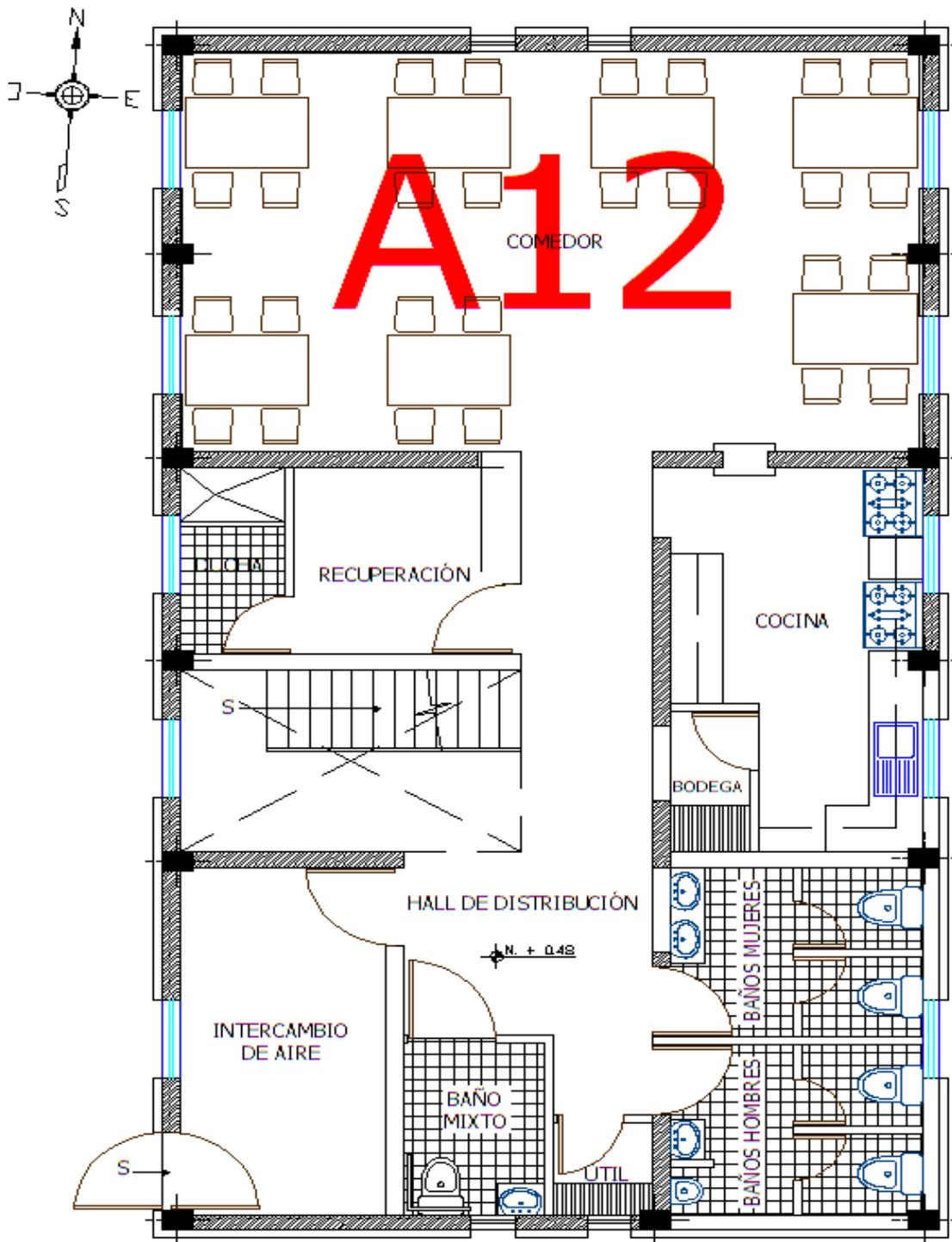
Fuente: Autor

Tabla 17. Carga térmica a través de las puertas (refugio Carrel)

	Área	U $\left(\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}\right)$	A ft ²	DT (°F)	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Q (W)
Puertas	A1	0.58	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A2	0.58	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A3	0.58	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A4	0.58	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A5	0.58	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A6	0.58	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A7	0.58	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A8	0.58	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A9	0.58	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
		0.58	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A11	0.58	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
Subtotal					399.20	100.68	116.96

Fuente: Autor

Figura 40. Esquema del comedor (refugio Carrel)



Fuente: Proyecto arquitectónico del Arq. Carlos Galarza

Tabla 18. Carga térmica del comedor (refugio Carrel)

	Orientación	U $\left(\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}\right)$	A ft ²	DT (°F)	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Q (W)
Pared	N	0.118	188.19	50.4	1121.40	282.82	328.57
	S	0.344	163.60	14.4	810.59	204.43	237.50
	E	0.118	99.87	50.4	595.12	150.09	174.37
	W	0.118	99.87	50.4	595.12	150.09	174.37
Ventana	N	0.352	10.8	50.4	190.97	48.16	55.95
	S	-	-	-	-	-	-
	E	0.352	21.53	50.4	381.93	96.32	111.91
	W	0.352	21.53	50.4	381.93	96.32	111.91
Puerta	N	-	-	-	-	-	-
	S	0.5846	35.4	14.4	297.67	75.07	87.22
	E	-	-	-	-	-	-
	W	-	-	-	-	-	-
Techo		0.1212	43.5	0	0	0	0
Piso		0.0945	467.9	28.8	1273.93	321.28	373.3
Subtotal					5648.66	1424.59	1655.04

Fuente: Autor

El cálculo de la carga térmica por ventilación o infiltración se realiza empleando la ecuación (4) en la cual se reemplazó la densidad del aire del lugar y el calor específico y se obtuvo la ecuación (5) y los resultado para cada habitación se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 19. Carga térmica por ventilación (refugio Carrel)

Área	V (m ³)	n (1/h)	DT (°K)	Q (W)	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$
A1	13.37	1.1	28	83.4	284.54	71.76
A2	13.42			83.7	285.67	72.04
A3	9.78			61.0	208.21	52.51
A4	9.78			61.0	208.21	52.51
A5	9.71			60.6	206.63	52.11
A6	13.42			83.7	285.67	72.04
A7	13.68			85.3	291.14	73.43
A8	9.89			61.7	210.59	53.11
A9	13.22			82.5	281.38	70.96
A10	13.68			85.3	291.14	73.43
A11	13.63			85.0	289.99	73.14
A12	95.19			593.7	2025.89	510.93

Fuente: Autor

3.3.1.1 Resumen de la carga térmica total

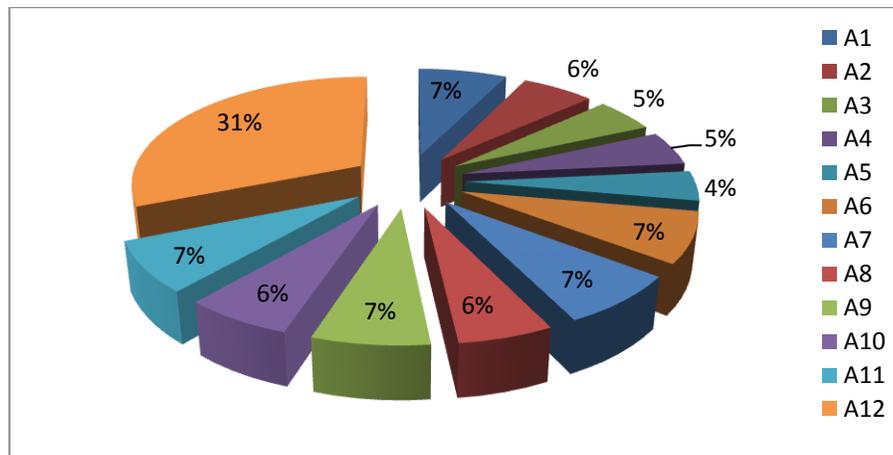
Se obtiene el valor total de la carga térmica sumando los valores de las tablas 13, 14, 15, 16,17 de pérdida de calor a través de paredes, piso, techo, etc. de cada habitación incluyendo los valores del comedor tabla 18 más la carga por ventilación expuesta en la tabla 19, a este valor total se aplica un coeficiente de seguridad del 16%, obteniendo los valores expuestos en la tabla 20.

Tabla 20. Resumen de la carga térmica (refugio Carrel)

ÁREA	Q ($\frac{BTU}{h}$)	Q ($\frac{Kcal}{h}$)	Q (W)	Área del piso m^2	q ($\frac{BTU}{h.m^2}$)	q ($\frac{W}{m^2}$)
A1	2103.56	530.52	616.34	7.89	266.69	78
A2	1715.55	432.66	502.65	7.92	216.64	63
A3	1440.47	363.29	422.05	7.19	200.24	59
A4	1440.47	363.29	422.05	7.19	200.24	59
A5	1249.96	315.24	366.23	5.73	218.22	64
A6	2127.57	536.57	623.37	7.92	268.67	79
A7	2137.47	539.07	626.27	8.07	264.84	78
A8	1593.99	402.00	467.03	5.84	273.05	80
A9	1962.96	495.06	575.14	7.80	251.66	74
A10	1815.01	457.75	531.79	8.07	224.89	66
A11	2129.74	537.12	624.01	8.04	264.93	78
A12	8902.49	2245.21	2608.40	43.47	204.81	60

Fuente: Autor

Gráfica 1. Carga térmica más influyente (BTU/h)

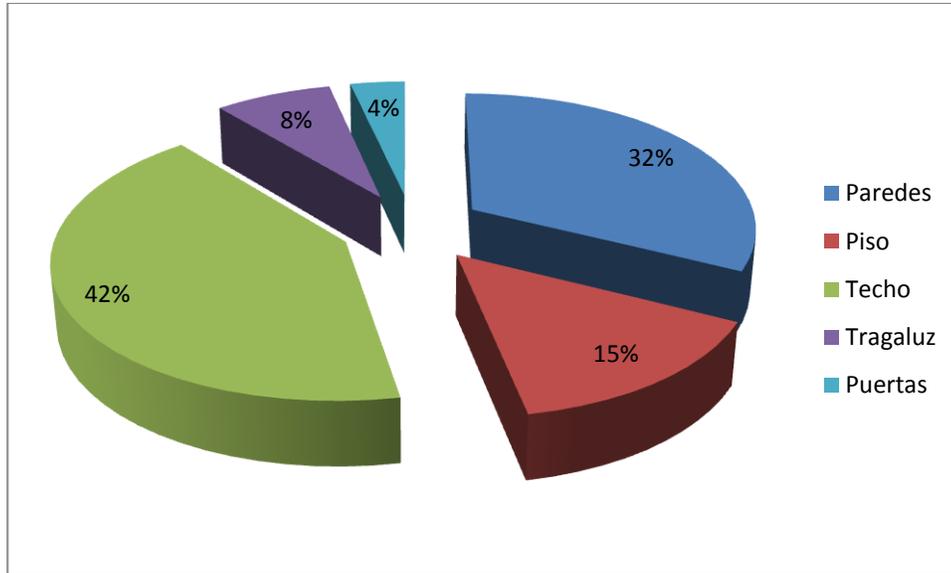


Fuente: Autor

3.3.1.2 Carga térmica total más representativas de la edificación

Se observa que la carga térmica más influyente es a través del techo esto se debe a la gran área que posee más el material del que está compuesto, esto se muestra en la siguiente gráfica.

Gráfica 2. Cargas térmicas más representativas (BTU/h)



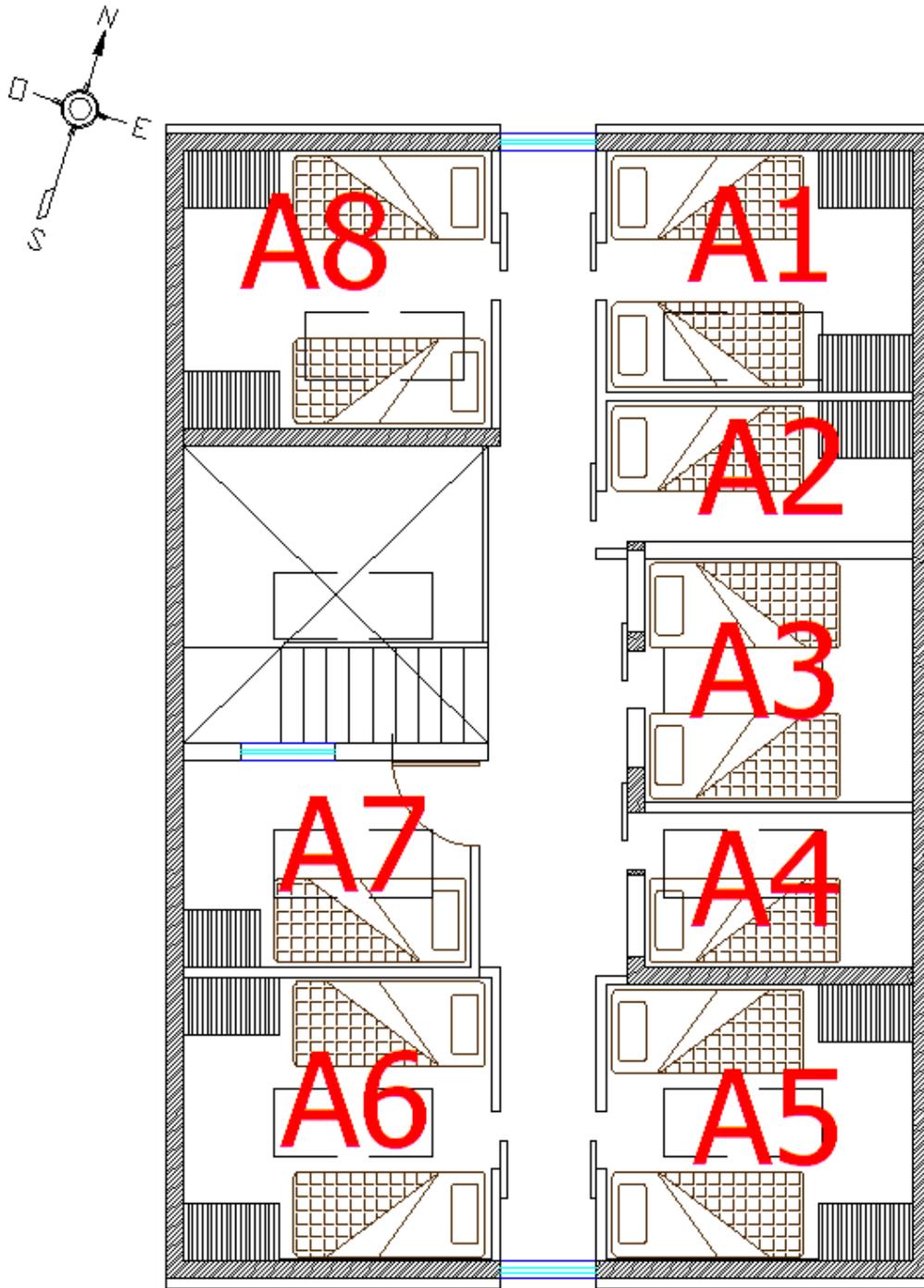
Fuente: Autor

3.3.2 Carga térmica del refugio Edward Whymper

El refugio cuenta con un comedor, cocina, baños, etc. situado en la planta baja y 8 dormitorios en la planta alta. Como en el caso del refugio Carrel se decidió climatizar los lugares de mayor permanencia de los visitantes.

El cálculo de pérdida de carga por las paredes, entrapiso, contrapiso, ventanas y puertas se hizo para cada una de las habitaciones y los resultados se exponen en las tablas siguientes.

Figura 41. Esquema de los dormitorios (refugio Whymper)



Fuente: Proyecto arquitectónico del Arq. Carlos Galarza

Tabla 21. Carga térmica a través de las paredes (refugio Whymper)

	Orientación	U $\left(\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}\right)$	A ft^2	DT $(^\circ F)$	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Q (W)
Paredes de A1	N	0.118	86.476	50.4	515.296	129.958	150.98
	S	0.309	86.476	-	-	-	-
	E	0.118	29.024	50.4	172.947	43.617	50.67
	W	0.309	94.834	5.4	158.128	39.880	46.33
Paredes de A2	N	0.309	86.476	-	-	-	-
	S	0.344	86.476	-	-	-	-
	E	0.118	20.040	50.4	119.416	30.117	34.99
	W	0.309	61.923	5.4	103.251	26.040	30.25
Paredes de A3	N	0.344	70.021	-	-	-	-
	S	0.309	70.021	-	-	-	-
	E	0.118	29.485	50.4	175.693	44.310	51.48
	W	0.344	86.602	5.4	160.912	40.582	47.15
Paredes de A4	N	0.309	70.021	-	-	-	-
	S	0.344	70.021	-	-	-	-
	E	0.118	18.773	50.4	111.867	28.213	32.777
	W	0.344	50.965	5.4	94.696	23.882	27.75
Paredes de A5	N	0.344	86.476	-	-	-	-
	S	0.118	86.476	50.4	515.296	129.958	150.98
	E	0.118	33.400	50.4	199.027	50.195	58.31
	W	0.309	110.868	5.4	184.863	46.623	54.16
Paredes de A6	N	0.309	86.476	-	-	-	-
	S	0.118	86.476	50.4	515.296	129.958	150.98
	E	0.309	114.244	5.4	190.492	48.042	55.81
	W	0.118	34.322	50.4	204.517	51.579	59.92
Paredes de A7	N	0.344	68.477	14.4	339.290	85.569	99.41
	S	0.309	79.241	-	-	-	-
	E	0.309	71.658	5.4	119.483	30.134	35.01
	W	0.118	24.993	50.4	148.927	37.559	43.64
Paredes de A8	N	0.118	77.291	50.4	460.565	116.154	134.94
	S	0.344	77.291	14.4	382.965	96.584	112.21
	E	0.309	94.689	5.4	157.886	39.819	46.26
	W	0.118	33.516	50.4	199.713	50.368	58.52
Subtotal					5230.524	1319.138	1532.53

Fuente: Autor

Tabla 22. Carga térmica a través del piso (refugio Whymper)

	Área	U $\left(\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}\right)$	A ft ²	DT (°F)	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Q (W)
Piso	A1	0.1212	87.34	5.4	57.17	14.42	16.75
	A2	0.1212	60.31	5.4	39.48	9.96	11.57
	A3	0.1212	77.43	5.4	50.69	12.78	14.85
	A4	0.1212	49.30	5.4	32.27	8.14	9.46
	A5	0.1212	100.51	5.4	65.80	16.59	19.28
	A6	0.1212	103.29	5.4	67.61	17.05	19.81
	A7	0.1212	74.28	5.4	48.62	12.26	14.25
	A8	0.1212	100.86	14.4	176.06	44.40	51.58
Subtotal					537.70	135.61	157.54

Fuente: Autor

Tabla 23. Carga térmica a través del techo (refugio Whymper)

	Área	U $\left(\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}\right)$	A ft ²	DT (°F)	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Q (W)
Techo	A1	0.1386	110.69	50.4	773.18	195.00	226.54
	A2	0.1386	80.72	50.4	563.84	142.20	165.20
	A3	0.1386	91.18	50.4	636.86	160.62	186.60
	A4	0.1386	53.54	50.4	373.95	94.31	109.57
	A5	0.1386	122.11	50.4	852.90	215.10	249.90
	A6	0.1386	125.82	50.4	878.82	221.64	257.49
	A7	0.1386	83.30	50.4	581.87	146.75	170.49
	A8	0.1386	134.02	50.4	936.11	236.09	274.28
Subtotal					5597.53	1411.70	1640.06

Fuente: Autor

Tabla 24. Carga térmica a través del tragaluz (refugio Whymper)

	Área	U $\left(\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}\right)$	A ft ²	DT (°F)	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Q (W)
Tragaluz	A1	0.1250	6.22	50.4	39.16	9.88	11.47
	A2	-	-	-	-	-	-
	A3	0.1250	12.43	50.4	78.32	19.75	22.95
	A4	0.1258	12.43	50.4	78.82	19.88	23.09
	A5	0.1250	12.43	50.4	78.32	19.75	22.95
	A6	0.1250	12.43	50.4	78.32	19.75	22.95
	A7	0.3520	10.76	14.4	54.56	13.76	15.99
		0.1250	4.52	50.4	28.48	7.18	8.35
A8	0.1250	12.43	50.4	78.32	19.75	22.95	
Subtotal					514.32	129.71	150.69

Fuente: Autor

Tabla 25. Carga térmica a través de las puertas (refugio Whympor)

	Área	U $\left(\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}\right)$	A ft^2	DT $(^\circ F)$	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Q (W)
Puertas	A1	0.5846	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A2	0.5846	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A3	0.5846	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A4	0.1250	11.50	5.4	7.76	1.96	2.27
	A5	0.5846	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A6	0.5846	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A7	0.5846	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
	A8	0.5846	11.50	5.4	36.29	9.15	10.63
Subtotal					261.79	66.02	76.71

Fuente: Autor

Figura 42. Esquema del comedor (refugio Whympor)



Fuente: Proyecto arquitectónico del Arq. Carlos Galarza

Tabla 26. Carga térmica del comedor (refugio Whymper)

	Orientación	U $\left(\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}\right)$	A ft ²	DT (°F)	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Q (W)
Pared	N	0.344	81.45	14.4	403.57	101.78	118.24
	S	0.118	158.57	50.4	944.89	238.30	276.85
	E	0.118	57.60	50.4	343.21	86.56	100.56
	W	0.118	102.23	50.4	609.17	153.63	178.49
Ventana	N	-	-	-	-	-	-
	S	0.352	21.53	50.4	381.93	96.32	111.91
	E	0.352	10.76	50.4	190.97	48.16	55.95
	W	0.352	21.53	50.4	381.93	96.32	111.91
Puerta	N	0.138	28.2	14.4	56.12	14.15	16.44
	S	-	-	-	-	-	-
	E	-	-	-	-	-	-
	W	-	-	-	-	-	-
Techo		0.1386	431.7	0	0	0	0
Piso		0.0945	356.1	28.8	969.63	244.54	284.10
Subtotal					4281.42	1079.77	1254.45

Fuente: Autor

Para el cálculo de la carga por ventilación, se procede de igual manera que en caso del refugio Carrel y se aplica las ecuaciones (4) y (5) obteniendo los resultados dados en la tabla siguiente.

Tabla 27. Carga térmica por ventilación (refugio Whymper)

Área	V (m ³)	n (1/h)	DT (°K)	Q (W)	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$
A1	20.25	1.1	28	126.3	430.87	108.67
A2	13.98			87.2	297.51	75.03
A3	16.65			103.9	354.42	89.39
A4	10.60			66.1	225.67	56.91
A5	23.30			145.3	495.85	125.05
A6	23.94			149.3	509.53	128.50
A7	15.97			99.6	339.99	85.74
A8	20.90			130.3	444.71	112.16
A9	72.45			451.9	1541.98	388.89

Fuente: Autor

3.3.2.1 Resumen de la carga térmica total

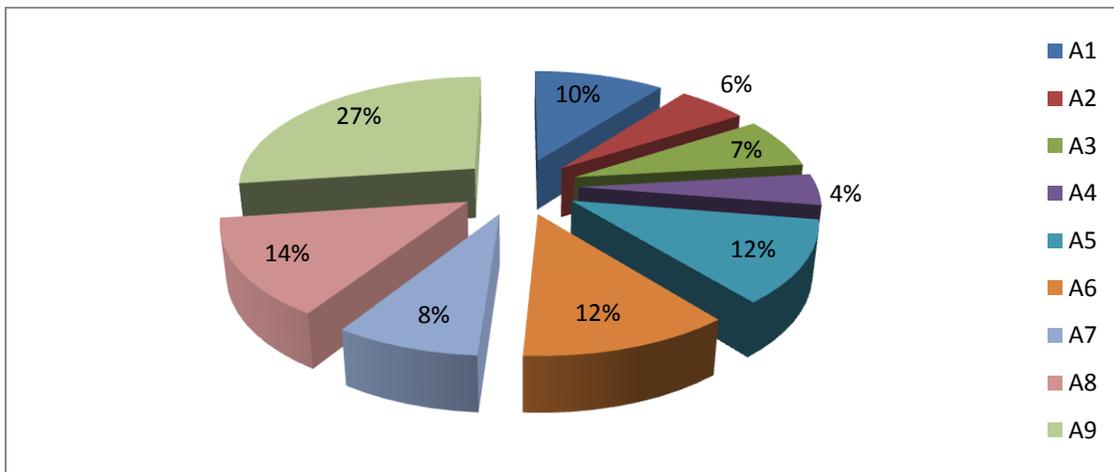
Se obtiene el valor total de la carga térmica sumando los valores de las tablas 21, 22, 23, 24, 25 de pérdida de calor a través de paredes, piso, techo, etc. de cada habitación incluyendo los valores del comedor tabla 26 más la carga por ventilación expuesta en la tabla 27, a este valor total se aplica un coeficiente de seguridad del 16%, obteniendo los valores expuestos en la tabla 28.

Tabla 28. Resumen de la carga térmica (refugio Whymper)

ÁREA	Q ($\frac{BTU}{h}$)	Q ($\frac{Kcal}{h}$)	Área del Piso m^2	q ($\frac{BTU}{h.m^2}$)	Q (W)	q ($\frac{W}{m^2}$)
A1	2532.34	638.66	8.11	312.08	741.97	91
A2	1345.35	339.30	5.60	240.12	394.18	70
A3	1732.10	436.84	7.19	240.78	507.50	71
A4	1073.04	270.62	4.58	234.27	314.40	69
A5	2816.87	710.42	9.34	301.66	825.34	88
A6	2877.82	725.79	9.60	299.91	843.19	88
A7	1969.11	496.61	6.90	285.35	576.95	84
A8	3332.24	840.39	9.37	355.62	976.34	104
A9	6592.54	1662.64	33.08	199.27	1931.60	58

Fuente: Autor

Gráfica 3. Carga térmica más influyente (BTU/h)

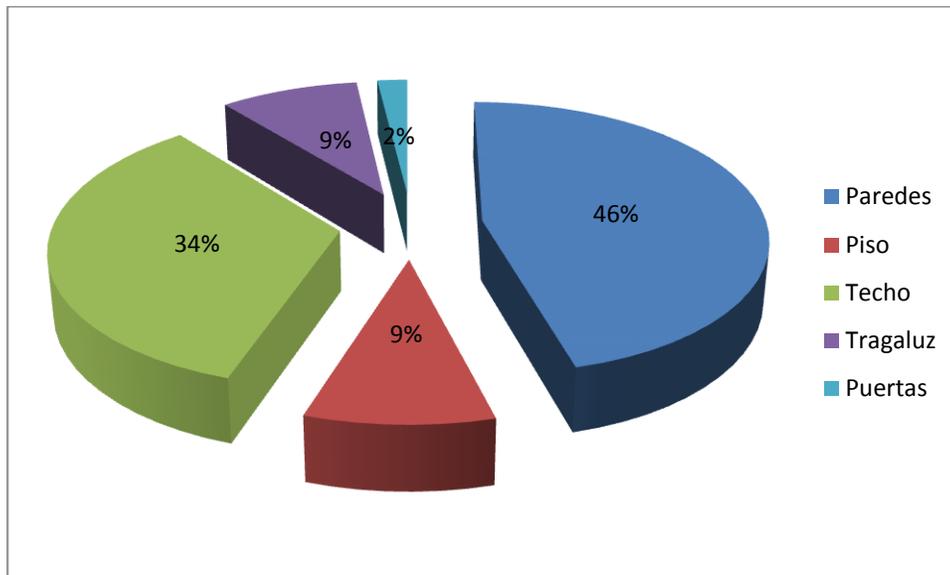


Fuente: Autor

3.3.2.2 Carga térmica total más representativa de la edificación

Se observa que la carga térmica más influyente es a través de las paredes, esto se debe a su gran superficie, como se indica en la gráfica.

Gráfica 4. Valores de las cargas térmicas más representativas en (BTU/h)



Fuente: Autor

3.4 Calefacción por radiadores hidráulicos

Su fundamento consiste en calentar el agua en una caldera y distribuirlo mediante una red de tuberías y elementos, estratégicamente situados, denominados técnicamente "emisores" (de modo informal "radiadores"), este transfiere parte de su calor al aire de la habitación. El sistema de calefacción por radiadores es comúnmente utilizado y aprovecha la transmisión de calor por convección.

3.5 Dimensionamiento de los radiadores

El dimensionado de los radiadores que se colocarán en cada estancia de la vivienda consistirá en determinar el número de módulos o elementos que deben componer cada uno de los emisores. Se debe conocer las condiciones de funcionamiento de la instalación, es decir, la temperatura de llegada del agua al radiador, la temperatura de salida del mismo y el salto térmico. Generalmente, el dimensionado del emisor se realiza para un salto térmico de 20 °C, con temperatura de entrada del agua al radiador de 80 °C y temperatura de salida de 60 °C.

El tipo de radiador utilizado también será determinante, ya que la potencia de emisión de cada uno de ellos es diferente. Para el dimensionamiento utilizaremos las fórmulas siguientes:

Temperatura media del radiador:

$$t_m = \frac{t_e + t_s}{2} \quad (17)$$

Salto térmico:

$$\Delta T = t_m - t_a \quad (18)$$

t_e = Temperatura de entrada al radiador

t_s = Temperatura de salida al radiador

t_m = Temperatura media del agua en el radiador

Potencia para un salto térmico distinto a 50 °C:

$$Q = Q_{50} \left(\frac{\Delta T}{50} \right)^n \quad (19)$$

Dónde:

Q: Potencia para un salto térmico distinto de 50 °C

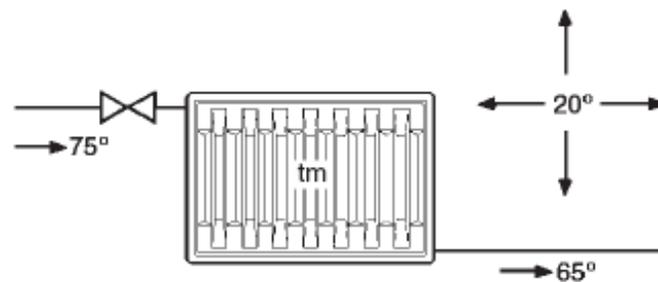
Q_{50} : Potencia facilitada en tablas para un salto térmico de 50 °C

ΔT : Salto térmico

n: es un número característico del emisor y que proporciona el fabricante

t_a = Temperatura ambiente del medio

Figura 43. Esquema de un radiador para $\Delta T = 50 \text{ °C}$
 $t_e = 75 \text{ °C}$ $t_s = 65 \text{ °C}$ $t_a = 20 \text{ °C}$



Fuente: www.salvadorescoda.com

Para el dimensionamiento de los radiadores, existen tablas de las casa fabricantes con datos proporcionados en función de sus dimensiones y condiciones de funcionamiento establecidas, así como la potencia emitida por los distintos tipos de radiador a ($\Delta T = 50 \text{ °C}$).

Las condiciones de temperatura del agua para el dimensionamiento son las siguientes:

$$t_e = 71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_s = 61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = t_e - t_s = 10^\circ\text{C}$$

$$t_a = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta t_s}{\Delta t_e} = \frac{t_s - t_a}{t_e - t_a} \quad (20)$$

$$\frac{t_s - t_a}{t_e - t_a} = \frac{61 - 18}{71 - 18} = 0.811 > 0.7 \text{ (Según UNE EN-442)}$$

Entonces utilizamos la ecuación (18) y se obtiene:

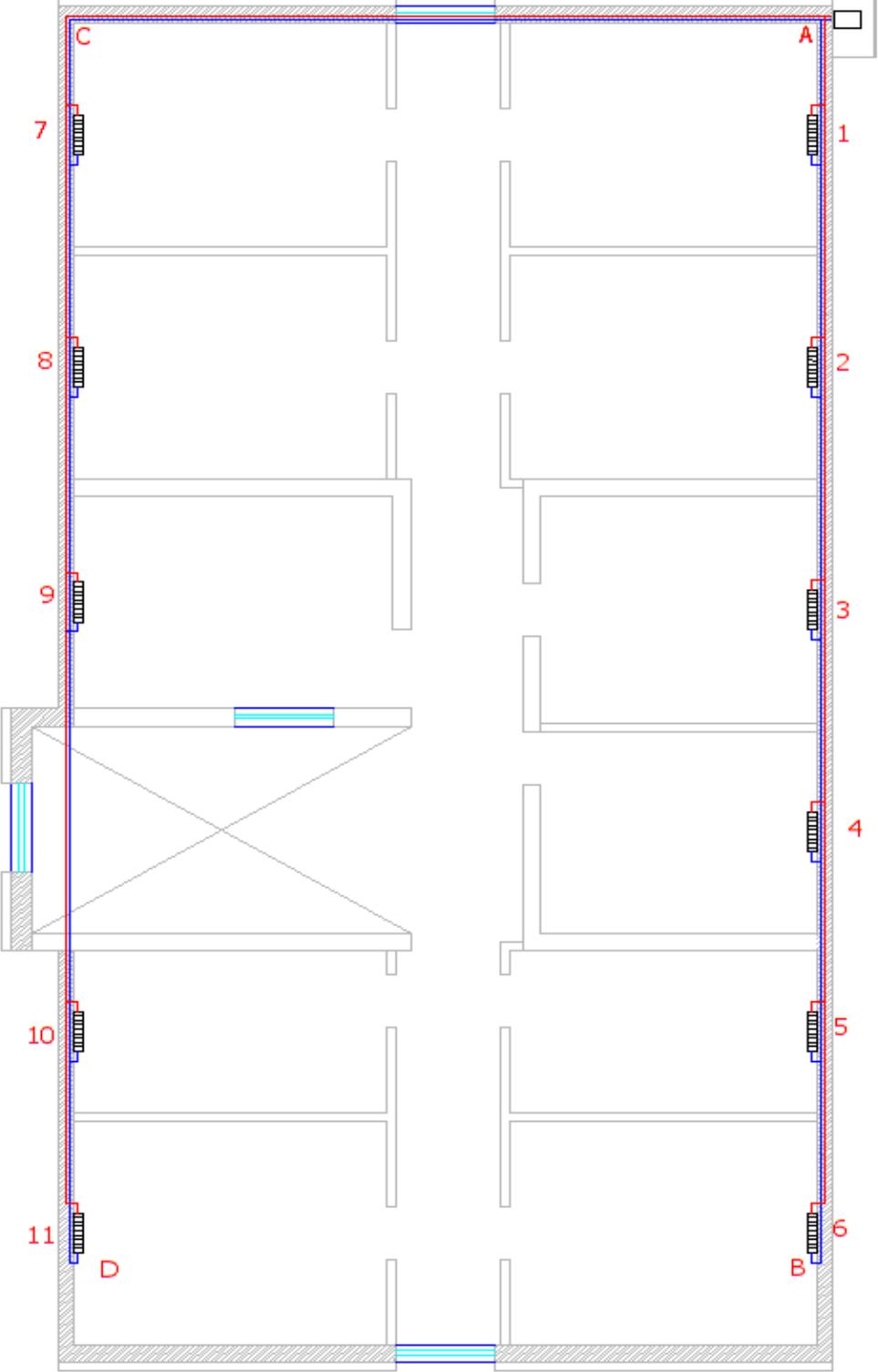
$$\Delta T = t_m - t_a = \frac{t_e + t_s}{2} - t_a \quad (21)$$

$$\frac{71 + 61}{2} - 18 = 48^\circ\text{C}$$

3.5.1 Sistema de calefacción por radiadores para el refugio Carrel

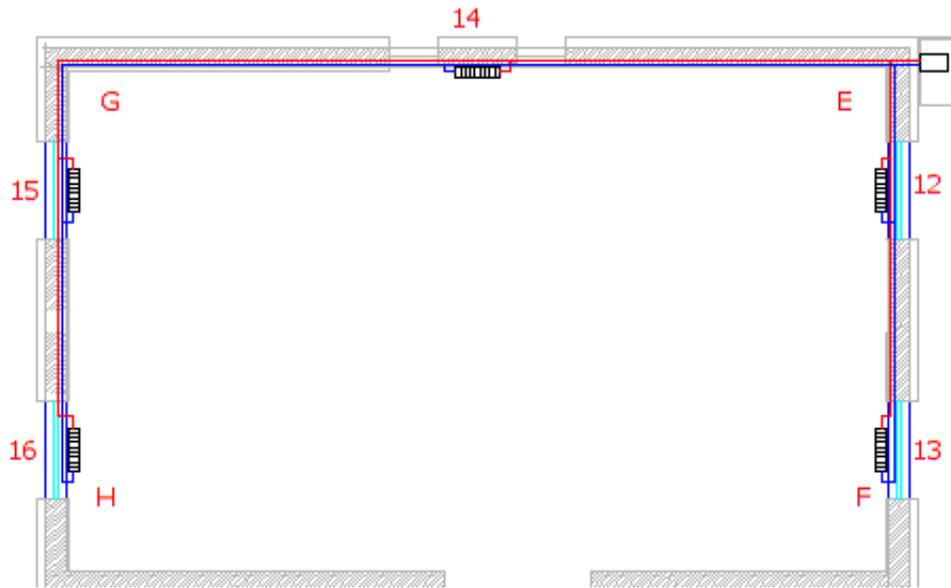
Se utiliza un sistema de calefacción bitubular de retorno invertido, este tipo de instalación se caracteriza porque los emisores están conectados en paralelo, de tal forma que el agua que entra desde la tubería de ida en cada radiador retorna a la caldera a través de la tubería de retorno. La temperatura de entrada a los radiadores es prácticamente la misma que la de salida de caldera. A la tubería de ida se conecta la entrada de cada uno de los radiadores y la salida se conecta a la tubería de retorno. El agua es conducida por un tubo a todos los radiadores y vuelve a la caldera por otro tubo desde todos los radiadores. Los radiadores funcionan todos a la misma temperatura y es más fácil que estén equilibrados.

Figura 44. Circuito de calefacción por radiadores para los dormitorios (refugio Carrel)



Fuente: Autor

Figura 45. Circuito de calefacción por radiadores para el comedor (refugio Carrel)



Fuente: Autor

Tabla 29 Calor emitido por los radiadores (refugio Carrel)

	ÁREA	Q ($\frac{BTU}{h}$)	Q ($\frac{Kcal}{h}$)	Tipo de radiador	Q ₅₀ (Emisión calorífica a $\Delta T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($\frac{Kcal}{h}$)	n (Exponente de la curva característica del emisor)	Q (Calor emitido por un elemento) ($\frac{Kcal}{h}$)	No de elementos	Q _T (Calor total emitido) ($\frac{Kcal}{h}$)
A1	Dormitorio 1	2104	531	DUBAL 30 (Frontal con aberturas)	68	1.3	64	8	570.4
A2	Dormitorio 2	1716	433	DUBAL 30 (Frontal con aberturas)	68	1.3	64	7	499.1
A3	Dormitorio 3	1440	363					6	427.8
A4	Dormitorio 4	1440	363					6	427.8
A5	Dormitorio 5	1250	315					5	356.5
A6	Dormitorio 6	2128	537	DUBAL 30 (Frontal con aberturas)	68	1.3	64	8	570.4
A7	Dormitorio 7	2137	539					8	570.4
A8	Dormitorio 8	1594	402					6	499.1
A9	Dormitorio 9	1963	495	DUBAL 30 (Frontal con aberturas)	68	1.3	64	8	570.4
A10	Dormitorio 10	1815	458	DUBAL 30 (Frontal con Aberturas)	68	1.3	64	7	499.1
A11	Dormitorio 11	2130	537	DUBAL 30 (Frontal con aberturas)	68	1.3	64	8	570.4
A12	Comedor	8902	2245	DUBAL 30 (Frontal con aberturas)	68	1.3	64	7	499.1
								7	499.1
								7	499.1
								7	499.1
								35	2495.5

Fuente: Autor

3.5.1.1 Diámetro y pérdidas de carga por fricción de la tubería

Luego de seleccionar los radiadores que se colocaran en los dormitorios y comedor de refugio Carrel tabla 29, se procede a seleccionar el diámetro de las tuberías por cada segmento desde la caldera hasta el último radiador. Para este tipo de instalación se seleccionó la tubería para agua caliente hidro 3, que brinda excelentes propiedades.
ANEXO G

Se asume un criterio de diseño, de forma que la pérdida de carga no sobrepase en tramos rectos los 40 mmca/m y una velocidad máxima de 2 m/s. [19]

Para el cálculo de pérdidas en la tubería hidro 3 se utiliza las ecuaciones (7), (8), (9), (10) y con datos obtenidos del catálogo de la tubería se obtiene como resultado.

Tubería hidro 3 de \varnothing 1”:

$$d_e = 34.2\text{mm} = 0.0342\text{m}$$

$$d_i = 23.9\text{mm} = 0.0239\text{m}$$

Propiedades del agua. ANEXO F

$$\rho = 980.3\text{kg/m}^3$$

$$v = 0.6\text{ m/s}$$

$$\mu = 0.000433\text{kg/ms}$$

$$k = 0.007\text{mm}$$

$$Re = 32469$$

$$\lambda = 0.024$$

$$J = 0.018\text{mca/m}$$

El diámetro, caudal y las pérdidas producidas por la tubería con sus respectivos tramos se detalla a continuación en la tabla 30.

Tabla 30. Diámetro y pérdidas de carga por tubería hidro 3 (refugio Carrel)

Seccion de tuberias	Longitud de tuberia (m)	Caudal por tramos (l/s)	Diámetro de tuberia (pulg)	Δp (mca/m)	Δp (mmca)
Caldera -E	2	0.22	1"	0.018	36.00
E-A	2.9	0.15	1"	0.018	52.20
A- Radiador 1	1.91	0.08	1"	0.018	34.38
Radiador 1-Radiador 2	2.98	0.06	1"	0.018	53.64
Radiador 2-Radiador 3	3.09	0.05	1"	0.018	55.62
Radiador 3-Radiador 4	2.87	0.04	1"	0.018	51.66
Radiador 4-Radiador 5	2.61	0.03	1"	0.018	46.98
Radiador 5-Radiador 6	2.63	0.02	1"	0.018	47.34
Total					289.62
A-C	7.9	0.08	1"	0.018	142.20
C-Radiador 7	1.91	0.08	1"	0.018	34.38
Radiador 7-Radiador 8	2.98	0.06	1"	0.018	53.64
Radiador 8-Radiador 9	3.01	0.05	1"	0.018	54.18
Radiador 9-Radiador 10	5.2	0.03	1"	0.018	93.60
Radiador 10-Radiador 11	2.63	0.02	1"	0.018	47.34
Total					283.14
E- Radiador 12	1.81	0.03	1"	0.018	32.58
Radiador 12-Radiador 13	3	0.01	1"	0.018	54.00
Total					86.58
E-Radiador 14	4.77	0.04	1"	0.018	85.86
Radiador 14 - Radiador 15	4.77	0.04	1"	0.018	99.00
Radiador 15-Radiador 16	3	0.01	1"	0.018	54.00
Total					238.86

Fuente: Autor

3.5.1.2 Pérdidas de carga por fricción de accesorios

Las pérdidas por accesorios se calculan obteniendo el valor de coeficiente de pérdida k de la tabla 31, estos valores fueron obtenidos de ábacos y tablas, y se procede a calcular aplicando la ecuación (11), dando los valores expuestos en la tabla 32.

Tabla 31. Coeficiente de pérdida de carga por fricción para accesorios

Accesorios	K
	1"
Codo	0.28
Tee	1.8
Válvula de compuerta	0.18
Válvula globo	0.07
Válvula de retención	2.5
Llave de regulación	4
Detentor	4

Fuente: Autor

Tabla 32. Pérdidas de carga por accesorios (refugio Carrel)

Sección de tubería	K _{total}	Δp (mca)	Δp (mmca)
Caldera -E	2.86	0.05253	52.53
E-A	2.15	0.03949	39.49
A- Radiador 1	5.8	0.10653	106.53
Radiador 1-Radiador 2	5.8	0.10653	106.53
Radiador 2-Radiador 3	5.8	0.10653	106.53
Radiador 3-Radiador 4	5.8	0.10653	106.53
Radiador 4-Radiador 5	5.8	0.10653	106.53
Radiador 5-Radiador 6	8.28	0.15208	152.08
Total			684.73
C-Radiador 7	6.08	0.11	111.67
Radiador 7-Radiador 8	5.8	0.11	106.53
Radiador 8-Radiador 9	5.8	0.11	106.53
Radiador 9-Radiador 10	5.8	0.11	106.53
Radiador 10-Radiador 11	8.28	0.15	152.08
Total			583.35
E- Radiador 12	5.8	0.10653	106.53
Radiador 12-Radiador 13	4.28	0.07861	78.61
Total			185.14
E-Radiador 14	7.6	0.13959	139.59
Radiador 14-Radiador 15	6.08	0.11167	111.67
Radiador 15-Radiador 16	4.28	0.07861	78.61
Total			329.88

Fuente: Autor

3.5.1.3 Pérdidas de carga por los radiadores

Las pérdidas de carga por radiadores se obtienen de tablas, estos valores son tomados como referencia ya que no existen datos proporcionados por el fabricante del radiador seleccionado. [14] ANEXO I

$$\Delta p = 0.5 \text{ kPa} = 50.99 \text{ mmca}$$

Tabla 33. Pérdidas de carga por radiadores (refugio Carrel)

Sección de tubería	Número de radiadores	$\Delta p(\text{radiador})$ (mmca)	$\Delta p(\text{total})$ (mmca)
A-B	6	50.99	305.94
C-D	5		254.95
E-H	3		152.97
E-F	2		101.98

Fuente: Autor

3.5.1.4 Pérdidas de carga por la caldera

Este valor se genera por la pérdida de carga para agua y pérdida de carga por humos dados en tablas por la marca fabricante del caldero. ANEXO L

$$\Delta P_{cal} = (10 + 0.03) \text{ mbar}$$

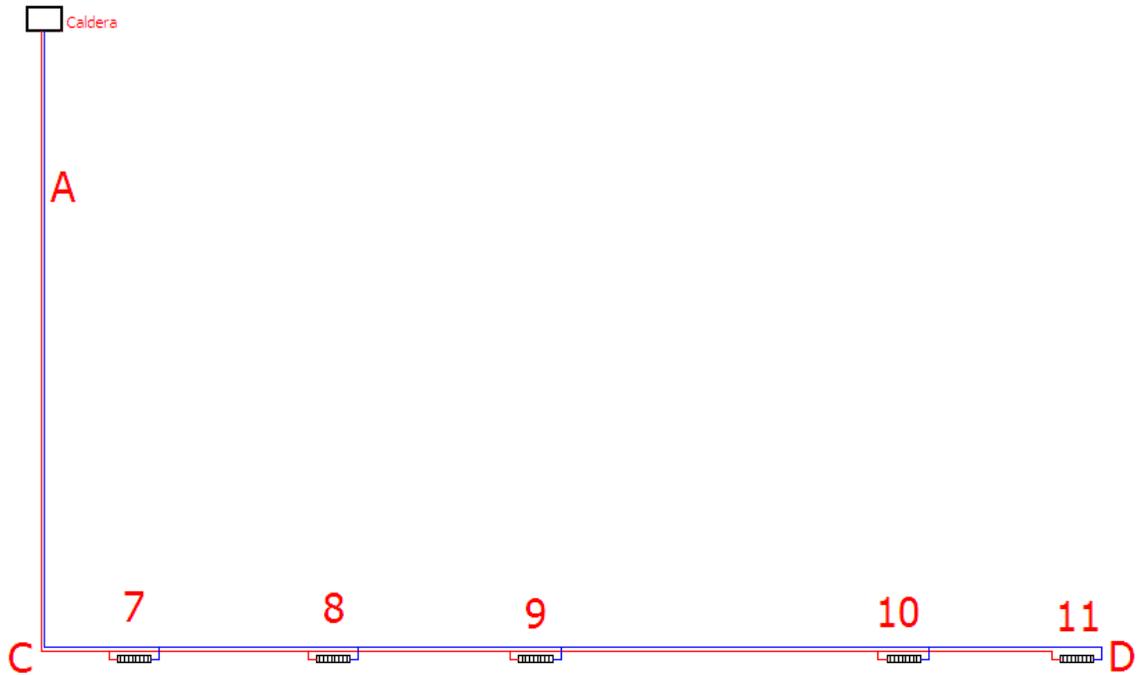
$$\Delta P_{cal} = 10.03 \text{ mbar}$$

$$\Delta P_{cal} = 102.28 \text{ mmca}$$

3.5.1.5 Circuito más desfavorable para la selección de la bomba

Sumando las pérdidas de carga de accesorios, tuberías, caldera y radiadores del circuito más desfavorable se obtiene el tipo de bomba capaz hacer recircular el fluido. El circuito más desfavorable está constituido por los segmentos que van desde la caldera al punto E, A, C y D.

Figura 46. Esquema del circuito más desfavorable (refugio Carrel)



Fuente: Autor

Tabla 34. Pérdidas de carga total del circuito más desfavorable (refugio Carrel)

Elementos	Δp (mmca)
Tubería de ida	513.54
Tubería de retorno	513.54
Accesorios ida- retorno	1350.73
Caldera	102.28
Radiadores	254.95
Total	2735.04

Fuente: Autor

Finalmente los parámetros para la selección de la bomba son los siguientes:

- Caudal: 0.22 l/s
- Altura: 2.74mca= 2.74m

3.5.1.6 Pérdidas de calor por el sistema de calefacción

Con este valor se selecciona la potencia de la caldera, el total se obtiene sumando la potencia calorífica que emite todos los radiadores más las pérdidas que se produce por las tuberías de conducción, para evitar que la transferencia de calor hacia el medio ambiente sea mayor se recubre con aislamiento térmico y se calcula aplicando la ecuación (6).

Por recomendación del fabricante de cañuela el espesor de aislante se selecciona en función de la temperatura de transporte del fluido, es decir para una temperatura menor de 65 °C, la cañuela debe ser de 1" de espesor. ANEXO H

Tubería hidro 3 de Ø 1":

$$r_e = 17.1\text{mm} = 0.0171\text{m}$$

$$r_i = 11.95\text{mm} = 0.01195\text{m}$$

$$K_{\text{tubería}} = 0.221\text{W/m}^\circ\text{C ANEXO G}$$

$$K_{\text{aislamiento}} = 0.034\text{ W/m}^\circ\text{C ANEXO H}$$

$$e_{\text{aislamiento}} = 1'' = 25.4\text{mm}$$

Propiedades del agua y aire:

$$t_e = 71^\circ\text{C}$$

$$t_a = 18^\circ\text{C}$$

$$h_{\text{agua}} = 3860\text{ W/m}^2\text{C}$$

$$h_{\text{aire}} = 40.44\text{ W/m}^2\text{C}$$

Aplicando la ecuación (6) y empleando las propiedades descritas anteriormente se obtiene los valores descritos en la tabla 35.

- **Potencia de la caldera**

$$P = (Q_{\text{radiadores}} + Q_{\text{tubería}}) \quad (22)$$

$Q_{\text{Radiadores}}$ = Potencia instalada en radiadores (Kcal/h)

$Q_{\text{Tubería}}$ = Pérdida de calor por tuberías (Kcal/h)

Tabla 35. Calor emitido por los radiadores y pérdidas a través de tuberías (refugio Carrel)

Elementos	Q (W)	Q (BTU/h)	Q (Kcal/h)
Tubería de ida	722.65	211.78	621.48
Tubería de retorno	722.65	211.78	621.48
Radiadores	9354.87	31946.47	8056.90
Total	10800.16	32370.04	9299.85

Fuente: Autor

Para operación a elevaciones por encima de 600 m sobre el nivel del mar, la potencia de los equipos será reducida a una tasa de 4% por cada 300 m de altura sobre el nivel del mar antes de seleccionar apropiadamente los tamaños de los equipos [23].

$$P_{\text{corregida}} = (9299.85) \times 0.57 \text{ (Kcal/h)}$$

$$P_{\text{corregida}} = 5300 \text{ Kcal/h}$$

$$P_{\text{total}} = (9300+5300) \text{ Kcal/h}$$

$$P_{\text{total}} = 14600 \text{ Kcal/h}$$

Finalmente el valor para la selección de la caldera es:

- Potencia: 14600 Kcal/h
- Potencia: $14600 \times 1.1611 = 16952.06\text{W} = 17 \text{ KW}$

3.5.1.7 Cálculo del vaso de expansión

Para el cálculo del vaso de expansión se deben considerar algunos parámetros como los que se describe a continuación:

- **Volumen de la instalación**

Para el cálculo del volumen de la instalación se debe tomar en cuenta el volumen de la tubería, el volumen de agua que contiene los radiadores y el volumen de la caldera.

- **Volumen de tubería**

Este corresponde a la tubería de conducción del agua caliente hidro 3

$$V_{tub-H3} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot l}{4} \quad (23)$$

V_{tub-H3} : Volumen de la tubería hidro 3

d : Diámetro de la tubería (0.0239m)

l : Longitud total de la tubería (63m)

$$V_{tub-H3} = \frac{\pi \times (0.0239)^2 \times 63}{4} = 0.0281m^3 = 28.1lt$$

$$V_{tub-H3} = 2 \times 28.1lt = 56.2lt$$

- **Volumen de los radiadores.**-Cada elemento del radiador tiene su capacidad en litros, para calcular el volumen de cada radiador se multiplica el número de elementos por su capacidad.

$$V_{elem-rad} = V \times No \quad (24)$$

$V_{elem-Rad}$ = Volumen total de los elementos del radiador

V = Volumen de un elemento del radiador (0.47 lt)

No = Número total de elementos (115 elementos)

$$V_{elem-rad} = 0.47lt \times 115elem$$

$$V_{elem-rad} = 31.1lt$$

- **Volumen de caldera.**- Dada en catálogos su valor es:

$$V_{caldera} = 47 lt$$

- **Volumen total de la instalación**

$$V_{instalación} = V_{tubería} + V_{elem-rad} + V_{caldera} \quad (25)$$

$$V_{instalación} = (56.2 + 31.1 + 47) lt = 134.3lt$$

- **Coefficiente de dilatación del fluido**

Se utiliza la ecuación (13) y se obtiene:

$$T_m = 66 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C_e = (3,24 (66)^2 + 102,13(66) - 2708,3) \times 10^{-6}$$

$$C_e = 0.018$$

- **Coefficiente de presión del gas**

Se utiliza la ecuación (14), y se escoge un vaso de expansión con diafragma y se obtiene:

$$P_M = (3.04 - 0.54) atm = 2.5 atm$$

$$P_m = (0.24 + 0.54) atm = 0.79 atm$$

$$C_p = \frac{2.5}{2.5 - 0.79} = 1.46$$

- **Volumen del vaso de expansión**

Aplicando la ecuación (12) y empleando los valores de volumen de la instalación, coeficiente de dilatación del fluido, coeficiente de presión de gas se obtiene:

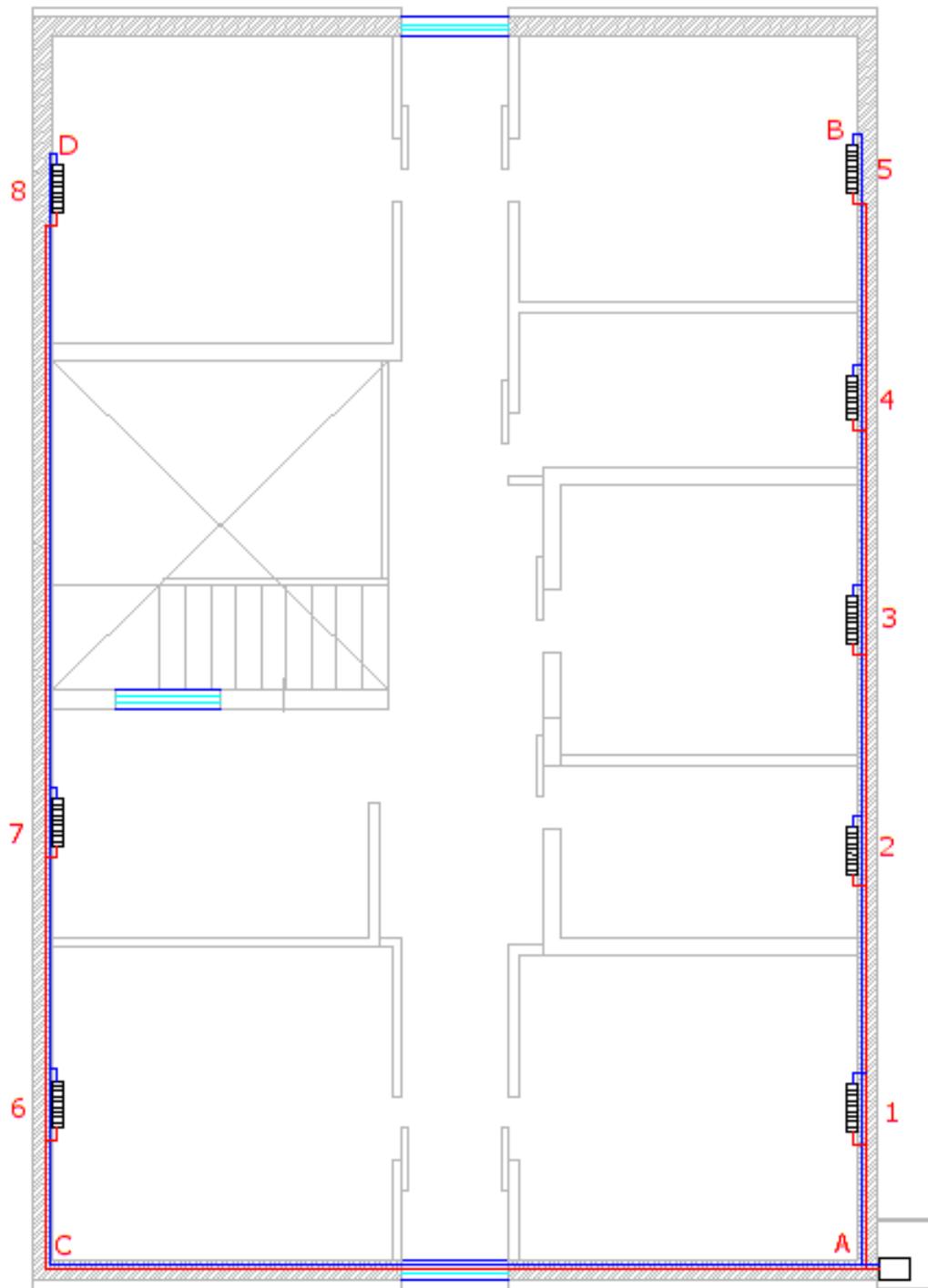
$$V_t = 134.4\text{lt} \times 0.018 \times 1.46 = 3.53\text{lt}$$

3.5.2 *Sistema de calefacción por radiadores para el refugio Whympers*

Para calcular el sistema de calefacción por radiadores del refugio Whympers se procede de la misma manera que se hizo para el sistema del refugio Carrel.

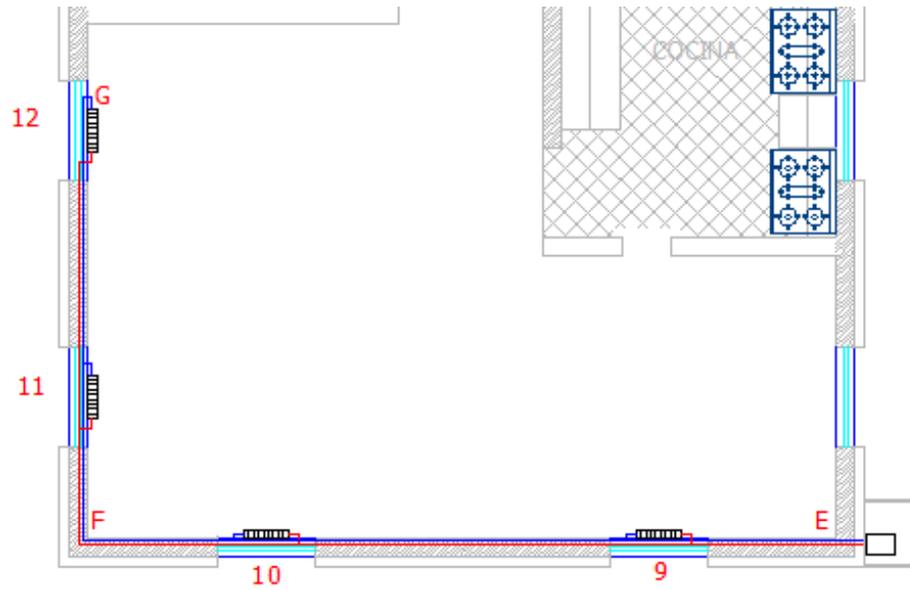
Al igual que en el sistema de calefacción para refugio el Carrel también se opta por el sistema bitubular de retorno invertido. Todos los valores calculados se detallan en las tablas a continuación.

Figura 47. Circuito de calefacción por radiadores para los dormitorios (refugio Whympet)



Fuente: Autor

Figura 48. Circuito de calefacción por radiadores para el comedor (refugio Whymper)



Fuente: Autor

Tabla 36. Calor emitido por los radiadores (refugio Whymper)

AREA	Q $\left(\frac{BTU}{h}\right)$	Q $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	Tipo de radiador	Q_{50} (emisión calorífica a $\Delta T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$) $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	n (Exponente de la curva característica del emisor)	Q (Calor emitido por un elemento) $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	No de elementos	Q_T (Calor total emitido) $\left(\frac{Kcal}{h}\right)$	
A1	Dormitorio 1	2532	639	DUBAL 30 (Frontal con aberturas)	68	1.3	64	10	713.0
A2	Dormitorio 2	1345	339	DUBAL 30 (Frontal con aberturas)	68	1.3	64	5	356.5
A3	Dormitorio 3	1732	437					7	499.1
A4	Dormitorio 4	1073	271	DUBAL 30 (Frontal con aberturas)	68	1.3	64	4	285.2
A5	Dormitorio 5	2817	710					11	784.3
A6	Dormitorio 6	2878	726					11	784.3
A7	Dormitorio 7	1969	497					8	570.4
A8	Dormitorio 8	3332	840	13	998.2				
A9	Comedor	6593	1663	DUBAL 30 (Frontal con aberturas)	68	1.3	64	6	499.1
								6	499.1
								6	499.1
								6	499.1
								26	1996.4

Fuente: Autor

3.5.2.1 Diámetro y pérdidas de carga por fricción de la tubería

Se sigue el mismo procedimiento que se hizo para el refugio Carrel y los valores de diámetro de tuberías y pérdidas de carga se dan en la tabla 37.

Tabla 37. Diámetro y pérdidas de carga por tubería hidro 3 (refugio Whymper)

Sección de tuberías	Longitud de tubería (m)	Caudal por Tramos (l/s)	Diámetro de tubería (pulg)	Δp (mca/m)	Δp (mmca)
Caldera -E	2	0.19	1"	0.018	36.00
E-A	2.3	0.14	1"	0.018	41.40
A- Radiador 1	1.8	0.07	1"	0.018	32.40
Radiador 1-Radiador 2	2.8	0.05	1"	0.018	50.40
Radiador 2-Radiador 3	2.6	0.04	1"	0.018	46.80
Radiador 3-Radiador 4	2.5	0.03	1"	0.018	45.00
Radiador 4-Radiador 5	2.55	0.02	1"	0.018	45.90
Total					220.50
A-C	8	0.07	1"	0.018	144.00
C-Radiador 6	1.8	0.07	1"	0.018	32.40
Radiador 6-Radiador 7	3	0.04	1"	0.018	54.00
Radiador 7-Radiador 8	6.4	0.03	1"	0.018	115.20
Total					201.60
E- Radiador 9	2.2	0.06	1"	0.018	39.60
Radiador 9-Radiador 10	4.35	0.04	1"	0.018	78.30
Total					117.90
Radiador 10- Radiador 11	3.7	0.03	1"	0.018	66.60
Radiador 11 - Radiador 12	3.7	0.03	1"	0.018	55.80
Total					122.40

Fuente: Autor

3.5.2.2 Pérdidas de carga por fricción de accesorios

Las pérdidas de carga por accesorios se calculan obteniendo el valor de coeficiente de pérdida k de la tabla 31, y se procede a calcular aplicando la ecuación (12) igual que en sistema del refugio Carrel.

Tabla 38. Pérdidas de carga por accesorios (refugio Whymper)

Sección de tubería	K_{total}	Δp (mca)	Δp (mmca)
Caldera -E	2.86	0.05253	52.53
E-A	2.15	0.03949	39.49
A- Radiador 1	5.8	0.10653	106.53
Radiador 1-Radiador 2	5.8	0.10653	106.53
Radiador 2-Radiador 3	5.8	0.10653	106.53
Radiador 3-Radiador 4	5.8	0.10653	106.53
Radiador 4-Radiador 5	5.8	0.10653	106.53
Total			532.65
C-Radiador 6	6.08	0.11	111.67
Radiador 6-Radiador 7	5.8	0.11	106.53
Radiador 7-Radiador 8	5.8	0.11	106.53
Total			324.73
E- Radiador 9	5.8	0.10653	106.53
Radiador 9-Radiador 10	4.28	0.07861	78.61
Total			185.14
Radiador 10-Radiador 11	6.08	0.11167	111.67
Radiador 11-Radiador 12	4.28	0.07861	78.61
Total			190.29

Fuente: Autor

3.5.2.3 Pérdidas de carga por radiadores

Se toma el mismo valor de pérdidas por radiadores que en el sistema anterior y multiplicando por el número de radiadores existentes en este sistema, se obtiene los valores que se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 39. Pérdidas de carga por radiadores (refugio Whymper)

Sección de tubería	Número de radiadores	$\Delta p_{(radiador)}$ (mmca)	$\Delta p_{(total)}$ (mmca)
A-B	5	50.99	254.95
C-D	3		152.97
E-G	4		203.96

Fuente: Autor

3.5.2.4 Pérdidas de carga por la caldera

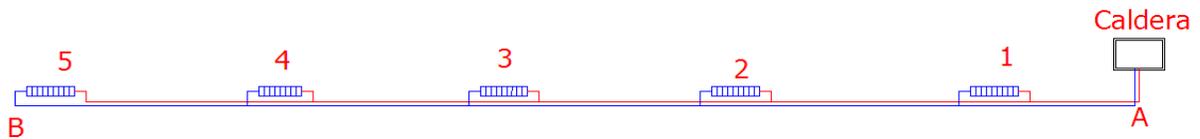
Se utiliza el mismo valor del sistema refugio Carrel:

$$\Delta P_{Cal} = 102.28 \text{ mmca}$$

3.5.2.5 Circuito más desfavorable para la selección de la bomba

Sumando las pérdidas de carga de accesorios, tuberías, caldera y radiadores del circuito más desfavorable se obtiene el tipo de bomba capaz hacer recircular el fluido. El circuito más desfavorable está constituido por los segmentos que van desde la caldera al punto E, A y B.

Figura 49. Esquema del circuito más desfavorable (refugio Whymper)



Fuente: Autor

Tabla 40. Pérdidas de carga total del circuito más desfavorable (refugio Whymper)

Elementos	Δp (mmca)
Tubería de ida	297.90
Tubería de retorno	297.90
Accesorios ida- retorno	1249.35
Caldera	102.28
Radiadores	254.95
Total	2202.38

Fuente: Autor

Finalmente los parámetros para la selección de la bomba son los siguientes:

- Caudal: 0.19l/s
- Altura: 2.2 mca = 2.2m

3.5.2.6 Pérdidas de calor por el sistema de calefacción

Con este valor se selecciona la potencia de la caldera, el total se obtiene sumando la potencia calorífica que emite todos los radiadores más las pérdidas que se produce por las tuberías de conducción, para evitar que la transferencia de calor hacia el medio ambiente sea mayor se recubre con aislamiento térmico y se calcula aplicando la ecuación (6).

Por recomendación del fabricante de cañuela el espesor de aislante se selecciona en función de la temperatura de transporte del fluido, es decir para una temperatura menor de 65 °C, la cañuela debe ser de 1” de espesor. ANEXO H

Tabla 41. Calor emitido por radiadores y pérdidas a través de tuberías (refugio whympen)

Elementos	Q (W)	Q (BTU/h)	Q (Kcal/h)
Tubería de ida	661.15	193.76	568.59
Tubería de retorno	661.15	193.76	568.59
Radiadores	8118.94	27709.93	6987.40
Total	9441.23	28097.45	8124.57

Fuente: Autor

Se realiza la corrección por altitud al igual que en caso del refugio Carrel.

$$P_{\text{corregida}} = (8124.57) \times 0.59 \text{ (Kcal/h)}$$

$$P_{\text{corregida}} = 4793 \text{ Kcal/h}$$

$$P_{\text{total}} = (8125 + 4793) \text{ Kcal/h}$$

$$P_{\text{total}} = 12918 \text{ Kcal/h}$$

Finalmente el valor para la selección de la caldera es:

- Potencia: 12918 Kcal/h
- Potencia: $12918 \times 1.1611 = 15000 \text{ W} = 15 \text{ KW}$

3.5.2.7 Cálculo del vaso de expansión

Para el cálculo del vaso de expansión se deben considerar algunos parámetros como los que se describe a continuación:

- **Volumen de la instalación**

Para el cálculo del volumen de la instalación se debe tomar en cuenta el volumen de la tubería, el volumen de agua que contiene los radiadores, el volumen de la caldera.

- **Volumen de tubería**

Este corresponde a la tubería de conducción del agua caliente hidro 3, se utiliza la ecuación (25) y se obtiene el siguiente valor:

$$V_{tub-H3} = \frac{\pi \times (0.0239)^2 \times 63}{4} = 0.0281 m^3 = 28.1 lt$$
$$V_{tub-H3} = 2 \times 28.1 lt = 56.2 lt$$

- **Volumen de los radiadores**

Se toma la misma consideración que en el caso anterior y se aplica la ecuación (24) y se obtiene:

$$V_{elem-rad} = 0.47 lt \times 98 elem$$

$$V_{elem-rad} = 26.46 lt$$

- **Volumen de caldera.-** Dada en catálogo su valor es:

$$V_{caldera} = 47 lt$$

- **Volumen total de la instalación**

Se utiliza la ecuación (26) y se obtiene:

$$V_{instalación} = (56.2 + 26.46 + 47) lt = 130 lt$$

- **Coeficiente de dilatación del fluido**

Se utiliza la ecuación (13) y con la misma temperatura que se utiliza para el refugio Carrel y se obtiene:

$$C_e = 0.018$$

- **Coeficiente de presión del gas**

Se utiliza la ecuación (14), y se escoge un vaso de expansión con diafragma y se obtiene:

$$P_M = (3.04 - 0.53) \text{ atm} = 2.51 \text{ atm}$$

$$P_m = (0.24 + 0.53) \text{ atm} = 0.77 \text{ atm}$$

$$C_p = \frac{2.51}{2.51 - 0.77} = 1.44$$

- **Volumen del vaso de expansión**

Aplicando la ecuación (12) y empleando los valores de volumen de la instalación, coeficiente de dilatación del fluido, coeficiente de presión de gas se obtiene:

$$V_t = 130 \text{ lt} \times 0.018 \times 1.44 = 3.37 \text{ lt}$$

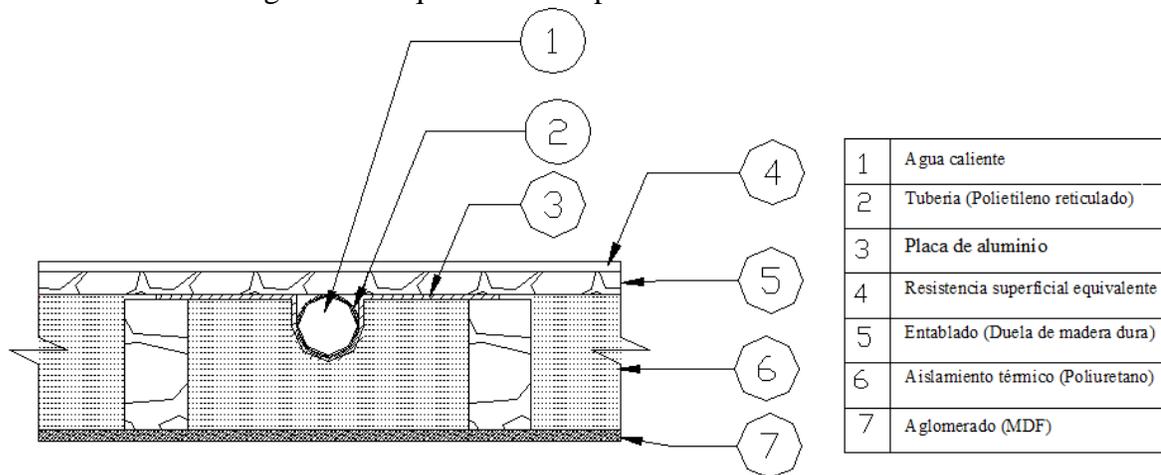
3.6 Cálculo térmico del suelo radiante

Para el desarrollo del presente trabajo de tesis, se ha tenido en cuenta los distintos tipos de instalaciones de suelo radiante existentes en la actualidad. Dichas instalaciones han sido desarrolladas en el continente europeo, incluso existe una norma para poder hacer el cálculo de estos sistemas, la UNE-EN 1264. [24]

El agua es calentada, para luego ser transportada por las tuberías que se encuentran en el suelo, realizándose el intercambio de calor entre el agua y el mortero (convección y conducción), posteriormente se realiza el intercambio de calor entre el mortero y el ambiente interior (convección y radiación). Este tipo de sistemas es muy utilizado en los lugares donde se registran temperaturas muy bajas como en los países nórdicos, Alemania y Suiza, donde es muy importante emplear sistemas que tengan bajo consumo de energía.

El siguiente esquema en corte representa los elementos que constituyen el suelo radiante con difusores de aluminio, que se presenta como segunda alternativa para el sistema de calefacción para los refugios del Chimborazo.

Figura 50. Esquema de composición del suelo radiante



Fuente: Autor

3.6.1.1 Cálculo del calor emitido por el suelo radiante

El flujo de calor producido por la circulación de agua caliente en el interior de la tubería se da en dos direcciones, en forma ascendente hacia el lugar a climatizar y en dirección descendente hacia la parte inferior del piso. Temperaturas de agua utilizada en suelo radiante:

$$\Delta T_{\text{circuito}} = 10^{\circ}\text{C} = 283^{\circ}\text{K} \text{ recomendado en el manual de Carrier entre } 5 \text{ y } 15^{\circ}\text{C} [16]$$

$$T_{\text{impulsion}} = 43^{\circ}\text{C} = 316^{\circ}\text{K}$$

$$T_{\text{retorno}} = 33^{\circ}\text{C} = 306^{\circ}\text{K}$$

$$T_{\text{media}} = 38^{\circ}\text{C} = 311^{\circ}\text{K}$$

Las propiedades del agua. ANEXO F

$$C_p = 4174 \text{ J/Kg}^{\circ}\text{K}$$

$$\rho = 993 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 0.000682 \text{ Kg/m.s}$$

$$K = 0.630 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$$

$$Pr = 4.53$$

- Resistencia (R_1)

$$R_1 = \frac{1}{h_1} \quad (26)$$

La velocidad media de circulación del agua caliente para tubería de polietileno reticulado: $v = 0.6 \text{ m/s}$, está recomendada por los especialistas entre 0.5 y 3.5 m/s.

- **Flujo Másico**

$$\dot{m} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot v \cdot \rho \quad (27)$$

$$\dot{m} = \frac{\pi(0.013)^2}{4} \cdot (0.6) \cdot (993)$$

$$\dot{m} = 0.079 \text{ kg/s}$$

- **Número de Reynolds**

Se emplea la ecuación (9) y reemplazando los valores se obtiene

$$Re = \frac{993 \times 0.6 \times 0.013}{0.000682}$$

$$Re = 11357$$

- **Número de Nusselt**

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \quad 10^4 < Re < 1.2^5 \quad (28)$$

$$n = 0.3 \quad T_w < T_b \text{ Enfriamiento}$$

$$n = 0.3 \quad T_w > T_b \text{ Calentamiento}$$

$$Nu = 0.023 \times (11357)^{0.8} \times 4.53^{0.3}$$

$$Nu = 63.5$$

- **Coefficiente convectivo**

$$h = \frac{Nu \cdot K}{D_i} \quad (29)$$

$$h = \frac{63.5 \times 0.630}{0.013}$$

$$h = 3077 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

En la ecuación (26) reemplazando el coeficiente convectivo se obtiene:

$$R_1 = \frac{1}{h}$$

$$R_1 = 3.25 \times 10^{-4} \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

- **Resistencia (R_2)**

Propiedades de la tubería de polietileno reticulado usado para calefacción por suelo radiante, recomendado por las empresas especializadas. ANEXO J

Tubería de polietileno reticulado: 17x2

$$d_e = 17mm = 0.017m$$

$$d_i = 13mm = 0.013m$$

$$e = 2mm = 0.002m$$

$$K_{Tuberia} = 0.35 W/m^{\circ}K$$

L: longitud de tubería (5.4 m/m² de piso- paso de 0.185m)

$$R_2 = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi K_{tub}L} \quad (30)$$

$$R_2 = 0.023 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

- **Resistencia (R_3)**

Dónde: $t = 0.02m$ (Espesor de la duela de madera)

$$K_{madera} = 0.159 \frac{W}{m^{\circ}K} \text{ Anexo D}$$

$$R_3 = \frac{t_{madera}}{K_{madera}} \quad (31)$$

$$R_3 = \frac{0.02m}{0.159 \frac{W}{m^2 \cdot K}}$$

$$R_3 = 0.13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

- Resistencia por convección

$$R_{conveccion} = \frac{1}{h_{ambiente}} \quad (32)$$

El coeficiente del ambiente convectivo se obtiene de la tabla 5 para esto se asume que la velocidad del aire en el interior de la edificación es: $v \cong 0m/s$ y dando un valor de:

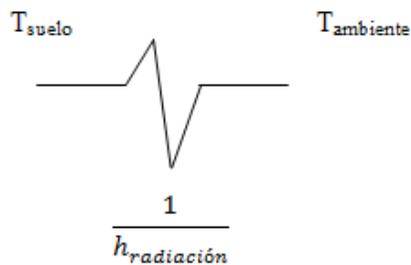
$$h_{ambiente} = 11.39 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{11.39 \frac{W}{m^2 \cdot K}}$$

$$R_{conv} = 0.088 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

- Resistencia por radiación

Circuito térmico de radiación:



$$q = \frac{(Eb_1 - Eb_2)}{\Sigma R} \quad (33)$$

$$Eb = \sigma T^4 \quad (34)$$

Dónde: $\sigma = 5.66 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ Constante de Stefan Boltzmann
 ϵ : Coeficiente de emisividad del material (0.90 madera)
 ρ : Coeficiente de reflexión
 τ : Coeficiente de transmisión

Las temperaturas de confort térmico que se detallan a continuación son recomendaciones hechas por los fabricantes de suelo radiante. [17]

Temperatura a nivel de piso: $25^\circ\text{C} = 298^\circ\text{K}$,

Temperatura a 1.8 m desde el piso: $18^\circ\text{C} = 291^\circ\text{K}$

$$h_{rad} = \epsilon \sigma (T_{suelo} + T_{ambiente}) (T_{suelo}^2 + T_{ambiente}^2) \quad (35)$$

$$h_{rad} = 5.21 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R_{rad} = \frac{1}{\epsilon \sigma (T_{suelo} + T_{ambiente}) (T_{suelo}^2 + T_{ambiente}^2)} \quad (36)$$

$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad}}$$

$$R_{rad} = 0.19 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Se calcula la resistencia equivalente (R_{eq}) de la resistencia por convección y radiación que se encuentran en paralelo.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{conv}} + \frac{1}{R_{rad}} \quad (37)$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{1/h_{amb}} + \frac{1}{1/h_{rad}} \quad (38)$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = h_{amb} + h_{rad}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{h_{amb} + h_{rad}}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{11.39 + 5.21}$$

$$R_{eq} = 0.060 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_4 = R_{eq} = 0.060 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

El calor emitido por el suelo radiante, por la combinación de la convección y radiación es igual a:

$$q_{suelo} = q_{conv} + q_{rad} \quad (39)$$

$$q_{suelo} = h_{conv}(T_{sup} - T_{aire}) + \varepsilon\sigma(T_{superf}^4 - T_{aire}^4) \quad (40)$$

$$q_{suelo} = 116 \frac{W}{m^2}$$

- Resistencia (R_5)

Dónde: $t = 0.0004m$ (espesor de la placa difusora de aluminio)

$$K_{Al} = 204 \frac{W}{m \cdot K} \text{ Anexo D}$$

$$R_5 = \frac{t_{Al}}{K_{Al}} \quad (41)$$

$$R_5 = \frac{0.0004m}{222 W/m \cdot K}$$

$$R_5 = 1.80 \times 10^{-6} \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

- Resistencia (R_6)

Dónde: $t = 0.08m$ (espesor de aislamiento térmico de poliuretano)

$$K_{Aislamiento} = 0.023 \frac{W}{m \cdot K} \text{ ANEXO K}$$

$$R_6 = \frac{t_{aislante}}{K_{aislante}} \quad (42)$$

$$R_6 = \frac{0.08m}{0.023 W/m^{\circ}K}$$

$$R_6 = 3.48 \frac{m^2 \circ K}{W}$$

- Resistencia (R_7)

Dónde: $t = 0.015m$ (espesor del aglomerado MDF)

$$K_{Aglomerado} = 0.08 \frac{W}{m^{\circ}K} \text{ Anexo D}$$

$$R_7 = \frac{t_{aglomerado}}{K_{aglomerado}} \quad (43)$$

$$R_7 = \frac{0.015m}{0.08W/m^{\circ}K}$$

$$R_7 = 0.188 \frac{m^2 \circ K}{W}$$

- Resistencia (R_8)

Se toma el valor de la tabla 5 que su valor es igual a:

$$h_{ambiente} = 11.39 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

$$R_8 = \frac{1}{11.39 \frac{W}{m^2 \circ K}}$$

$$R_8 = 0.088 \frac{m^2 \circ K}{W}$$

3.6.1.2 Calor ascendente (q_1)

$$q_1 = \frac{\Delta T}{\Sigma R_{total}} = \frac{T_{media} - T_{ambiente}}{\Sigma R_{total}} \quad (44)$$

$$\Sigma R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$\sum R_1 = 0.21 \frac{m^2 \circ K}{W}$$

El valor anterior se reemplaza en la ecuación (44) y se obtiene:

$$q_1 = \frac{(311 - 291) \circ K}{0.21 \frac{m^2 \circ K}{W}}$$

$$q_1 = 96 W/m^2$$

3.6.1.3 Calor descendente (q_2)

$$q_2 = \frac{\Delta T}{\sum R_{total}} = \frac{T_{media} - T_{area\ no\ climat}}{\sum R_{total}} \quad (45)$$

$$\sum R = R_1 + R_2 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8$$

$$\sum R_2 = 3.78 \frac{m^2 \circ K}{W}$$

El valor anterior se reemplaza en la ecuación (45) y se obtiene:

$$q_2 = \frac{(311 - 283) \circ K}{3.78 \frac{m^2 \circ K}{W}}$$

$$q_2 = 7.41 W/m^2$$

El calor total se obtiene sumando el ascendente más el descendente como se indica a continuación:

$$q_{parcial} = q_1 + q_2 \quad (46)$$

$$q_{parcial} = (92 + 7.4) W/m^2$$

$$q_{parcial} = 99.4 W/m^2$$

El calor aprovechado es del 93 % del total, mientras que el 7% fluye hacia la parte inferior como un calor que se perdida.

3.6.1.4 Temperatura de la superficie de la placa de aluminio

$$T_{Al} = T_m - q_1 \cdot R_2 \quad (47)$$

$$T_{Al} = 311 - 96 \times 0.023$$

$$T_{Al} = 309^\circ K = 36^\circ C$$

3.6.1.5 Temperatura del suelo radiante

$$T_{piso} = T_{Al} - q_1 \cdot R_3 \quad (48)$$

$$T_{piso} = 309 - 96 \times 0.13$$

$$T_{piso} = 297^\circ K = 24^\circ C$$

Se asumió $T_{piso} = 25^\circ C$, calculando se obtuvo $24^\circ C$, existe un margen de error aceptable.

3.6.2 Calor emitido por el suelo radiante para los refugios Carrel y Whympet

En las tablas 42 y 43 se muestra el calor ascendente que se multiplica por el área del piso de cada dormitorio y comedor, obteniendo como resultado que el calor total emitido por el piso satisface la necesidad de carga térmica del local climatizado.

Tabla 42. Calor emitido por el suelo radiante del refugio Carrel

	ÁREA	Q ($\frac{BTU}{h}$)	Q (W)	Área del Piso m^2	Q ($\frac{W}{m^2}$)	Q ascendente ($\frac{W}{m^2}$)	Q emitido (W)
A1	Dormitorio 1	2103.56	616.34	7.89	78	96	754.904
A2	Dormitorio 2	1715.55	502.65	7.92	63		757.899
A3	Dormitorio 3	1440.47	422.05	7.19	59		688.482
A4	Dormitorio 4	1440.47	422.05	7.19	59		688.482
A5	Dormitorio 5	1249.96	366.23	5.73	64		548.204
A6	Dormitorio 6	2127.57	623.37	7.92	79		757.899
A7	Dormitorio 7	2137.47	626.27	8.07	78		772.428
A8	Dormitorio 8	1593.99	467.03	5.84	80		558.712
A9	Dormitorio 9	1962.96	575.14	7.80	74		746.520
A10	Dormitorio 10	1815.01	531.79	8.07	66		772.428
A11	Dormitorio 11	2129.74	624.01	8.04	78		769.375
A12	Comedor	8902.49	2608.40	43.47	60		4160.028

Fuente: Autor

Tabla 43. Calor emitido por el suelo radiante del refugio Whympen

	ÁREA	Q ($\frac{BTU}{h}$)	Q (W)	Área del Piso m^2	Q ($\frac{W}{m^2}$)	Q (Ascendente) ($\frac{W}{m^2}$)	Q emitido (W)
A1	Dormitorio 1	1752	513.38	8.11	63	96	777
A2	Dormitorio 2	862.28	252.64	5.60	45		536
A3	Dormitorio 3	1138.77	333.66	7.19	46		688
A4	Dormitorio 4	699.37	204.91	4.58	45		438
A5	Dormitorio 5	1932.49	566.22	9.34	61		894
A6	Dormitorio 6	1971.35	577.60	9.60	60		918
A7	Dormitorio 7	1357.53	397.75	6.90	58		660
A8	Dormitorio 8	2427.91	711.37	9.37	76		897
A9	Comedor	4281.42	1254.45	33.08	38		3166

Fuente: Autor

3.6.2.1 Longitud de tubería del circuito calefactor

Previo al diseño de circuitos han de medirse las áreas que van a ser calefactadas por cada uno de los circuitos. Posteriormente debe medirse la distancia existente entre el área a calefactar y el colector. El cálculo de la longitud L de cada circuito se determina con la ecuación siguiente:

$$L = A/e + 2 \cdot l \quad (49)$$

Dónde:

A = Área a calefactar cubierta por el circuito [m^2]

e = Distancia entre tubos [m]

l = Distancia entre el colector y el área a calefactar [m]

3.6.3 Cálculo del sistema de suelo radiante para el refugio Carrel

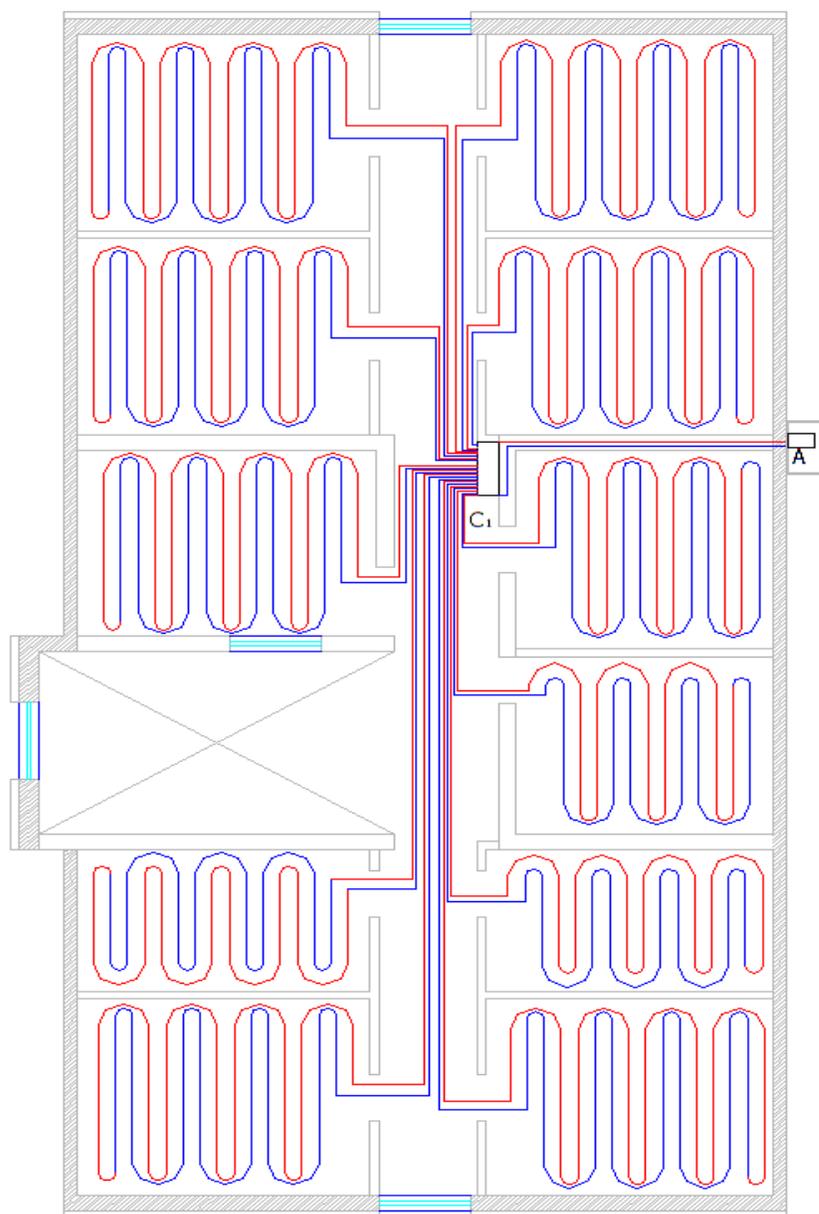
Realizando el cálculo anterior se observó que el sistema de calefacción por suelo radiante es el más eficiente en comparación con el sistema de calefacción por radiadores.

Para el sistema de suelo radiante se toma en cuenta algunos parámetros como la longitud de la tubería, el tipo de distribución y otros que se mencionan a continuación.

3.6.3.1 Cálculo de la longitud de tubería del circuito calefactor

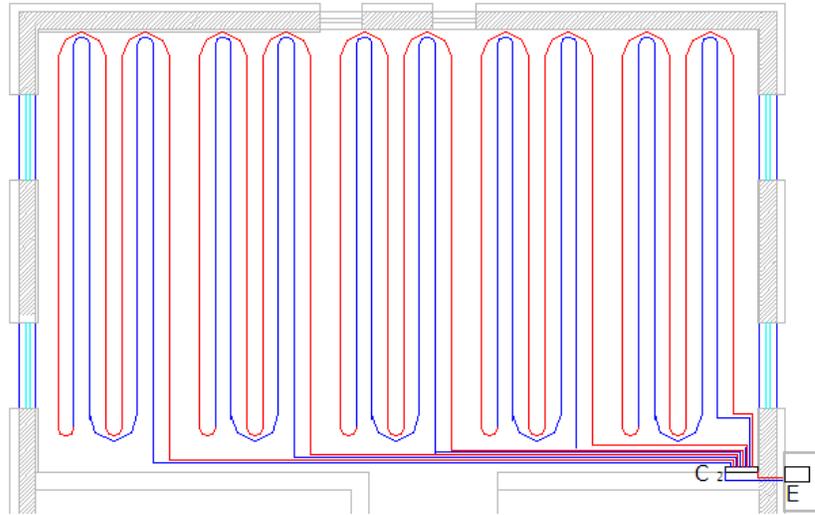
Para calcular la longitud de la tubería se aplica la ecuación (49) y se obtiene los valores indicados en la tabla 44.

Figura 51. Circuito por suelo radiante para los dormitorios (refugio Carrel)



Fuente: Autor

Figura 52. Circuito por suelo radiante para el comedor (refugio Carrel)



Fuente: Autor

Tabla 44. Longitud de las tuberías del circuito calefactor (refugio Carrel)

	ÁREA	Área a calefatar cubierta por el piso m^2	Distancia entre tubos (m)	Distancia entre el colector y el área a calefatar (m)	Longitud del circuito calefactor (m)	Longitud total de la tubería (m)
A1	Dormitorio 1	7.89	0.185	4.5	43	52
A2	Dormitorio 2	7.92		2	43	47
A3	Dormitorio 3	7.19		2	39	43
A4	Dormitorio 4	7.19		3.5	39	46
A5	Dormitorio 5	5.73		6	31	43
A6	Dormitorio 6	7.92		8.5	43	60
A7	Dormitorio 7	8.07		9	44	62
A8	Dormitorio 8	5.84		6.5	32	45
A9	Dormitorio 9	7.80		2	42	46
A10	Dormitorio 10	8.07		2	44	48
A11	Dormitorio 11	8.04		5	43	53
A12	Comedor	9.00	1	49	51	
		9.00	2	49	53	
		9.00	3	49	55	
		9.00	4	49	57	
		9.00	5	49	59	

Fuente: Autor

3.6.3.2 Pérdidas de carga por fricción de las tuberías calefactores

Se asume un criterio de diseño, de forma que la pérdida de carga no sobrepase en tramos rectos los 40 mmca/m y una velocidad máxima de 2 m/s.

Tabla 45. Pérdidas por tuberías del circuito calefactor (refugio Carrel)

	ÁREA	Caudal $\frac{lt}{s}$	Longitud del circuito (m)	Pérdidas (mmca/m)	Pérdidas (mmca)
A1	Dormitorio 1	0.01	52	28	1445.80
A2	Dormitorio 2	0.01	47		1310.54
A3	Dormitorio 3	0.01	43		1200.76
A4	Dormitorio 4	0.01	46		1284.76
A5	Dormitorio 5	0.01	43		1202.93
A6	Dormitorio 6	0.01	60		1674.54
A7	Dormitorio 7	0.01	62		1725.51
A8	Dormitorio 8	0.01	45		1247.54
A9	Dormitorio 9	0.01	46		1292.54
A10	Dormitorio 10	0.01	48		1333.51
A11	Dormitorio 11	0.01	53		1496.68
A12	Comedor	0.01	51		1418.16
		0.01	53	1474.16	
		0.01	55	1530.16	
		0.01	57	1586.16	
		0.01	59	1642.16	

Fuente: Autor

3.6.3.3 Pérdidas de carga por fricción de las tubería y accesorios de conducción

Se utiliza tubería y accesorios hidro 3 de Ø 1" para la conducción del agua caliente desde la caldera hasta los colectores de distribución. Se emplea las ecuaciones (7), (8), (9), (10), (11) y se procede igual que en el sistema de calefacción por radiadores.

Las pérdidas por colectores de distribución fueron tomadas del catálogo dado por la industria fabricante de estos equipos. ANEXO N

Tabla 46. Pérdidas de carga por tuberías, accesorios y colectores (refugio Carrel)

Sección de tuberías	Longitud de tubería (m)	Diámetro de tubería (mm)	Δp (mca/m)	Δp (mmca)
Caldera -E	2	1"	0.018	36.00
E-A	2.9	1"	0.018	52.20
A- Colector 1	3.4	1"	0.018	61.20
E-Colector 2	1	1"	0.018	18.00

Sección de la tubería	Total K	Δp (mca/m)	Δp (mmca)
Caldera -E	2.86	0.0525	52.53
E-A	2.15	0.0395	39.49
A- Colector 1	0.07	0.0013	1.29
E-Colector 2	0.07	0.0013	1.29

Sección de la tubería	Δp (mca)	Δp (mmca)
Colector 1 de 11 Circuitos	0.010	10.20
Colector 2 de 5 Circuitos	0.010	10.20

Fuente: Autor

3.6.3.4 Pérdidas de carga por la caldera

Este valor se genera por la pérdida de carga para agua y pérdida de carga por humos dados en tablas por la marca fabricante del caldero. ANEXO L

$$\Delta P_{Cal} = (10 + 0.03)mbar$$

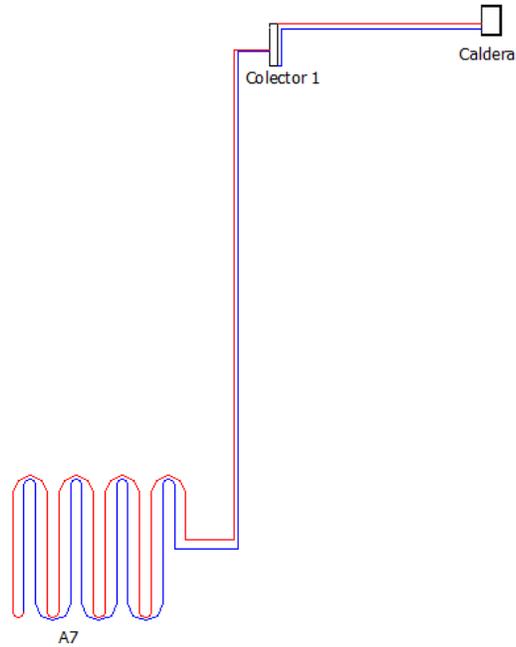
$$\Delta P_{Cal} = 10.03mbar$$

$$\Delta P_{Cal} = 102.28 mmca$$

3.6.3.5 Circuito más desfavorable para la selección de la bomba

Para obtener el valor total se suma las pérdidas por la tubería de polietileno reticulado, tubería, accesorios hidro 3 y caldera. El circuito más desfavorable corresponde al segmento de tubería que va desde la caldera, colector 1 y el circuito calefactor de dormitorio 7.

Figura 53. Esquema del circuito más desfavorable del sistema (refugio Carrel)



Fuente: Autor

Tabla 47. Pérdidas de carga total por tubería y accesorios (refugio Carrel)

Elementos	Δp (mmca)
Circuito del piso radiante	1725.51
Tubería de ida	149.40
Tubería de retorno	149.40
Accesorios ida- retorno	93.31
Colector 1	10.20
Caldera	102.28
Total	2230.09

Fuente: Autor

Finalmente los parámetros para la selección de la bomba son los siguientes:

- Caudal: 0.22 l/s
- Altura: 2230.09 mmca = 2.23 m

3.6.3.6 Pérdidas de calor por el sistema de calefacción

Con este valor se selecciona la potencia de la caldera, el total se obtiene sumando el calor emitido por todos los circuitos calefactores y las pérdidas por la tubería de conducción hidro 3, para evitar que la transferencia de calor hacia el medio ambiente sea mayor se recubre con aislamiento térmico y se calcula aplicando la ecuación (6).

Por recomendación del fabricante de cañuela el espesor de aislante se selecciona en función de la temperatura de transporte del fluido, es decir para una temperatura menor de 65 °C, la cañuela debe ser de 1" de espesor. ANEXO H

Tabla 48. Calor emitido por los circuitos calefactores y pérdidas a través de tuberías de conducción (refugio Carrel)

Elementos	Q (W)	Q (BTU/h)	Q (Kcal/h)
Tubería de ida	189.75	647.61	163.26
Tubería de retorno	189.75	647.61	163.26
Circuitos emisores	10815.33	36912.73	9305.51
Total	11194.83	38207.94	9632.03

Fuente: Autor

Se realiza la corrección por altitud y se obtiene lo siguiente:

$$P_{\text{corregida}} = (9632.03) \times 0.57 \text{ (Kcal/h)}$$

$$P_{\text{corregida}} = 5490 \text{ Kcal/h}$$

$$P_{\text{Total}} = (9632 + 5490) \text{ Kcal/h}$$

$$P_{\text{total}} = 15122 \text{ Kcal/h}$$

Finalmente el valor para la selección de la caldera es:

- Potencia: 15122 Kcal/h
- Potencia: $15122 \times 1.1611 = 17558 \text{ W} = 17.6 \text{ KW}$

3.6.3.7 Cálculo del vaso de expansión

Para el cálculo del vaso de expansión se deben considerar algunos parámetros como los que se describe a continuación:

- **Volumen de la instalación**

Para el cálculo del volumen de la instalación se debe tomar en cuenta el volumen de la tubería de conducción, el volumen de la tubería de los circuitos calefactores y el volumen de la caldera.

- **Volumen de tubería**

Este corresponde a la tubería de conducción del agua caliente hidro 3, se utiliza la ecuación (23) y se obtiene el siguiente valor:

$$V_{tub-H3} = \frac{\pi x (0.0239)^2 x 22}{4} = 9.90 x 10^{-3} m^3 = 9.90 lt$$
$$V_{tub-H3} = 2 x 9.90 lt = 19.8 lt$$

- **Volumen de la tubería de polietileno reticulado**

Para calcular el volumen de agua que contiene los circuitos calefactores se emplea la ecuación (23) y se utiliza las propiedades dadas a continuación y se obtiene lo siguiente:

d: Diámetro de la tubería de polietileno reticulado (0.013m)

l: Longitud total de la tubería de polietileno reticulado (817m)

$$V_{tub-polietileno} = \frac{\pi x (0.013)^2 x 817}{4} = 0.0108 m^3 = 108.4 lt$$
$$V_{tub-polietileno} = 108.4 lt$$

- **Volumen de caldera.-** Dada en catálogo su valor es:

$$V_{caldera} = 47 lt$$

- **Volumen total de la instalación**

El volumen total de la instalación es la suma del volumen de la tubería de conducción, volumen de los circuitos calefactores y el volumen de la caldera.

$$V_{\text{instalación}} = V_{\text{tubería}} + V_{\text{tub-polietileno}} + V_{\text{caldera}} \quad (50)$$

$$V_{\text{instalación}} = (19.8 + 108.4 + 47) \text{ lt} = 175.2 \text{ lt}$$

- **Coefficiente de dilatación del fluido**

Se utiliza la ecuación (13) y se obtiene:

$$T_m = 38 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C_e = (3.24 (38)^2 + 102.13 (38) - 2708.3) \times 10^{-6}$$

$$C_e = 5.85 \times 10^{-3}$$

- **Coefficiente de presión del gas**

Se utiliza la ecuación (14), y se escoge un vaso de expansión con diafragma y se obtiene:

$$P_m = (3.04 - 0.54) \text{ atm} = 2.5 \text{ atm}$$

$$P_n = (0.24 + 0.54) \text{ atm} = 0.79 \text{ atm}$$

$$C_p = \frac{2.5}{2.5 - 0.79} = 1.46$$

- **Volumen del vaso de expansión**

Aplicando la ecuación (12) y empleando los valores de volumen de la instalación, coeficiente de dilatación del fluido, coeficiente de presión de gas se obtiene:

$$V_t = 175.2 \text{ lt} \times 5.85 \times 10^{-3} \times 1.46 = 1.50 \text{ lt}$$

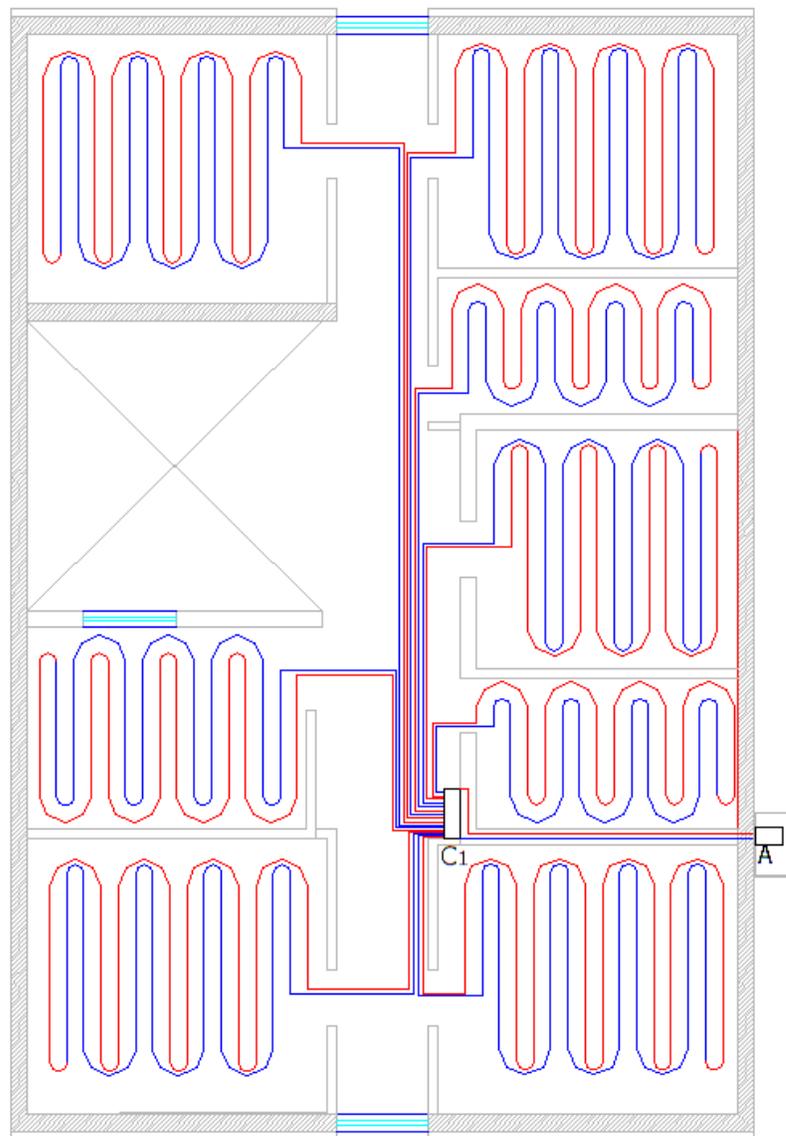
3.6.4 Cálculo del sistema de suelo radiante para el refugio Whympet

Se sigue el mismo proceso que en el sistema de suelo radiante para el refugio Carrel.

3.6.4.1 Cálculo de la longitud de tubería del circuito calefactor

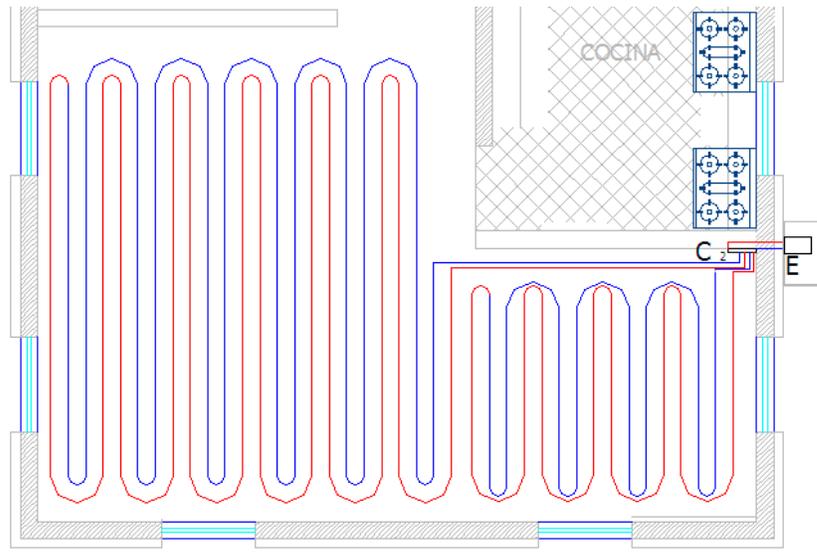
Para calcular la longitud de la tubería se aplica la ecuación (49) y se obtiene los valores indicados en la tabla 49.

Figura 54. Circuito por suelo radiante para los dormitorios (refugio Whympet)



Fuente: Autor

Figura 55. Circuito por suelo radiante para el comedor (refugio Whympier)



Fuente: Autor

Tabla 49. Longitud de las tuberías del circuito calefactor (refugio Whympier)

	ÁREA	Área a calefatar cubierta por el piso m^2	Distancia entre tubos (m)	Distancia entre el colector y el área a calefactor (m)	Longitud del circuito calefactor (m)	Longitud total de la tubería (m)
A1	Dormitorio 1	8.11	0.185	7.7	44	59
A2	Dormitorio 2	5.60		5.1	30	40
A3	Dormitorio 3	7.19		3.2	39	45
A4	Dormitorio 4	4.58		1.5	25	28
A5	Dormitorio 5	9.34		2.3	50	55
A6	Dormitorio 6	9.60		3	52	58
A7	Dormitorio 7	6.90		3	37	43
A8	Dormitorio 8	9.37		8.4	51	67
A9	Comedor	8.30		1	45	47
		8.30	3	45	51	
		8.30	5	45	55	
		8.30	7	45	59	

Fuente: Autor

3.6.4.2 Pérdidas de carga por fricción de las tuberías calefactores

Se asume un criterio de diseño, de forma que la pérdida de carga no sobrepase en tramos rectos los 40 mmca/m y una velocidad máxima de 2 m/s.

Tabla 50. Pérdidas de carga por tuberías del circuito calefactor (refugio Whympfer)

	ÁREA	Caudal $\frac{lt}{s}$	Longitud del circuito (m)	Pérdidas (mmca/m)	Pérdidas (mmca)
A1	Dormitorio 1	0.02	59	28	1659.3
A2	Dormitorio 2	0.01	40		1133.6
A3	Dormitorio 3	0.02	45		1268.0
A4	Dormitorio 4	0.01	28		777.2
A5	Dormitorio 5	0.02	55		1542.1
A6	Dormitorio 6	0.03	58		1620.3
A7	Dormitorio 7	0.02	43		1212.4
A8	Dormitorio 8	0.03	67		1888.6
A12	Comedor	0.01	47		1312.2
		0.01	51		1424.2
		0.01	55		1536.2
		0.01	59		1648.2

Fuente: Autor

3.6.4.3 Pérdidas de carga por fricción de la tubería y accesorios de conducción

Se utiliza tubería y accesorios hidro 3 de Ø 1" para la conducción del agua caliente desde la caldera hasta los colectores de distribución. Se emplea las ecuaciones (7), (8), (9), (10), (11) y se procede igual que en el sistema de calefacción por radiadores.

Las pérdidas por colectores de distribución fueron tomadas del catálogo dado por la industria fabricante de estos equipos. ANEXO N

Tabla 51. Pérdidas de carga por tuberías, accesorios y colectores (refugio Whympet)

Sección de tuberías	Longitud de tubería (m)	Diámetro de tubería	Δp (mca/m)	Δp (mmca)
Caldera -E	2	1"	0.018	36.00
E-A	2.5	1"	0.018	45.00
A- Colector 1	3.3	1"	0.018	59.40
E-Colector 2	1	1"	0.018	18.00

Sección de la tubería	Total K	Δp (mca/m)	Δp (mmca)
Caldera -E	2.86	0.0525	52.53
E-A	2.15	0.0395	39.49
A- Colector 1	0.07	0.0013	1.29
E-Colector 2	0.07	0.0013	1.29

Sección de la tubería	Δp (mca)	Δp (mmca)
Colector 1 de 8 Circuitos	0.010	10.20
Colector 2 de 4 Circuitos	0.010	10.20

Fuente: Autor

3.6.4.4 Pérdidas de carga por la caldera

Este valor se genera por la pérdida de carga para agua y pérdida de carga por humos dados en tablas por la marca fabricante del caldero. ANEXO I

$$\Delta P_{cal} = (10 + 0.03)mbar$$

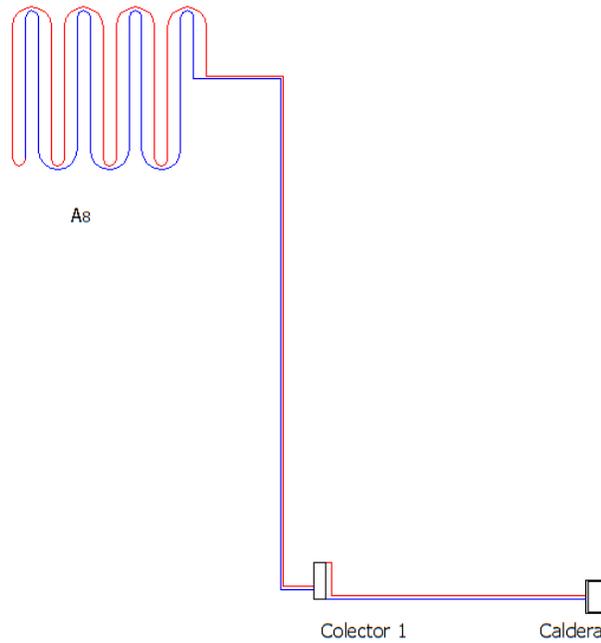
$$\Delta P_{cal} = 10.03mbar$$

$$\Delta P_{cal} = 102.28 mmca$$

3.6.4.5 Circuito más desfavorable para la selección de la bomba

Para obtener el valor total se suma las pérdidas por la tubería de polietileno reticulado, tubería, accesorios hidro 3 y caldera. El circuito más desfavorable corresponde al segmento de tubería que va desde la caldera, colector 1 y el circuito calefactor de dormitorio 8.

Figura 56. Esquema del circuito más desfavorable (refugio Whympier)



Fuente: Autor

Tabla 52. Pérdidas totales por tubería y accesorios (refugio Whympier)

Elementos	Δp (mmca)
Circuito del piso radiante	1888.59
Tubería de ida	140.40
Tubería de retorno	140.40
Accesorios ida- retorno	93.31
Colector 1	10.20
Caldera	102.28
Total	2375.18

Fuente: Autor

Finalmente los parámetros para la selección de la bomba son los siguientes:

- Caudal: 0.22 l/s
- Altura: 2375.18 mmca = 2.4 m

3.6.4.6 Pérdidas de calor por el sistema de calefacción

Con este valor se selecciona la potencia de la caldera, el total se obtiene sumando el calor emitido por todos los circuitos calefactores y las pérdidas por la tubería de conducción hidro 3, para evitar que la transferencia de calor hacia el medio ambiente sea mayor se recubre con aislamiento térmico y se calcula aplicando la ecuación (6).

Por recomendación del fabricante de cañuela el espesor de aislante se selecciona en función de la temperatura de transporte del fluido, es decir para una temperatura menor de 65 °C, la cañuela debe ser de 1” de espesor. ANEXO H

Tabla 53. Calor emitido por los circuitos calefactores y pérdidas a través de tuberías de conducción (refugio Whympen)

Elementos	Q (W)	Q (BTU/h)	Q (Kcal/h)
Tubería de ida	289.24	987.18	248.86
Tubería de retorno	289.24	987.18	248.86
Circuitos emisores	8975.03	30631.78	7722.12
Total	9553.51	32606.14	8219.84

Fuente: Autor

Se realiza la corrección por altitud obteniendo lo siguiente:

$$P_{\text{corregida}} = (8219.85) \times 0.59 \text{ (Kcal/h)}$$

$$P_{\text{corregida}} = 4850 \text{ Kcal/h}$$

$$P_{\text{total}} = (8220 + 4850) \text{ Kcal/h}$$

$$P_{\text{total}} = 13070 \text{ Kcal/h}$$

Finalmente el valor para la selección de la caldera es:

- Potencia: 13070 Kcal/h
- Potencia: $13070 \times 1.1611 = 15176 \text{ W} = 15.2 \text{ KW}$

3.6.4.7 Cálculo del vaso de expansión

Para el cálculo del vaso de expansión se deben considerar algunos parámetros como los que se describe a continuación:

- **Volumen de la instalación**

Para el cálculo del volumen de la instalación se debe tomar en cuenta el volumen de la tubería, el volumen de tubería de los circuitos calefactores y el volumen de la caldera.

- **Volumen de tubería**

Este corresponde a la tubería de conducción del agua caliente hidro 3, se utiliza la ecuación (23) y se obtiene el siguiente valor:

$$V_{tub-H3} = \frac{\pi x (0.0239)^2 x 20}{4} = 8.97 x 10^{-3} m^3 = 8.97 lt$$
$$V_{tub-H3} = 2 x 8.97 lt = 17.94 lt$$

- **Volumen de la tubería de polietileno reticulado**

Para calcular el volumen de agua que contiene los circuitos calefactores se emplea la ecuación (23) y se utiliza las propiedades dadas a continuación y se obtiene lo siguiente:

d: Diámetro de la tubería de polietileno reticulado (0.013m)

l: Longitud total de la tubería de polietileno reticulado (582m)

$$V_{tub-polietileno} = \frac{\pi x (0.013)^2 x 582}{4} = 0.077 = 77.3 lt$$
$$V_{tub-polietileno} = 77.3 lt$$

- **Volumen de caldera.-** Dada en catálogo su valor es:

$$V_{caldera} = 47 lt$$

- **Volumen total de la instalación**

El volumen total de la instalación es la suma del volumen de la tubería, volumen de los radiadores y el volumen de la caldera.

$$V_{\text{instalación}} = (17.94 + 77.3 + 47) \text{ lt} = 142.24 \text{ lt}$$

- **Coefficiente de dilatación del fluido**

Se utiliza la ecuación (13) y se obtiene:

$$T_m = 38 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C_e = (3.24 (38)^2 + 102.13 (38) - 2708.3) \times 10^{-6}$$
$$C_e = 5.85 \times 10^{-3}$$

- **Coefficiente de presión del gas**

Se utiliza la ecuación (14), y se escoge un vaso de expansión con diafragma y se obtiene:

$$P_M = (3.04 - 0.53) \text{ atm} = 2.51 \text{ atm}$$

$$P_m = (0.24 + 0.53) \text{ atm} = 0.77 \text{ atm}$$

$$C_p = \frac{2.51}{2.51 - 0.77} = 1.44$$

- **Volumen del vaso de expansión**

Aplicando la ecuación (12) y empleando los valores de volumen de la instalación, coeficiente de dilatación del fluido, coeficiente de presión de gas se obtiene:

$$V_t = 142.24 \text{ lt} \times 5.85 \times 10^{-3} \times 1.44 = 1.2 \text{ lt}$$

3.7 Selección de equipos y elementos

Para este propósito se emplea el catálogo dado por la empresa Salvador Escoda que cuenta con una gran variedad de equipos, accesorios, bombas, etc. para realizar la instalación de sistemas de calefacción por radiadores o piso radiante.

3.7.1 Selección de equipos para calefacción por radiadores

Los equipos que se selecciona para el sistema de calefacción por radiadores, satisfacen los requerimientos de potencia tanto en la bomba como en la caldera para los sistemas Carrel y Whympet.

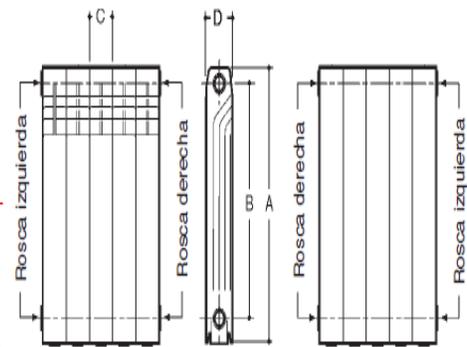
3.7.1.1 Selección del radiador

Para los dos sistemas se selecciona un radiador de aluminio para instalaciones de agua caliente hasta 6 bar y 110 °C. Las características de los radiadores seleccionados son similares para los sistemas de calefacción Carrel y Whympet. ANEXO O

Tabla 54. Características técnicas y dimensiones de radiadores

Dimensiones y Características Técnicas

Modelos	Cotas en mm				Capacidad aprox. agua l	Peso aprox. kg	Por elemento en kcal/h				Exponente "n" de la curva característica	
	A	B	C	D			Frontal aberturas		Frontal plano		Frontal aberturas	Frontal plano
							(1)	(2)	(1)	(2)		
DUBAL 30	288	218	80	147	0,27	1,45	84,9	71,3	86,7	70,5	1,30	1,29
DUBAL 45	421	350	80	82	0,29	1,13	112,8	79,5	108,7	76,2	1,35	1,35
DUBAL 60	571	500	80	82	0,36	1,43	147,7	103,9	142,6	99,0	1,35	1,34
DUBAL 70	671	600	80	82	0,43	1,63	170,9	119,1	165,7	113,7	1,34	1,34
DUBAL 80	771	700	80	82	0,50	1,83	189,9	133,7	184,0	127,9	1,33	1,34



(1) = Emisión calorífica en Kcal/h según UNE 9-015-86 para $\Delta t = 60\text{ }^\circ\text{C}$ (A título informativo)

(2) = Emisión calorífica en Kcal/h según UNE EN-442 para $\Delta t = 50\text{ }^\circ\text{C}$

$\Delta t = (T. \text{media radiador} - T. \text{ambiente})$ en $^\circ\text{C}$

Exponente "n" de la curva característica según UNE EN-442

Fuente: www.salvadorescoda.com

3.7.1.2 Selección de la tubería de conducción

Se selecciona tuberías tipo hidro 3 de Ø 1” para agua caliente, se utiliza para conducir el agua caliente desde la caldera hasta los radiadores de todos los locales climatizados.

ANEXO G

Tabla 55. Dimensiones de las tuberías hidro 3

Saladillo H3 aluminio		Tuberías para agua fría, caliente y calefacción						
Código N°	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm ²	P kg/m	Vu l/m	
81	18.7	3/8	11.3	3.7	1.02	0.180	0.102	
75	22.8	1/2	14.5	4.1	1.65	0.253	0.165	
76	28.4	3/4	19.1	4.6	2.9	0.345	0.290	
77	34.2	1	23.9	5.1	4.5	0.539	0.450	
78	43.7	1 1/4	30.8	6.5	7.45	0.761	0.745	
79	49.8	1 1/2	35.7	7.0	10	0.969	1.000	
80	61.8	2	45.3	8.2	16.10	1.450	1.610	

Presentación: Tiras por 6 m.

d: Diámetro exterior - dn: Diámetro nominal - di: Diámetro interior
s: Espesor Sp: Sección de paso - P: Peso - Vu: Volumen

Fuente: www.industriassaladillo.com.ar

3.7.1.3 Selección de la caldera

Se elige una caldera tipo GRV 20 AUT de biomasa, de funcionamiento a pellet (adaptable a hueso de aceituna). Control y gestión electrónica digital de las funciones de encendido, alimentación y regulación de la instalación. Incluyen tolva superior y tornillo sinfín horizontal –opcionalmente puede suministrarse tolva lateral y tornillo sinfín de 1,8 m.

Combustión en depresión mediante caja de humos con aspiración. La electrónica controla todas las funciones de la caldera, su modulación, alimentación y permite también la gestión de un depósito de inercia (aconsejable), interacumulador sanitario e incluso la gestión solar si existe. Seguridad: la caldera dispone de un serpentín interno para enfriar la caldera en caso de sobretemperatura. ANEXO L

Tabla 56. Características técnicas de la caldera de pellets

Modelo			20	30	40	50	80	115	150
Potencia nominal	kW		22,0	33,0	44,0	55,0	88,0	115,0	165,0
Potencia útil	kW		20,0	30,0	40,0	50,0	80,0	110,0	150,0
Capacidad caldera	lts.		47	68	117	117	190	276	362
Pérdida de carga lado agua	mbar		10	10	10	10	5	10	12
Pérdida de carga lado humos	mbar		0,03	0,03	0,06	0,06	0,03	0,05	0,05
Presión de trabajo	bar		3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Presión de prueba	bar		4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Peso	Kg		200	280	370	370	400	560	670
Dimensiones/conexiones									
Ancho total	A	mm	550	620	690	690	768	862	862
Longitud	B	mm	1237	1310	1510	1510	1756	1130	1480
Longitud total	B1	mm	770	900	1100	1100	1120	-	-
Altura total	C	mm	1460	1600	1780	1780	1319	1352	1352
Altura depósito	C1	mm	632	830	830	830	-	-	-
Altura panel control	C2	mm	180	180	-	-	180	180	180
Longitud quemador	L	mm	243	260	260	260	260	260	260
Impulsión	H	mm	575	715	880	880	1035	1253	1253
Caja humos	E	mm	-	-	-	-	-	376	376
Salida humos	F	mm	475	560	763	763	870	1030	1030
Retorno	G	mm	135	170	192	192	380	350	350
Ida/retorno instalación	A1/A2	pulg.	1"	1-1/4"	1-1/4"	1-1/4"	1-1/4"	2"	2"
Descarga caldera	A3	pulg.	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Conex. intercambiador seg.	A4	pulg.	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	3/4"	3/4"
Alojamiento sonda caldera	A5	pulg.	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Chimenea	A6	pulg.	99	138	150	150	178	200	200
Válvula descarga térmica	A7	pulg.	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Sonda caldera	A8	pulg.	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Sop. tornillo extracc. cenizas	A9	pulg.	-	-	-	-	28	28	28
Conex. bomba recirculación	A10	pulg.	-	-	-	-	-	1"	1"
Volumen depósito		lts.	100	200	370	370	600	600	600

Fuente: www.salvadorescoda.com

- **Quemador de pellets**

Se selecciona un quemador para caldera de pellets de las siguientes características:

Capacidad: 12 a 20 kW (6 niveles de potencia)

Combustible: Pellets, 6 - 8 mm

Ignición: eléctrica W 500

Energía: 230 V, 3 A

Potencia media: 25 a 40 W

Consumo de energía en modo de espera: 3 W

Eliminación de cenizas: manual

Nivel de ruido:	58 db
Lambda:	1,3 - 1,6
CO:	<100 ppm
Dimensiones:	
Longitud:	540 mm
Ancho:	220 mm
Altura:	240 mm
Peso:	11,5 kg

3.7.1.4 Selección de la bomba de circulación

La bomba de recirculación seleccionada posee características técnicas que satisfacen las necesidades de potencia, altura, caudal para los sistemas Carrel y Whympet.

Características: bombas de circulación sencillas para agua caliente está diseñada para la circulación de líquidos en sistemas de calefacción. Posee un cuerpo hidráulico de hierro fundido, los impulsores son de acero inoxidable, el motor es asíncrono con rotor jaula de 2 ó 4 polos y 3 velocidades. ANEXO M

Marca: Grundfos

Modelo: UPS 25-40

Caudal máximo de la serie: hasta 12 m³/h

Altura máxima de la serie: hasta 12 m

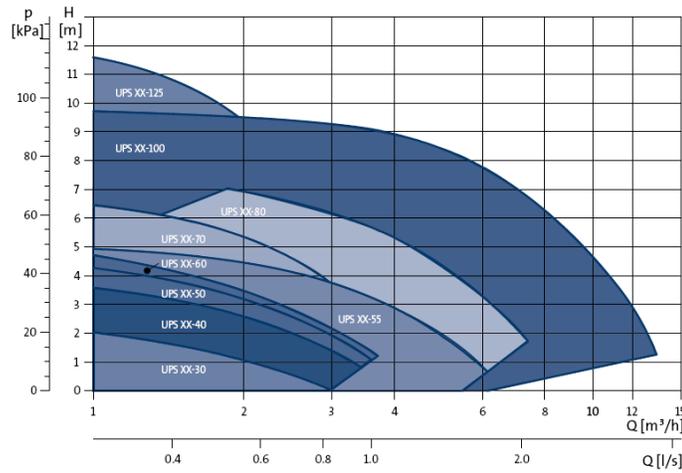
Temperatura del líquido: -25°C hasta 110°C

Tensión: 1x220V, 60Hz

Caudal = 1.5 l/s

Presión = 0.1 Mpa

Figura 57. Curvas de funcionamiento de la bomba grundfos UPS



Fuente: www.grundfos.com

3.7.1.5 Selección del vaso de expansión

Se selecciona un vaso de expansión de Salvador Escoda con membrana fija, válidas para circuito cerrado y temperaturas comprendidas entre 10 °C a 110 °C, 5CMF, 25 litros.

ANEXO P

Tabla 57. Características técnicas del vaso de expansión
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DIMENSIONES

	Código	Tipo	Capacidad (litros)	Presión. máx. trabajo (bar)	Dimensiones aproximadas		Conexión de agua Ø DIN 259	Presión precarga (bar)	Dimensiones del embalaje (mm)
					D (mm)	H (mm)			
	AC 04 000	5 CMF	5	4	200	240	3/4"	1,5	200 x 200 x 240
	AC 04 002	8 CMF	8	4	200	328	3/4"	1,5	200 x 200 x 330
	AC 04 003	12 CMF	12	4	270	304	3/4"	1,5	270 x 270 x 300
	AC 04 004	18 CMF	18	4	270	405	3/4"	1,5	270 x 270 x 400
	AC 04 006	35 CMF	35	4	360	465	3/4"	1,5	360 x 360 x 460
	AC 04 007	50 CMF	50	4	360	628	3/4"	1,5	360 x 360 x 640
	AC 04 015	80 CMF	80	6	485	585	1"	1,5	485 x 485 x 585
	AC 04 009	100 CMF	100	6	485	660	1"	1,5	485 x 485 x 660
	AC 04 010	140 CMF	140	6	485	945	1"	1,5	485 x 485 x 950
	AC 04 011	200 CMF	200	6	600	860	1"	1,5	600 x 600 x 890
	AC 04 012	250 CMF	250	6	600	1.095	1"	1,5	600 x 600 x 1120
	AC 04 013	300 CMF	300	6	600	1.270	1"	1,5	
	AC 04 014	400 CMF	400	6	600	1.510	1"	1,5	

Fuente: www.salvadorescoda.com

3.7.2 Selección de equipos para calefacción por suelo radiante

Los equipos seleccionados para el sistema de calefacción por suelo radiante satisfacen las necesidades de potencia en la caldera y altura y caudal en la bomba para los refugios Carrel y Whymper.

3.7.2.1 Selección del colector de distribución

Collectores modulares de bajo peso, fabricados en poliamida con alta resistencia mecánica y elevada resistencia a presión y temperatura. Provistos, tanto en el módulo de ida como de retorno, de llave de corte, termómetro, purgador, y llave de llenado y vaciado.

En el módulo de impulsión cuentan con detentores para realizar el equilibrado hidráulico de la instalación. En el módulo de retorno se acoplan los cabezales electrotérmicos que van conectados a la unidad base de regulación termostática. El kit colector básico cuenta con salida para 2 circuitos, y a través de los módulos básicos podremos ampliar el colector hasta 12 salidas. ANEXO N

Tabla 58. Características del colector de distribución

Artículo
CON VÁLVULA + DETENTOR + CAUDALÍMETRO 0,5-5L/M
Colector 2 conex. 1"x18
Colector 3 conex. 1"x18
<u>Colector 4 conex. 1"x18</u>
<u>Colector 5 conex. 1"x18</u>
Colector 6 conex. 1"x18
Colector 7 conex. 1"x18
<u>Colector 8 conex. 1"x18</u>
Colector 9 conex. 1"x18
Colector 10 conex. 1"x18
<u>Colector 11 conex. 1"x18</u>
Colector 12 conex. 1"x18
Colector punto fijo 3 conex. 1"x18

Fuente: www.salvadorescodia.com

Comedor del refugio Carrel: Colector de 5 conexiones

Dormitorios del refugio Carrel: Colector de 11 conexiones

Comedor del refugio Whymper: Colector de 4 conexiones

Dormitorios del refugio Whymper: Colector de 8 conexiones

3.7.2.2 Selección de la tubería para los circuitos calefactores

Se selecciona tubería de polietileno de alta densidad (HDPE) y reticulado por el método peróxido, obteniéndose un tubo de gran flexibilidad. La reticulación del tubo se realiza para su utilización en instalaciones de agua caliente. El polietileno, al ser un termoplástico, es un material muy flexible, pero tiene poca resistencia al calor, y sometiéndolo a un proceso de reticulación, se obtiene un material capaz de soportar temperaturas de hasta 95 °C. ANEXO J

Se emplea la misma tubería para todos los sistemas de tubería por suelo radiante tanto para los comedores y dormitorios de los refugios Carrel y Whymper.

Tabla 59. Dimensiones de las tuberías de polietileno reticulado

Dimensión	Diámetro int. (mm)	Diámetro ext. (mm)
12x2	8	12
16x1,8	12	16
17x2	13	17
20x2	16	20

Fuente: www.salvadorescoda.com

3.7.2.3 Selección de la caldera

Se elige una caldera tipo GRV 20 AUT de biomasa, de funcionamiento a pellet (adaptable a hueso de aceituna).

Control y gestión electrónica digital de las funciones de encendido, alimentación y regulación de la instalación. Incluyen tolva superior y tornillo sinfín horizontal – opcionalmente puede suministrarse tolva lateral y tornillo sinfín de 1,8 m.

Combustión en depresión mediante caja de humos con aspiración. La electrónica controla todas las funciones de la caldera, su modulación, alimentación y permite también la gestión de un depósito de inercia (aconsejable), interacumulador sanitario e incluso la gestión solar si existe. Seguridad: la caldera dispone de un serpentín interno para enfriar la caldera en caso de sobretemperatura. ANEXO L

- **Quemador de pellets**

Se selecciona un quemador para caldera de pellets de las siguientes características:

Capacidad:	12 a 20 kW (6 niveles de potencia)
Combustible:	Pellets, 6 - 8 mm
Ignición:	eléctrica W 500
Energía:	230 V, 3 A
Potencia media:	25 a 40 W
Consumo de energía en modo de espera:	3 W
Eliminación de cenizas:	manual
Nivel de ruido:	58 db
Lambda:	1,3 - 1,6
CO:	<100 ppm
Dimensiones:	

Longitud:	540 mm
Ancho:	220 mm
Altura:	240 mm
Peso:	11,5 kg

Tabla 60. Características técnicas de la caldera de pellets

Modelo			20	30	40	50	80	115	150
Potencia nominal	kW		22,0	33,0	44,0	55,0	88,0	115,0	165,0
Potencia útil	kW		20,0	30,0	40,0	50,0	80,0	110,0	150,0
Capacidad caldera	lts.		47	68	117	117	190	276	362
Pérdida de carga lado agua	mbar		10	10	10	10	5	10	12
Pérdida de carga lado humos	mbar		0,03	0,03	0,06	0,06	0,03	0,05	0,05
Presión de trabajo	bar		3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Presión de prueba	bar		4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Peso	Kg		200	280	370	370	400	560	670
Dimensiones/conexiones									
Ancho total	A	mm	550	620	690	690	768	862	862
Longitud	B	mm	1237	1310	1510	1510	1756	1130	1480
Longitud total	B1	mm	770	900	1100	1100	1120	-	-
Altura total	C	mm	1460	1600	1780	1780	1319	1352	1352
Altura depósito	C1	mm	632	830	830	830	-	-	-
Altura panel control	C2	mm	180	180	-	-	180	180	180
Longitud quemador	L	mm	243	260	260	260	260	260	260
Impulsión	H	mm	575	715	880	880	1035	1253	1253
Caja humos	E	mm	-	-	-	-	-	376	376
Salida humos	F	mm	475	560	763	763	870	1030	1030
Retorno	G	mm	135	170	192	192	380	350	350
Ida/retorno instalación	A1/A2	pulg.	1"	1-1/4"	1-1/4"	1-1/4"	1-1/4"	2"	2"
Descarga caldera	A3	pulg.	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Conex. intercambiador seg.	A4	pulg.	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	3/4"	3/4"
Alojamiento sonda caldera	A5	pulg.	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Chimenea	A6	pulg.	99	138	150	150	178	200	200
Válvula descarga térmica	A7	pulg.	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Sonda caldera	A8	pulg.	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Sop. tornillo extracc. cenizas	A9	pulg.	-	-	-	-	28	28	28
Conex. bomba recirculación	A10	pulg.	-	-	-	-	-	1"	1"
Volumen depósito		lts.	100	200	370	370	600	600	600

Fuente: www.salvadorescoda.com

3.7.2.4 Selección de la bomba de circulación

La bomba de recirculación seleccionada posee características técnicas que satisfacen las necesidades de potencia, altura, caudal para los sistemas Carrel y Whymper.

Características: bombas de circulación sencillas para agua caliente está diseñada para la circulación de líquidos en sistemas de calefacción. Cuerpo hidráulico de hierro fundido, impulsores son de acero inoxidable, los motores son asincrónicos con rotor jaula de 2 ó 4 polos y 3 velocidades. ANEXO M

Marca: Grundfos

Modelo: UPS 25-40

Caudal máximo de la serie: hasta $12 \text{ m}^3/\text{h}$

Altura máxima de la serie: hasta 12 m

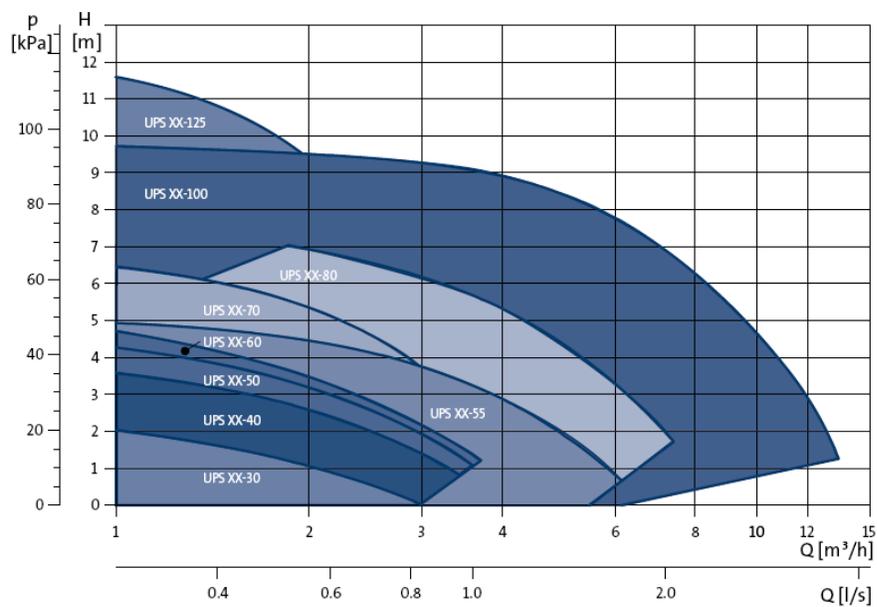
Temperatura del líquido: -25°C hasta 110°C

Tensión: $3 \times 220\text{v}$. 60Hz

Caudal = 1.5 l/s

Presión = 0.1 Mpa

Figura 58. Curvas de funcionamiento de la bomba grundfos UPS



Fuente: www.grundfos.com

3.7.2.5 Selección del vaso de expansión

Se selecciona un vaso de expansión de Salvador Escoda con membrana fija, válidas para circuito cerrado y temperaturas comprendidas entre 10 °C a 110 °C, 5CMF, 25 litros.

Tabla 61. Características técnicas del vaso de expansión

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DIMENSIONES

	Código	Tipo	Capacidad (litros)	Presión. máx. trabajo (bar)	Dimensiones aproximadas		Conexión de agua Ø DIN 259	Presión precarga (bar)	Dimensiones del embalaje (mm)
					D (mm)	H (mm)			
	AC 04 000	5 CMF	5	4	200	240	3/4"	1,5	200 x 200 x 240
	AC 04 002	8 CMF	8	4	200	328	3/4"	1,5	200 x 200 x 330
	AC 04 003	12 CMF	12	4	270	304	3/4"	1,5	270 x 270 x 300
	AC 04 004	18 CMF	18	4	270	405	3/4"	1,5	270 x 270 x 400
	AC 04 006	35 CMF	35	4	360	465	3/4"	1,5	360 x 360 x 460
	AC 04 007	50 CMF	50	4	360	628	3/4"	1,5	360 x 360 x 640
	AC 04 015	80 CMF	80	6	485	585	1"	1,5	485 x 485 x 585
	AC 04 009	100 CMF	100	6	485	660	1"	1,5	485 x 485 x 660
	AC 04 010	140 CMF	140	6	485	945	1"	1,5	485 x 485 x 950
	AC 04 011	200 CMF	200	6	600	860	1"	1,5	600 x 600 x 890
	AC 04 012	250 CMF	250	6	600	1.095	1"	1,5	600 x 600 x 1120
	AC 04 013	300 CMF	300	6	600	1.270	1"	1,5	
	AC 04 014	400 CMF	400	6	600	1.510	1"	1,5	

Fuente: www.salvadorescoda.com

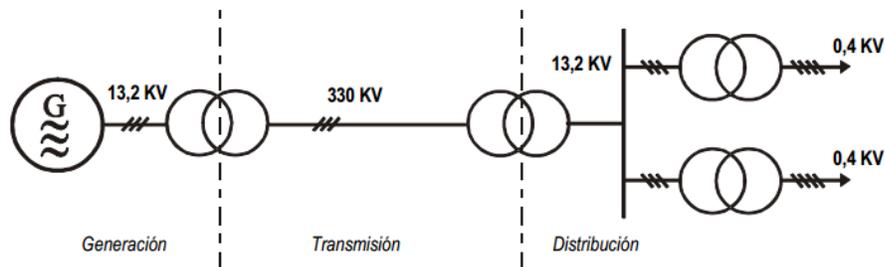
3.7.3 Selección de la fuente de energía

Los refugios Carrel y Whympner no poseen servicio de energía eléctrica, los equipos seleccionados para el sistema de calefacción por piso radiante y radiadores tales como la bomba de recirculación, quemador de la caldera de pellets, motor del tornillo sin fin, ventiladores, etc. Todos estos equipos requieren de una fuente de energía para realizar su funcionamiento.

Por la distancia y ubicación de los refugios respecto a las redes de energía eléctrica principales, la primer opción estudiada es la de seleccionar un generador eléctrico que proporcione este servicio, pero debido a las condiciones de funcionamiento y gases contaminantes productos de la combustión que emite a la atmosfera esta alternativa fue descartada.

Observando las características técnicas dadas en los catálogos de los equipos se determinó que se debe contar con una fuente de energía trifásica. La misma que debe ser proporcionada de la red de distribución por la empresa encargada de esta actividad.

Figura 59. Esquema del flujo de energía desde el generador hacia los consumidores



Fuente: www.ing.unp.edu.ar

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE COSTOS

4.1 Generalidades

En este capítulo se realiza el análisis de los costos de la instalación del sistema de calefacción por radiadores y suelo radiante para los refugios Carrel y Whympet.

4.1.1 *Costos*

Es la inversión de dinero que hace el empresario para comprar las mercaderías o los materiales, insumos y mano de obra para producir bienes o servicios que vende; lo que se gasta para vender sus productos o servicios; y lo que se gasta para el funcionamiento de la empresa.

El costo total del proyecto se clasifican en:

- Costos directos
- Costos indirectos

4.1.1.1 *Costos directos*

Son aquellos cuya incidencia monetaria en un producto o en una orden de trabajo puede establecerse con precisión. Para evaluar los costos directos se les clasifica en:

- **Costos de equipos y accesorios**

Es todo el dinero que se gasta para comprar los materiales e insumos que se necesita para fabricar los productos o producir los servicios que la empresa vende o provee.

- **Costos de mano de obra**

Es todo el dinero por concepto de salario de las personas que participan directamente en la fabricación del producto o producción del servicio que vende o provee la empresa. Cuando el costo de la mano de obra no es suficientemente significativo o es muy difícil calcular, se considera como costo indirecto.

- **Costos de herramientas.**

Constituye los costos debido al alquiler de equipos y herramientas para ejecutar la obra.

- **Costos de transporte**

Constituye los costos debido al transporte de los equipos, herramientas, insumos y otros para ejecutar la obra.

4.1.1.2 Costos indirectos

Son aquellos costos que no intervienen directamente en el desarrollo del proyecto.

Por ejemplo: los salarios de dirección técnica, gastos administrativos, electricidad, internet, interés de un préstamo, materiales de limpieza, entre otros.

Se considera un 25% del total de los costos directos, para considerar como costo indirecto. Por ser una empresa pública.

4.2 Análisis de costos del sistema de calefacción por suelo radiante

Se realiza el análisis de costos directos e indirectos para la ejecución de los dos sistemas de calefacción por suelo radiante.

4.2.1 Costos directos

- **Costos de equipos.**

Tabla 62. Costos de equipos para el refugio Carrel

Descripción	Unidad	V. Unitario	Cantidad	V. Total
Caldera de biomasa GRV 20 AUT, incluye quemador y accesorios	U	5826.93	1	5826.93
Tubería polietileno reticulado C/barrera 17X2.0	m	3.35	817	2739.01
Plancha de aluminio (2x1x0.001)m	U	8.02	60	481.08
Colector 1"X18 11 conexiones válvula+detentor+caudal. 0,5-5 lt/min	U	699.39	1	699.39
Colector 1"X18 5 conexiones válvula+detentor+caudal. 0,5-5 lt/min	U	317.91	1	317.91
Adaptador para plástico PEX c/barrera 17x2	U	3.16	32	101.14
Caja metálica empotrada 400 x 450 x 110	U	121.51	2	243.01
Cabezal eléctrico 230V NC	U	69.70	1	69.70
Válvula zona 3 Vias 1" M.C.-V3R-25	U	58.44	2	116.87
Termostato ambiente TRT217F210	U	40.75	12	489.01
Vaso de expansión 5 CMF hidroneumático	U	35.01	1	35.01
Bomba grundfos UPS 25-40 220V.(180 mm.)	U	288.32	1	288.32
Total				11407.37

Fuente: Autor

Tabla 63. Costos de equipos para el refugio Whymper

Descripción	Unidad	V. Unitario	Cantidad	V. Total
Caldera de biomasa GRV 20 AUT, incluye quemador y accesorios	U	5826.93	1	5826.93
Tubería polietileno reticulado C/barrera 17X2.0	m	3.35	608	2039.04
Plancha de aluminio (2x1x0.001)m	U	8.02	50	400.90
Colector 1"X18 8 conexiones válvula+detentor+caudal. 0,5-5 lt/min	U	508.63	1	508.63
Colector 1"X18 4 conexiones válvula+detentor+caudal. 0,5-5 lt/min	U	317.91	1	317.91
Adaptador para plástico PEX c/barrera 17x2	U	3.16	24	75.85
Caja metálica empotrada 400 x 450 x 110	U	121.51	2	243.01
Cabezal eléctrico 230V NC	U	69.70	1	69.70
Válvula zona 3 Vias 1" M.C.-V3R-25	U	58.44	2	116.87
Termostato ambiente TRT217F210	U	40.75	9	366.76
Vaso de expansión 5 CMF hidroneumático	U	35.01	1	35.01
Bomba grundfos UPS 25-40 220V.(180 mm.)	U	288.32	1	288.32
Total				10288.93

Fuente: Autor

Tabla 64. Costos de accesorios para el refugio Carrel

Descripción	Unidad	V. Unitario	Cantidad	V. Total
Poliuretano expandido A y B	Kg	7	330	2311.55
Film de poliestireno expandido antivapor	U	2.84	600	1702.80
Teflón	U	0.55	4	2.20
Permatex	U	3.8	2	7.60
Tubo HIDRO 3 de 1"	U	10	8	80.00
Cañuela para tubería de Ø 1"	U	7.14	8	57.12
Válvula de bola de 1"	U	8.10	2	16.20
Codos HIDRO 3 de 1"	U	1.37	10	13.70
Tee HIDRO 3 de 1"	U	1.50	8	12.00
Universal HIDRO 3 de 1"	U	3.79	3	11.37
Unión HIDRO 3 de 1"	U	1.00	4	4.00
Total				4218.54

Fuente: Autor

Tabla 65. Costos de accesorios para el refugio Whympers

Descripción	Unidad	V. Unitario	Cantidad	V. Total
Poliuretano expandido A y B	Kg	7.00	330	2311.55
Film de poliestireno expandido antivapor	U	2.84	550	1560.90
Teflón	U	0.55	4	2.20
Permatex	U	3.8	2	7.60
Tubo HIDRO 3 de 1"	U	10	7	70.00
Cañuela para tubería de Ø 1"	U	7.14	7	49.98
Válvula de bola de 1"	U	8.10	2	16.20
Codos HIDRO 3 de 1"	U	1.37	10	13.70
Tee HIDRO 3 de 1"	U	1.50	8	12.00
Universal HIDRO 3 de 1"	U	3.79	3	11.37
Unión HIDRO 3 de 1"	U	1.00	4	4.00
Total				4059.50

Fuente: Autor

- **Costos de mano de obra.**

Tabla 66. Costos de mano de obra para los refugios Carrel y Whympers

Personal (categoría)	Operario	Tiempo(h)	Costo horario	Subtotal (USD)
Ingeniero	1	800	2.81	2248
Ayudante	1	480	2.56	1228.8
Instalador	1	480	2.58	1238.4
Gasfitero	1	480	2.58	1238.4
Técnico electricista	1	160	2.58	412.8
Total				6366.4

Fuente: Autor

- **Costos de equipos y herramientas.**

Se considera para la herramienta menor el 0.5% de valor de la mano de obra, además el alquiler de otros equipos cuyo valor diario se observa en la tabla siguiente.

Tabla 67. Costos de herramientas para los refugios Carrel y Whympor

Descripción	Tiempo(día)	Costo/día	Subtotal (USD)
Herramienta menor	-	-	31.832
Generador SMDO 125 KVA	60	200	6000
Compresor de aire 185 H CFM	20	112	3360
Soldadora eléctrica	15	18	540
Total			9931.832

Fuente: Autor

- **Costos de transporte**

Estos costos representan el transporte de equipos, insumos, accesorios, transporte del personal y otros desde Riobamba hacia los refugios para la ejecución del proyecto.

Tabla 68. Costos por transporte

Descripción	Subtotal (USD)
Transporte de equipos e insumos (casa comercializadora - Riobamba)	180
Transporte de equipos, insumos y herramientas (Riobamba-refugios Chimborazo)	100
Transporte de equipos y herramientas (refugios Chimborazo-Riobamba)	100
Transporte del personal	600
Total	980

Fuente: Autor

Tabla 69. Costos directos

Descripción	Subtotal (USD)
Costos de materiales	29974.35
Costos de mano de obra	6366.40
Costos de equipos y herramientas	9931.83
Costos de transporte	980.00
Total	47252.58

Fuente: Autor

4.2.2 Costos indirectos

Se considera un 25% del total de los costos directos, para considerar como costo indirecto. Por ser una empresa pública.

Tabla 70. Costos indirectos (25%)

ÍTEM	Denominación	Porcentaje	Valor
1	Imprevistos costos directos	3.2%	1500
2	Montajes de equipos	1.7%	800
3	Secretaria	1.1%	500
4	Bodeguero	1,3%	600
5	Servicios básicos (luz, agua, telf.)	0.4%	200
6	Ingeniero residente	0%	0
7	Construcción provisionales	5.3%	2500
8	Combustible	1.1%	500
9	Seguros	7.4%	3500
10	Utilidad	3.6%	1713
Total		25%	11813.14

Fuente: Autor

4.2.3 Costo total del proyecto

El costo total del proyecto está dado por la suma de los costos directos e indirectos más el impuesto al valor agregado (IVA 12%), a continuación se presenta el costo total.

Tabla 71. Costo total del proyecto

Descripción	Subtotal (USD)
Costos directos	47252.58
Costo indirectos	11813.14
Subtotal	59065.72
12% IVA	7087.887
Total	66153.61

Fuente: Autor

El costo total para el proyecto por suelo radiante para los dos sistemas es de sesenta y seis mil ciento cincuenta y tres dólares con sesenta y un centavos.

4.3 Análisis de costos del sistema de calefacción por radiadores

Se realiza el análisis de costos directos e indirectos para la ejecución de los dos sistemas de calefacción por radiadores.

4.3.1 Costos directos

- **Costos de equipos.**

Tabla 72. Costos de equipos para el refugio Carrel

Descripción	Unidad	V. Unitario	Cantidad	V. Total
Caldera de biomasa GRV 20 AUT, Incluye quemador y accesorios	U	5826.93	1	5826.93
Radiador de aluminio DUBAL 30 (1 elemento)	U	23.22	115	2670.30
Llave micrométrica termostatizable escuadra 1/2 " para adaptador	U	10.06	16	160.99
Purgador manual metálico giratorio c/ junta 1/2"	U	1.32	16	21.05
Tapón reducción 1"a 1/2" derecha o izquierda	U	0.63	64	40.45
Reducción 1" a 1/2" Izquierda	U	0.97	32	30.96
Detentor escuadra 1/2 para adaptador	U	7.30	16	116.82
Junta 1" 40x32 de poliestireno	U	0.15	64	9.91
Soportes 1 uña	U	0.67	32	21.47
Vaso de expansion 5 CMF hidroneumático	U	35.01	1	35.01
Bomba grundfos UPS 25-40 220V.(180 mm.)	U	288.32	1	288.32
Total				9222.21

Fuente: Autor

Tabla 73. Costos de equipos para el refugio Whymper

Descripción	Unidad	V. Unitario	Cantidad	V. Total
Caldera de biomasa GRV 20 AUT, incluye quemador y accesorios	U	5826.93	1	5826.93
Radiador de aluminio DUBAL 30 (1 elemento)	U	23.22	96	2229.12
Llave micrométrica termostatizable escuadra 1/2 " para adaptador	U	10.06	12	120.74
Purgador manual metálico giratorio c/ junta 1/2"	U	1.32	12	15.79
Tapón reducción 1"a 1/2" derecha o izquierda	U	0.63	48	30.34
Reducción 1" a 1/2" Izquierda	U	0.97	24	23.22
Detentor escuadra 1/2 para adaptador	U	7.30	12	87.62
Junta 1" 40x32 de poliestireno	U	0.15	48	7.43
Soportes 1 uña	U	0.67	24	16.10
Vaso de expansion 5 CMF hidroneumático	U	35.01	1	35.01
Bomba Grundfos UPS 25-40 220V.(180 mm.)	U	288.32	1	288.32
Total				8680.62

Fuente: Autor

Tabla 74. Costos de accesorios para el refugio Carrel

Descripción	Unidad	V. Unitario	Cantidad	V. Total
Film de poliestireno expandido antivapor	U	2.84	600	1702.80
Teflón	U	0.55	4	2.20
Permatex	U	3.80	2	7.60
Tubo HIDRO 3 de 1"	U	10	22	220.00
Cañuela para tubería de Ø 1"	U	7.14	22	157.08
Válvula de bola de 1"	U	8.10	2	16.20
Codos HIDRO 3 de 1"	U	1.37	38	52.06
Tee HIDRO 3 de 1"	U	1.50	38	57.00
Universal HIDRO 3 de 1"	U	3.79	5	18.95
Unión HIDRO 3 de 1"	U	1.00	10	10.00
Total				2243.89

Fuente. Autor

Tabla 75. Costos de accesorios para el refugio Whymper

Descripción	Unidad	V. Unitario	Cantidad	V. Total
Film de poliestireno expandido antivapor	U	2.84	550	1560.90
Teflón	U	0.55	4	2.20
Permatex	U	3.80	2	7.60
Tubo HIDRO 3 de 1"	U	10	18	180.00
Cañuela para tubería de Ø 1"	U	7.14	18	128.52
Válvula de bola de 1"	U	8.10	2	16.20
Codos HIDRO 3 de 1"	U	1.37	30	41.10
Tee HIDRO 3 de 1"	U	1.50	30	45.00
Universal HIDRO 3 de 1"	U	3.79	5	18.95
Unión HIDRO 3 de 1"	U	1.00	9	9.00
Total				2009.47

Fuente: Autor

- **Costos de mano de obra.**

Tabla 76. Costos de mano de obra para los refugios Carrel y Whymper

Personal (categoría)	Operario	Tiempo(h)	Costo horario	Subtotal (USD)
Ingeniero	1	800	2.81	2248
Ayudante	1	480	2.56	1228.8
Instalador	1	480	2.58	1238.4
Gasfitero	1	480	2.58	1238.4
Técnico electricista	1	160	2.58	412.8
Total				6366.4

Fuente: Autor

- **Costos de equipos y herramientas.**

Se considera para la herramienta menor el 0.5% de valor de la mano de obra, además el alquiler de otros equipos cuyo valor diario se observa en la tabla siguiente.

Tabla 77. Costos de equipos y herramientas para los refugios Carrel y Whympen

Descripción	Tiempo(día)	Costo/día	Subtotal (USD)
Herramienta menor	-	-	31.832
Generador SMDO 125 KVA	60	200	6000
Compresor de aire 185 H CFM	20	112	3360
Soldadora eléctrica	15	18	540
Total			9931.832

Fuente: Autor

- **Costos de transporte**

Estos costos representan el transporte de equipos, insumos, accesorios, transporte del personal y otros desde Riobamba hacia los refugios para la ejecución del proyecto.

Tabla 78. Costos por transporte

Descripción	Subtotal (USD)
Transporte de equipos e insumos (casa comercializadora - Riobamba)	180
Transporte de equipos, insumos y herramientas (Riobamba-refugios Chimborazo)	100
Transporte de equipos y herramientas (refugios Chimborazo-Riobamba)	100
Transporte del personal	600
Total	980

Fuente: Autor

Tabla 79. Costos directos

Descripción	Subtotal (USD)
Costos de materiales	22156.19
Costos de mano de obra	6366.40
Costos de equipos y herramientas	9931.83
Costos de transporte	980.00
Total	39434.42

Fuente: Autor

4.3.2 Costos indirectos

Se considera un 25% del total de los costos directos, para considerar como costo indirecto. Por ser una empresa pública.

Tabla 80. Costos indirectos (25%)

ÍTEM	Denominación	Porcentaje	Valor
1	Imprevistos costos directos	2.5%	1000
2	Montajes de equipos	2.0%	800
3	Secretaria	1.3%	500
4	Bodeguero	1,5%	600
5	Servicios básicos (luz, agua, telf.)	0.5%	200
6	Ingeniero residente	0%	0
7	Construcción provisionales	4.1%	1600
8	Combustible	0.5%	200
9	Seguros	8.9%	3500
10	Utilidad	3.7%	1458.60
Total		25%	9858.60

Fuente: Autor

4.3.3 Costo total del proyecto

El costo total del proyecto está dado por la suma de los costos directos e indirectos más el impuesto al valor agregado (IVA 12%), a continuación se presenta el costo total.

Tabla 81. Costo total del proyecto

Descripción	Subtotal (USD)
Costos directos	39434.42
Costo indirectos	9858.60
Subtotal	49293.02
12% IVA	5915.16276
Total	55208.19

Fuente: Autor

El costo total para el proyecto de calefacción por radiadores para los refugios Carrel y Whymper es de cincuenta y cinco mil doscientos ocho dólares con diecinueve centavos.

4.4 Mantenimiento del sistema

El RITE, en lo que se refiere al mantenimiento de las instalaciones, establece un programa de mantenimiento preventivo de la instalación, distinguiendo para la periodicidad de las operaciones de mantenimiento entre instalaciones con potencia mayor o menor de 70 kW.

Se adjunta a continuación una tabla con las operaciones de mantenimiento, así como su periodicidad, relativas a los conductos y elementos afines de las instalaciones que aparece en el apartado ITE 08.1.3., titulado “operaciones de mantenimiento”:

Tabla 82. Mantenimiento del sistema

Operación		Frecuencia
		>70Kw
1	Comprobación y limpieza, si procede, de circuito de humos de calderas	2t
2	Comprobación y limpieza, si procede, de conductos de humos de	2t
3	Limpieza del quemador de la caldera	m
4	Revisión del vaso de expansión	m
5	Revisión de los sistemas de tratamientos de agua	m
6	Comprobación de estanqueidad de cierre entre quemador y caldera	m
7	Revisión general de la caldera de pellets	t
8	Comprobación de niveles de agua en circuitos	m
9	Comprobación de estanqueidad de circuitos de tuberías	t
10	Comprobación de estanqueidad de válvulas de interceptación	2t
11	Comprobación de tarado de elementos de seguridad	m
12	Revisión y limpieza de filtros de agua	2t
13	Revisión de los colectores	t
14	Revisión de la bomba	m

Fuente: Autor

s: una vez cada semana

m: una vez al mes, la primera al inicio de la temporada

t: una vez por temporada (año)

2 t: dos veces por temporada (año), una al inicio de la misma y otra a la mitad del período de uso, siempre que haya una diferencia mínima de 2 meses entre ambas.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La profunda revisión bibliográfica que se ha realizado proporcionó información de suma importancia para diseñar el sistema de calefacción, se tomó las recomendaciones realizadas por las empresas dedicadas a esta actividad y otras dadas en el reglamento RITE para sistemas de calefacción

Mediante el análisis en el diseño se observa que los sistemas de calefacción por radiadores, necesitan una temperatura media del agua de 80 °C y en los sistemas de calefacción por suelo radiante es suficiente una temperatura media del agua de 40 °C a 45 °C. Al trabajar con una temperatura de agua baja, se reducen las pérdidas de calor en las conducciones generales, tuberías que enlazan la fuente de calor con los circuitos, y se puede producir el agua caliente mediante cualquier fuente de calor (bomba de calor, calderas de alto rendimiento o paneles solares).

La emisión térmica por suelo radiante es uniforme, ya que toda la superficie del piso irradia calor. De este modo desaparecen las “zonas frías y calientes”, como sucede con otros sistemas de calefacción. Además se consigue un ahorro energético considerable respecto a otros sistemas tradicionales al no tener una acumulación de calor en la parte alta de los locales calefactados, se reducen considerablemente las pérdidas de calor a través del techo.

En el sistema de calefacción por radiadores, el emisor (radiador) proporciona al ambiente el calor necesario para mantener la temperatura de confort elegida. Esta emisión calorífica se basa en los principios de convección y radiación. La convección, produce una recirculación del aire en contacto con la superficie del emisor. El calor transmitido por radiación, lo hace en forma de frentes de ondas. El calor total que cede el emisor es la suma de convección y radiación.

Considerando el ecosistema del lugar se selecciona como fuente de energía una caldera de pellets que utiliza biocombustible procesado de madera seca prensada en forma de pequeños cilindros denominados pellets. La madera empleada procede de los residuos de serrerías, de industrias forestales o agroforestales siendo un combustible limpio, ecológico y económico. La desventaja de este tipo de sistemas es que no es muy conocida y empleada en nuestro país.

En la instalación de calefacción por suelo radiante el valor de la inversión es más elevado que un sistema tradicional, pero este valor es relativo, ya que depende de los materiales que se utilice para la ejecución del proyecto.

5.2 Recomendaciones

Se debe incrementar la resistencia térmica del techo para bajar la transferencia de calor por aquí. Esto se puede realizar colocando aislante térmico de poliestireno expandido con película antivapor de mayor espesor.

Las ventanas de las paredes y el tragaluz situado en el techo deben ser herméticas, para evitar infiltraciones y de ser posible colocar aislamiento térmico de poliestireno expandido con película antivapor para bajar la transferencia de calor por aquí.

En el sistema de calefacción por radiadores se recomienda utilizar sistemas bitubulares porque los radiadores funcionan todos a la misma temperatura y es más fácil que estén equilibrados. La entrada de agua se hace siempre por la parte superior y su salida por la inferior, ya que si no, habría una pérdida de potencia. Además en la entrada de agua al radiador se coloca una llave de regulación o reglaje para poder abrir o cerrar y obtener una regulación del caudal de agua que entra a los emisores (a mayor caudal, mayor potencia, y viceversa).

Se deben colocar los radiadores perfectamente nivelados e instalarse a una distancia mínima de 10 cm del suelo para facilitar la circulación del aire, sin embargo, para que nos

sea más cómoda la conexión de las tuberías, se acostumbra a ponerlos a unos 20 cm del suelo

El aislamiento térmico del sistema es imprescindible en cualquier instalación de calefacción por suelo radiante ya que minimiza las pérdidas caloríficas inferiores, lo que implica una drástica reducción del consumo energético. Además la configuración de los circuitos por suelo radiante debe ser tal que las tuberías de ida y retorno se coloquen una al lado de la otra en todos los tramos del circuito de esta manera se homogeneizara la temperatura superficial del pavimento. Para ello se recomienda el trazado en doble serpentín o en espiral.

En los sistemas de calefacción por suelo radiante se recomienda que la temperatura superficial del suelo no sobrepase los 29°C en zonas normalmente ocupadas. La caída de temperatura entre ida y retorno a través de los circuito de tuberías en sistemas por suelo radiante debe estar entre 5 y 10°C para conseguir una temperatura del suelo lo más uniforme. Los colectores deben estar localizados lo más centrados como sea posible en la edificación, para que se mantenga al mínimo la longitud de la tubería entre los colectores y las zonas individuales de calentamiento. Con esto se consigue equilibrar el sistema y mejorar el control de la temperatura.

Se debe limitar la velocidad de circulación del agua dentro de las tuberías, que no debe superar los 2 m/s para evitar ruidos. Generalmente se utilizan velocidades comprendidas entre 0,5 y 1,5 m/s.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.sistemascalefaccion.com/tipos/calefaccion-por-aire.html>
- [2] <http://www.salvadorescoda.com/tecnico/CE/Calefaccion-Electrica.pdf>
- [3] http://www.uclm.es/cr/EUPALMADEN/aaaeupa/boletin_informativo/pdf/boletines/17/9.pdf.
- [4] CONELEC.- Plan Maestro de Electrificación 2009 – 2020.
- [5] PITA, E. Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas. Compañía Editorial Continental, 1ra.ed. México: 2003 Pág. 137-165, 359.
- [6] <http://www.ocu.org/calefaccion/>
- [7] http://www.soliclima.com/calderas_de_bajo_consumo.htm
- [8] <http://www.kapelbi.com/pdf/calderas/kapelbi-calderas-pellet-ariterm.pdf>
- [9] http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portalenergia/pla_eficiencia_energetica/climatitzacio_1.es.html
- [10] <http://www.solucionespracticas.org.pe/publicaciones/pdf/calefaccionsolar.pdf>
- [11] <http://www.tubocobre.net/>
- [12] http://www.industriassaladillo.com.ar/esp/productos/saladillo_h3/index.html
- [13] <http://www.pipex.es/Documentos/Catalogos/PIPEX%20PEXA%20Catalogo%202008.pdf>.
- [14] <http://www.grundfos.com/export/sites/dk.grundfos.cbs/BGESpain/downloads>
- [15] <http://www.calordehogar.com/radiadores%20calefaccion.htm>
- [16] CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Manual de aire acondicionado, Barcelona, Marcombo S.A. 1996
- [17] http://www.uponor.es/~media/Files/Uponor/Spain/Manuales%20Tecnicos/Climatizacion%20Invisible/MT_CII_RESIDENCIAL_2011.pdf
- [18] http://www.ingenierosindustriales.com/wpcontent/uploads/2009/04/calculo_carga_termica.pdf
- [19] <http://www.construmatica.com/construpedia/RITE>
- [20] <http://www.galeon.com/sotecins/aire/ejercicios/vosexpand.pdf>
- [21] <http://www.filecluster.es/programas/CYTSoft-Psychrometric-Chart-9481.html>

- [22] http://www.clubandinoesquel.com.ar/docs/proyecto_refugios.pdf
- [23] National Fuel Gas Code, American Gas Association, NFPA 54, 1999.
- [24] OLIVERA, D. Trabajo de tesis previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico
“Diseño energético de un suelo radiante”, Pontificia Universidad Católica del
Perú, Cuzco, 2011, 11-91pp.
- [25] <http://www.castellana2mil.com/photoprom/FV021/Documentos/SRadiante2.pdf>

BIBLIOGRAFÍA

ASHRAE. Fundamentals. Madrid: Index. 2001.

CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Manual de aire acondicionado, Barcelona, Marcombo S.A. 1996.

CENGEL, Yunus, “Transferencia de calor”, Ed. Mc Graw-Hill Interamericana, Segunda edición, México, 2003.

HOLMAN, J. “Transferencia de calor”, Compañía editorial continental, s.a. de c.v. México, Decima Reimpresión, Mexico, 1999.

OLIVERA, Davy. Trabajo de tesis previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico “Diseño energético de un suelo radiante”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Cuzco, 2011.

PITA, E. Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas. Compañía Editorial Continental, 1ra.ed. México: 2003 Pág. 137-165, 359.

PERAGALLO, R. Elementos Básicos de Aire Acondicionado. Madrid: Paraninfo, S.A. 1979

VALENZUELA, R. “Apuntes de Transferencia de calor”, Docucentro, Riobamba, 2003.

LINKOGRAFÍA

SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

http://www.uponor.es/~media/Files/Uponor/Spain/Manuales%20Tecnicos/Climatizacion%20Invisible/MT_CII_RESIDENCIAL_2011.pdf

2012-09-18

EQUIPOS Y ACCESORIOS PARA CALEFACCIÓN

<http://www.salvadorescoda.com/tecnico/CE/Calefaccion.>

2012-09-18

TUBERÍA DE POLIETILENO RETICULADO

<http://www.pipex.es/Documentos/Catalogos/PIPEX%20PEXA%20Catalogo%202008.pdf>.

2012-09-18

TUBERÍA PARA CONDUCCIÓN DE AGUA CALIENTE

http://www.industriassaladillo.com.ar/esp/productos/saladillo_h3/index.html

2012-09-18