

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE INGENIERO CIVIL

SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR Y AEROTERMIA PARA SISTEMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS) Y CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE APLICADO A UNA EDIFICACIÓN DE HASTA 4 PISOS EN LA CIUDAD DE QUITO

AUTOR: DIEGO FABIÁN BORJA RIVADENEIRA

DIRECTOR: ING. ÁLVARO RIVERA

Quito, 2020

Agradecimiento

Agradecer siempre a Dios por darme salud y la fortaleza para atravesar todo obstáculo que se me ha presentado y poder salir adelante con la cabeza en alto.

Dedicatoria

El siguiente trabajo es dedicado a todas esas personas que han sido parte de mi formación tanto académica como personal. En especial a mis padres, Diego Borja E. y Silvia Rivadeneira G. quienes han sido el cimiento de mi vida.

A mi hermana Tathiana Borja R. por siempre tener los mejores consejos y ser el mejor ejemplo que alguien puede seguir.

Para ustedes

Índice de contenido

Agradecimiento 2
Dedicatoria 3
Índice de Tablas 6
Índice de Ilustraciones 7
Resumen 10
Abstract 10
1. CAPITULO 1: Introducción y Generalidades 11
1.1. Antecedentes 11
1.2. Justificación del trabajo 12
1.3. Objetivos 13
1.3.1. Objetivo General 13
1.3.2. Objetivos Específicos 13
1.4. Alcance 13
2. CAPITULO 2: Justificación Teórica 14
2.1. Sistema de suministro de agua 14
2.2. Sistema de calefacción por suelo radiante 14
2.2.1. Confort térmico 15
2.3. Sistema de calentamiento por paneles solares y aerotermia 15
2.3.1. Funcionamiento del sistema de calentamiento 17
2.4. Modelación del sistema de calefacción con el software Cype 21
2.5. Definiciones y componentes del sistema de calentamiento de agua 21
2.5.1. Altura Piezométrica 21
2.5.2. Altura de succión dinámica total (T.D.H.) 22
2.5.3. Caudal de diseño 22
2.5.4. Caudal instantáneo mínimo 22
2.5.5. Demanda 22
2.5.6. Dotación 22
2.5.7. Instalación Hidrosanitaria 22
2.5.8. Legionelosis 22
2.5.9. Paneles Solares 23
2.5.10. Perdidas de carga 23
2.5.11. Resistencia térmica 23

3. Capítulo 3: Diseño de la red de agua potable 24
3.1. Diseño Arquitectónico del Edificio 24
3.2. Descripción de los materiales 25
3.3. Diseño hidráulico 27
3.3.1. Dimensionamiento de la Cisterna 27
3.3.2. Cálculo del diámetro de la acometida del edificio 30
3.3.3. Estimación de caudales 32
3.3.4. Cálculo de Pérdidas de carga para la potencia de la bomba 35
3.4. Sistema de bombeo e Hidroneumático 42
3.4.1. Selección del tanque hidroneumático 45
4. Capítulo 4: Diseño del sistema de calefacción por suelo radiante 46
4.1. Concepto 46
4.1.1. Ventajas del sistema de Suelo radiante 48
4.2. Proceso constructivo 50
4.2.1. Proceso de la instalación de suelo radiante 52
4.3. Cálculos y Diseño 66
4.3.1. Condiciones Técnicas 66
4.3.2. Coeficientes de transmisión de calor 67
4.3.3. Bases de Cálculo 72
4.3.4. Ubicación de los colectores 73
4.3.5. Cálculo de longitudes de tubería de los circuitos 76
4.3.6. Cálculo de la temperatura de impulsión 78
4.3.7. Potencia de calefacción necesaria para la instalación 84
4.3.8. Cálculo del caudal de agua en los circuitos 85
4.3.9. Cálculo de pérdidas en los circuitos 88
4.3.10. Selección de las bombas de circulación por piso 91
4.4. Comprobación de resultados con la herramienta virtual Uponor Estimaciones 92
4.5. Estimación de materiales 94
4.6. Esquematización del sistema de Tuberías 98
5. Capítulo 5: Estimación de la generación de energía 100
5.1. Selección de paneles solares 102
5.2. Selección del tanque acumulador 103
6. Capítulo 6: Modelar el sistema de calefacción en CYPE 104

6.1. Análisis de resultados 118
6.1.1. Longitudes de tubería en circuitos 118
6.1.2. Caudales de circuitos 119
6.1.3. Pérdidas de carga en circuitos 120
7. Capítulo 7: Desinfección contra la Legionelosis 121
7.1. Métodos de desinfección 121
8. Conclusiones y Recomendaciones 122
8.1. Conclusiones 122
8.2. Recomendaciones 124
9. Bibliografía 126
10. Anexos 127
10.1. Planos de las instalaciones de agua potable 127
10.2. Planos del sistema de suelo radiante 132

Índice de Tablas

Tabla 1: número de aparatos sanitarios por planta 25
Tabla 2: Constantes para perdidas de accesorios 26
Tabla 3: Diámetro nominal interior de tuberías 27
Tabla 4: Volumen de agua para departamentos 29
Tabla 5: Volumen de agua para local comercial 29
Tabla 6: Volumen de agua para sistema contra incendios 29
Tabla 7: Unidades de gasto de diferentes aparatos. 33
Tabla 8: Caudales de la montante de agua fría 34
Tabla 9: Caudales del montante de agua caliente de distribución desde la central de agua caliente 35
Tabla 10: Caudales de la montante de agua fría a la central de agua caliente 35
Tabla 11: Cálculo de pérdidas por fricción en la montante de agua fría 37
Tabla 12: Cálculo de pérdidas por fricción en la montante de agua fría hacia la central de agua caliente 37
Tabla 13: Cálculo de pérdidas por fricción en la montante de agua caliente 37
Tabla 14: Pérdidas por piso, agua fría 39
Tabla 15: Pérdidas por piso, agua caliente 40
Tabla 16: Carga de presión en el ramal de agua fría 41
Tabla 17:Carga de presión en el ramal de agua fría a la central de agua caliente 41
Tabla 18: Carga de presión en el ramal de agua caliente de distribución desde la central de agua caliente .. 42
Tabla 48: Curva característica bomba 3 HP 45
Tabla 19: Resistencia térmica del panel aislante en función de la temperatura 58
Tabla 20: Valores de coeficiente superficial de transmisión de calor, exterior e interior 67
Tabla 21: Conductividades térmicas de diferentes materiales 68
Tabla 22: Características de los materiales en muros 69
Tabla 23: Características de los materiales en losas de entrepiso 70
Tabla 24: Características de los materiales en ventanas 71
Tabla 25: Comprobación de transmisión térmica máxima 71

Tabla 26: Densidad de flujo térmico según recintos 73
Tabla 27: Distribución de ambientes en el piso 1 y piso 2 75
Tabla 28: Distribución de ambientes en el piso 3 y piso 4 76
Tabla 29: Longitud de tubería en los circuitos en los pisos uno y dos 78
Tabla 30: Longitud de tubería en los circuitos en los pisos tres y cuatro 78
Tabla 31: Factor de espaciado de paso de tuberías 80
Tabla 32: Factor de recubrimiento 81
Tabla 33: Factor en función del diámetro exterior de la tubería 82
Tabla 34: Factor B 82
Tabla 35: Potencia necesaria para piso 1 y 2 84
Tabla 36: Potencia necesaria para piso 3 y 4 85
Tabla 37: Caudales de circuitos en los pisos 1 y 2 88
Tabla 38: Caudales de circuitos en los pisos 3 y 4 88
Tabla 39: Perdidas de carga de fricción en los circuitos de los pisos 1 y 2 91
Tabla 40: Perdidas de carga de fricción en los circuitos de los pisos 3 y 4 91
Tabla 41: Características de las bomba de calor seleccionadas 102
Tabla 42: Comparación de longitudes de tuberías de circuitos en piso 1 y 2 118
Tabla 43: Comparación de longitudes de tuberías de circuitos en piso 3 y 4 119
Tabla 44: Comparación de caudales en piso 1 y 2 119
Tabla 45: Comparación de caudales en piso 3 y 4 120
Tabla 46: Comparación de pérdidas en piso 1 y 2 120
Tabla 47: Comparación de pérdidas de pisos 3 y 4 121

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Interacumulador marca Mecalia 18
Ilustración 2: Esquema del sistema centralizado de agua caliente 19
Ilustración 3: Esquema hidráulico de la estación de transferencia 20
Ilustración 4: Dimensiones de la cisterna 30
Ilustración 5: Red de distribución 38
Ilustración 6: Suelo Radiante en la antigua roma 47
Ilustración 7: Distribución de temperatura de diferentes sistemas de calentamiento. 48
Ilustración 8: Distribución de tuberías en losa 49
Ilustración 9: Sistema de suelo radiante – Auto fijación 50
Ilustración 10: Sistema de suelo radiante – Difusores 51
Ilustración 11: Sistema de suelo radiante – Paneles aislantes con tetones 51
Ilustración 12: Trazado de tuberías en suelo radiante 52
Ilustración 13: Corte del sistema de suelo radiante con panel aislante portatubos 52
Ilustración 14: Colector Uponor. Modelo Vario Plus 54
Ilustración 15: Ubicación de las válvulas de entrada y salida 55
Ilustración 16: Colocación del film antihumedad 56
Ilustración 17: Banda perimetral o zócalo perimetral 57
Ilustración 18: Resistencia térmica del panel aislante 58
Ilustración 19: Características Técnicas panel Uponor 19mm 59
Ilustración 20: Características Técnicas panel Uponor 34mm 59
Ilustración 21: Panel aislante con tetones 59
Ilustración 22: Colocación de la tubería de suelo radiante 61
Ilustración 23: Junta de dilatación en marco de puerta 62

Ilustración 24: Colocación de la capa de mortero 63
Ilustración 25: Colocación del pavimento 64
Ilustración 26: Regulación temperatura de impulsión 65
Ilustración 27: Regulación temperatura de ambiente 65
Ilustración 28: Límites máximos de los coeficientes de transmisión de calor de los cerramientos 68
Ilustración 29: Composición de muros de fachada 69
Ilustración 30: Composición de la losa de piso 70
Ilustración 31: Ubicación del colector en los pisos uno y dos 74
Ilustración 32: Ubicación del colector en los pisos tres y cuatro 75
Ilustración 33: División de las áreas se suelo radiante piso 1 y 2 77
Ilustración 34: División de las áreas se suelo radiante piso 3y 4 77
Ilustración 35: Concepto de las resistencias ascendentes y descendentes 86
Ilustración 36: Diagrama de Moody 90
Ilustración 37: Uponor Fluvia Move grupo impulsión PPG-30-A-W 92
Ilustración 38: Resultados con Uponor Estimaciones del piso 1 y 2 93
Ilustración 39: Resultados con Uponor Estimaciones del piso 3 y 4 94
Ilustración 40: Uponor Vario M colector con caudalímetro FM 95
Ilustración 41: Curvatubos 95
Ilustración 42: Multi film antihumedad Uponor 96
Ilustración 43: Uponor Minitec zócalo adhesivo 96
Ilustración 44: Panel Nubos 1450x850x19 97
Ilustración 45: Tubería 16x2 mm 98
Ilustración 46: División de áreas para suelo radiante en piso 1 y 2 99
Ilustración 47: División de áreas para suelo radiante en piso 3 y 4 99
Ilustración 48: Trazado de los circuitos del piso 1 y 2 99
Ilustración 49: Trazado de los circuitos del piso 3 y 4 99
Ilustración 50: Vista inicial de Cype 104
Ilustración 51: Vista del módulo MEP 104
Ilustración 52: Selección del lugar de la instalación 105
Ilustración 53: Importación de planos 105
Ilustración 54: Plantas del edificio 106
Ilustración 55: Importación de las plantas de cada piso 107
Ilustración 56: Losa de cimentación 107
Ilustración 57: Losa entre pisos 107
Ilustración 58: Muros exteriores 108
Ilustración 59: Muros interiores 108
Ilustración 60: Planta 1 y 2 109
Ilustración 61: Plantas 3 y 4 109
Ilustración 62: Revestimiento del suelo en el recinto 110
Ilustración 63: Definición de la instalación de suelo radiante 110
Ilustración 64: Áreas de circuitos en piso 1 y 2 111
Ilustración 65: Trazado de los circuitos en piso 1 y 2 111
Ilustración 66: Áreas de circuitos en piso 3 y 4 111
Ilustración 67: Trazado de los circuitos en piso 3 y 4 111
Ilustración 68: Cuadro de colectores 112
Ilustración 69: Pestaña del sistema de climatización de suelo radiante 112
Ilustración 70: Sistema de suelo radiante en piso 1 y 2 113
Ilustración 71: Sistema de suelo radiante en piso 3 y 4 113
Ilustración 72: Ventana para escoger el tipo de bomba de calor 114

Ilustración 73: Conexión desde la bomba de calor hacia los montantes 114
Ilustración 74: Conexión desde montantes hacia colector piso 1 y 2 115
Ilustración 75: Conexión desde montantes hacia colector piso 3 y 4 115
Ilustración 76: Error en el modelamiento 116
Ilustración 77: Especificaciones bomba de calor de 22,1 kW 116
Ilustración 78: Ventana para editar circuitos 117
Ilustración 79: Vista final del modelo piso 1 y 2 117
Ilustración 80: Vista final del modelo piso 3 y 4 117

Resumen

Dentro de la ingeniería civil siempre se busca alternativas las cuales impliquen un mejor proceso en construcción, ayude a las tareas o que involucre un costo menor de obra y para los usuarios de la edificación. Dentro del área de instalaciones sanitarias, el calentamiento del agua es un sistema en el cual, se debe usar una fuente de energía externa, que puede ser tradicionalmente con gas, energía eléctrica u otros, lo que implica un gasto considerable para las personas que hagan uso de las instalaciones. En este sentido, se propone el uso de bombas de calor y paneles solares, los cuales no necesitan de una fuente de energía como las mencionadas previamente, ya que, las primeras usan el calor del ambiente que implican bajo consumo de energía para producir agua caliente, mientras que, los paneles solares operan también gracias a la radiación del sol para el calentamiento del agua para el sistema hidráulico de la edificación abasteciendo a los diferentes aparatos sanitarios. Este sistema de calentamiento además de sus beneficios en construcción como en operación, así mismo proporciona un beneficio ambiental, puesto que, al funcionar con una fuente de energía renovable, contribuye en la reducción de la contaminación del medio ambiente y del cambio climático, siendo una fuente de energía limpia a largo plazo.

Adicionalmente, uno de los sistemas que se constituye dentro las edificaciones y son parte importante para el confort de los usuarios, es el sistema de calefacción de ambientes, sin embargo, consume grandes cantidades de energía, dependiendo de la fuente de energía que se utilice. Este sistema también tiene diferentes opciones de fuentes de energía, que al momento de la instalación pueden ser discriminadas por el costo que implica. En este contexto, se aborda además la alternativa de calefacción por suelo radiante, la cual genera un nivel de confort superior frente a los sistemas convencionales, gracias a que su fuente de energía consiste en agua que circula por la red de tuberías que así mismo pueden ser económica y ambientalmente beneficioso.

Abstract

Within civil engineering, alternatives are always sought which imply a better construction process, help the tasks within the construction or that involve a lower cost of work and for the users of the building. Within the area of sanitary facilities, water heating is a system in which an external energy source must be used, which can be traditionally with gas, electricity or others, which implies a considerable expense for people who do use of facilities. In this sense, the use of heat pumps and solar panels is proposed, which do not need an energy source such as those mentioned previously, since the former use the heat of the environment that implies low energy consumption to produce hot water While the solar panels also operate thanks to the sun's radiation to heat the water for the building's hydraulic system, supplying the different sanitary devices. This heating system, in addition

to its benefits in construction and in operation, also provides an environmental benefit, since, by operating with a renewable energy source, it contributes to the reduction of environmental pollution and climate change, being a long-term clean energy source.

Additionally, one of the systems that is constituted inside the buildings and is an important part for the comfort of the users, is the space heating system, however, it consumes large amounts of energy, depending on the energy source used. This system also has different options of energy sources, which at the time of installation can be discriminated by the cost involved. In this context, the alternative of underfloor heating is also addressed, which generates a higher level of comfort compared to conventional systems, thanks to the fact that its energy source consists of water that circulates through the network of pipes that can also be economically and environmentally beneficial.

1. CAPITULO 1: Introducción y Generalidades

1.1. Antecedentes

Con el pasar de las décadas, la humanidad ha tenido acceso a innovaciones en varias índoles, entre ellos en el sector de la construcción. Diferentes técnicas, métodos, tecnologías han estado a la vanguardia para las viviendas, que mejoren las condiciones de vida de las personas y que además impliquen un ahorro monetario.

En los últimos años se ha ido innovando la industria de la construcción en todos sus aspectos, desde lo estructural hasta el diseño de interiores. En el aspecto de instalaciones sanitarias las innovaciones, si se considera desde hace 20 años, han sido abundantes, las cuales incluyen desde los materiales como tuberías y accesorios los cuales son diseñados molecularmente para asegurar un mejor funcionamiento en un sistema de red de agua, e incluso avances de los equipos mecánicos como las bombas de impulsión.

Dentro de los avances en sistemas de agua potable y equipos que los constituyen se encuentran las fuentes de energía para la red de agua caliente sanitaria (ACS). En el mercado actual existen diferentes equipos para este propósito, dos de los cuales se abordan en el presente estudio, los cuales son bombas de calor y paneles solares.

Se tiene conocimiento que los primeros indicios del uso de energía solar para el aprovechamiento humano en la historia fueron realizados por los griegos y romanos, alrededor del siglo III antes de cristo, en donde por medio de los rayos del sol producían fuego y con la ayuda de un recipiente el cual reflejaba los rayos del sol y se apuntaban hacia las antorchas que se usaban en rituales religiosos. Asimismo, se tienen datos históricos de que Arquímedes aprovecho esta fuente de energía para atacar a los navíos romanos, y por su lado, Leonardo Da Vinci experimento con espejos cóncavos que reflejaban los rayos del sol, pero sin tener ninguna aplicación práctica.

A inicios del Siglo XX, junto con la Revolución Industrial se consiguió producir vapor y calor para la aplicación en la industria. Estos experimentos fueron los que dieron el

impulso para el aprovechamiento de la energía solar térmica, que se derivarían en diferentes aplicaciones como los ya mencionados paneles o placas solares. (Abele, 2019)

"Desde hace una década, la energía solar térmica se convirtió en actualidad. Con las normativas que obligaban a determinadas edificaciones a instalar placas que permitiesen aprovechar la energía solar, su uso ha ido en aumento. No obstante, la crisis y los pocos recursos destinados a la investigación y desarrollo de este sector han impedido que se aprovechase todo su potencial." (Abele, 2019)

Uno de los principales indicios de confort en una vivienda es la temperatura en la cual esta se encuentra, tanto frío como calor. Quito es una ciudad conocida por los diferentes cambios de temperatura a lo largo del día, sin embargo, se tiene en cuenta que la temperatura puede llegar a bajar considerablemente, sobre todo en las noches e inclusive en sectores específicos, por lo que se analiza la instalación de un sistema de calefacción denominado suelo radiante.

1.2. Justificación del trabajo

En la última década la preocupación por un mejor planeta para el futuro ha llevado a que los líderes mundiales establezcan los *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*, y Ecuador está comprometido con estos, los cuales tienen como fin el erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad de todas las personas, lo que se implementa en la Agenda de Desarrollo Sostenible al 2030. Los *ODS* son 17, de los cuales 3 de ellos tienen relación al uso eficiente de los recursos, energía y conciencia por el cambio climático, los cuales son el siete (Energía Asequible y no Contaminante), 12 (Producción y consumo responsables) y 13 (Acción por el clima).

En la construcción se ha logrado innovar en metodologías, técnicas de construcción y materiales usados, que además de ayudar a la industria con tiempos y facilidad en la construcción, tienen una conciencia sobre el medio ambiente, en todo el proceso desde el diseño, construcción y acabados, lo que contribuye al logro de las metas de los ODS.

En el sistema hidráulico, el sistema de calentamiento de agua para edificaciones en el Ecuador se ha visto afectado por el cambio que se está dando de sistemas de calentamiento con calefones a gas a sistemas de calentamiento electrico u otros sistemas alternativos. Dentro de estos sistemas alternativos se encuentra el sistema por medio de paneles solares, los cuales conllevan a un beneficio con el medio ambiente, ya que su fuente de energia es la radiacion solar y que la aprovecha para el o los sitemas que necesiten agua caliente en la edificacion. En relación al costo, este sistema no requiere de una fuente de energía que implique un costo extra, como puede ser tanque de gas o una alimentación eléctrica.

El sistema de suelo radiante para calefacción implica muchas ventajas en relacion a otros sistemas de calefacción convencionales como sistemas con radiadores. Se puede obtener ventajas como la temperatura que emana cada sistema son diferentes, el consumo

de energía es considerablemente menor y se tiene la principal ventaja que la calefacción emana desde el suelo lo cual implica un confort adicional

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar, esquematizar y modelar el sistema de calefacción en una edificación de hasta 4 pisos en la ciudad de Quito, por medio de paneles solares ayudado con bomba de calor, aplicado al sistema de agua caliente sanitaria y sistema de calefacción por suelo radiante y desinfección térmica.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Definir la arquitectura del edificio
- Realizar el diseño del sistema hidráulico del edificio en relación a las normativas del Ecuador.
- Realizar el diseño del sistema de calefacción por suelo radiante basándose en la normativa española RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios).
- Establecer las medidas necesarias para la prevención de la legionelosis.
- Modelar el sistema de calefacción en el programa español de construcciones Cype.

1.4. Alcance

La presente disertación conlleva un carácter teórico, puesto que se pretende realizar el diseño del sistema de calefacción por medio de un sistema de bombas de calor en conjunto con un sistema de paneles solares. Se pretende usar estos sistemas de calentamiento tanto en el sistema de agua caliente sanitaria (ACS),sistema de calefacción por suelo radiante de la edificación y desinfeccion contra legionelosis en el edificio.

Se analizará el sistema de calentamiento por bombas de calor y paneles solares para el uso previsto en los dos sistemas que requieren de agua caliente, comprobando que esta opción es idoneo para abastecer las necesidades de toda la instalacion.

Se presentará de forma sistemática las características de los materiales a utilizar, las combinaciones de diseño, ecuaciones de diseño y lineamientos teóricos que servirán de base para el desarrollo de la Ingeniería de Detalle en lo que es referente al diseño de Agua Caliente Sanitaria y suelo radiante, todo de conformidad con las especificaciones, estándares, normas y reglamentos vigentes que apliquen en cada caso.

La arquitectura del edificio que se usará para realizar el diseño de los diferentes sistemas, estará compuesta por seis niveles desde la planta baja hasta la terraza, incluyendo 4 niveles con departamentos.

2. CAPITULO 2: Justificación Teórica

2.1. Sistema de suministro de agua

El suministro de agua a los puntos de consumo (aparatos sanitarios) en las diferentes estancias y pisos de la edificación será provisto directamente por la red pública de la ciudad, usando la presión del sistema de la red pública de agua potable, con ayuda de un sistema de bombas ubicado en el subsuelo. Se debe previamente haber definido la arquitectura de la edificación para trazar sobre ella el recorrido que tendrán las tuberías para abastecer a todos los aparatos sanitarios. También se deben tomar en cuenta los criterios de cálculo de instalaciones hidrosanitarias, que incluyen:

- Presión de agua de la red pública, en el punto de acometida.
- Altura estática del edificio, la cual se debe vencer por la presión de la red pública, o con la ayuda de una bomba centrifuga. Esta altura deberá ser calculada desde la profundidad de la acometida hasta el punto más desfavorable de la edificación.
- Perdida de carga en toda la longitud de la tubería. La cual puede ser por longitud de tubería propiamente dicha o por accesorios. Las pérdidas por longitud o también llamadas por fricción será calculado por las ecuaciones de HAZEN Y WILLIAMS.

(Ortiz, 2004)

2.2. Sistema de calefacción por suelo radiante

Suelo radiante o también conocido como losa radiante, es un sistema de calefacción el cual, gracias a sus características especiales y a sus beneficios es uno de los sistemas más efectivos y que proporcionan un nivel alto de confort a los usuarios, esto es debido a que, el calor emanado desde el suelo, brinda un mayor confort, a diferencia de sistemas convencionales que el calor proviene desde otros puntos.

Este sistema consiste en una red de tubería plástica de polietileno reticulado o polibutileno, que es por donde circula agua caliente de una red cerrada a una temperatura entre 30º C y 45º C la cual es impulsada por bomba, un sistema con radiador emana temperatura a 70°C, por tanto, ya implica un ahorro en energía. La red es instalada sobre la losa de hormigón armado o deck (dependiendo del diseño estructural) y sobre este se funde una pequeña capa de hormigón de baja resistencia autonivelante y con el tipo de terminado de piso deseado, como piso flotante de madera, cerámica, etc.

El funcionamiento de este sistema comienza con el principio de “En invierno pies calientes y cabeza fría” por lo cual se puede comprender que con suelo radiante se tiene un confort adicional al que proporciona un sistema tradicional de calefacción, ya que a la altura de los pies la temperatura es levemente mayor a la altura de la cabeza.

(Rivas, 2019)

2.2.1. Confort térmico

Este principio está directamente relacionado con la sensación térmica propia del cuerpo que sienta el ser humano en cierto ambiente particular. Dicha sensación o también conocido como equilibrio térmico depende de varios factores, como la actividad que se esté realizando, la indumentaria, y los aspectos ambientales, como temperatura del aire, velocidad del aire, humedad y de las condiciones térmicas en donde se encuentre. La norma ISO 7730, "Ergonomía del ambiente térmico," establece que el confort térmico "es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico."

(UNE - Normalización española , 2006)

Para llegar al equilibrio térmico se debe llegar a un balance en el cual las pérdidas y ganancias de calor lleguen a ser nulas, logrando con esto conservar la temperatura de nuestro cuerpo. En un ambiente en donde se puede percibir sensación de frío se requiere de un sistema el cual suministre energía calórica al ambiente. (Uponor Hispania, S.A.U., 2015)

Por esta razón se debe conocer los datos climáticos de la zona en la cual se va a realizar la instalación del sistema, con el fin de garantizar un confort térmico para las personas que residan en la edificación. Los datos a conocer son:

- Latitud (grados)
- Altitud sobre el nivel del mar
- Temperatura en verano
- Oscilación media anual de temperatura
- Temperatura en invierno
- Humedad relativa
- Velocidad del viento

Los datos mencionados se los obtendrá del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, de la estación hidrometerológica más cercana al sector del edificio.

2.3. Sistema de calentamiento por paneles solares y aerotermia

Esta energía producida por el sistema de bomba de calor y paneles puede ser aprovechada para diferentes usos en diferentes áreas, pero uno de los más usuales es el de producir ASC (agua caliente sanitaria) en el sector de la vivienda o edificaciones de uso público, no obstante, se puede usar para el calentamiento de agua para piscinas o para el sistema de suelo radiante (calefacción).

Los paneles solares son más beneficiosos en el calentamiento en los días soleados, teniendo la ventaja de que esta fuente de energía es gratuita, los días u horas remanentes o durante las noches se debe usar otro sistema de calentamiento de agua, como bombas de calor.

No se puede estimar exactamente el aprovechamiento de la radiación solar con los días más calurosos o con los días más fríos, por este motivo, para el diseño se calcula con un medio ponderado para todos los días del año. Se debe tomar en cuenta que, si la necesidad del calentamiento por bomba de calor es bastante, este incrementaría el costo. (Remica, 2018)

Pese a que el uso de paneles solares conviene a todo el sistema, no es una fuente de energía la cual pueda proveer de agua caliente a toda la edificación en todo momento, sobre todo en las noches o días nublados, como es común en el clima de la ciudad de Quito, razón por la cual no existiera fuente de calor para este mecanismo, que es la radiación solar. Por este motivo se debe implementar en conjunto otra fuente de energía que trabaje junto con los paneles solares. Como explicado previamente se implementará bombas de calor las cuales usan el principio de la aerotermia, el cual según investigaciones puede extraer hasta un 70% de la energía del ambiente.

El principio de funcionamiento de la aerotermia es transferir la energía ambiental contenida en la temperatura del aire hacia el agua que circula dentro de la bomba de calor. Una de las principales ventajas de este sistema de calentamiento de agua es que produce mayor energía a la que consume, el porcentaje de consumo depende principalmente de la calidad de los equipos y de su fabricante.

Adicionalmente a esto este sistema está clasificado dentro de Unión Europea como un sistema sostenible y como una fuente de energía renovable. Igualmente, su funcionamiento no depende de combustión, lo que resulta en no generar residuos ni contaminantes. Además de que una de las principales ventajas de esta fuente de energía es que está diseñada para su uso tanto para generar agua caliente sanitaria, como para su uso en calefacción por suelo radiante. (Toshiba , 2020)

El funcionamiento del sistema con bomba de calor y paneles solares está conformado por tres partes principales:

1. Captación: varios paneles solares captan energía solar en conjunto con la energía producida por las bombas de calor.

El funcionamiento consiste de placas metálicas negras que, con la radiación solar aumenta la temperatura, estas placas se colocan dentro de una caja de vidrio el cual hace una “trampa de radiación solar”. El siguiente paso es lograr el paso del agua por el interior de la caja o cajas, la cual circula dentro de un recorrido de tubería que asegura la exposición del agua al calor.

Dependiendo de la radiación solar en el momento de la exposición al calor, por medio de válvulas controladas por termostatos, se determina si la temperatura proveniente de los

paneles solares es suficiente, caso contrario el agua se calienta de igual forma con las bombas de calor.

2. Acumulación

Este sistema ayuda a suplir a la demanda de la edificación, el cual consiste en depósitos o tanques de agua caliente.

3. Distribución

La distribución consiste en un sistema compuesto por tuberías, bombas, elementos de regulación y seguridad, etc. Que trasladará el agua calentada al sistema en el cual se va a usar, sea para ACS o calefacción, etc.

2.3.1. Funcionamiento del sistema de calentamiento

La generación de agua caliente con la fuente de energía, como explicada anteriormente, tanto de agua caliente sanitaria (ACS) como del sistema de calefacción por suelo radiante, provendrá del uso de paneles solares en conjunto con bombas de calor, la cual permanecerá dentro de un circuito cerrado en dos columnas o montantes de agua que empezará su recorrido desde la generación (ubicada en el techo o cubierta del edificio) hasta el nivel más bajo donde se requiera agua caliente, en este caso hasta la planta baja.

A continuación de la generación, el sistema se ayuda de un interacumulador, el cual cuenta con un acumulador de agua caliente en espiral integrado, el cual envuelve a un tanque interno para la acumulación de agua caliente. El principal uso de este aparato es el de aprovechar al máximo el agua caliente generada, ya que, en el caso de no haber una generación constante, este aparato almacena la energía captada por los campos de colectores. La selección del interacumulador dependerá de la demanda agua que la edificación requiera y de la fuente de agua caliente.



Ilustración 1: Interacumulador marca Mecalia

Desde el interacumulador se lleva el agua caliente hacia un circuito cerrado, también conocido como sistema de calefacción centralizada o sistema de inercia. Para transferir la energía desde la generación hacia la red de agua y el sistema de calentamiento se requiere de estaciones de transferencia en cada piso que necesite agua caliente, ubicando cerca del colector para suelo radiante o se puede encontrar todo el sistema en conjunto con ACS, incorporado en un solo cajón.

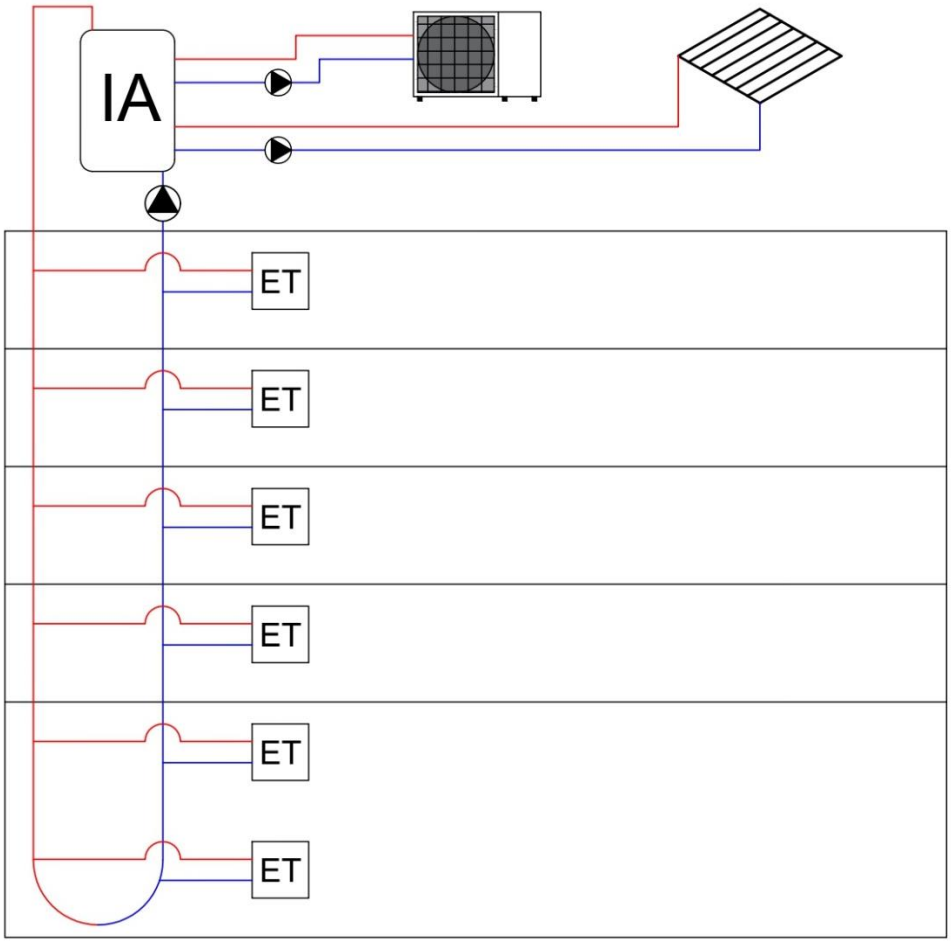


Ilustración 2: Esquema del sistema centralizado de agua caliente

Las estaciones de transferencia son diseñadas exclusivamente para este tipo de instalaciones que requieren los dos sistemas de calentamiento de agua. Tienen la función de transferir el calor del agua desde la red centralizada de agua caliente hacia cada departamento o ambiente. Cada estación tiene incorporada dos intercambiadores de calor para cada sistema que requiere agua caliente, la cual permite calentar el agua de la red de agua y suelo radiante, sin la necesidad de distribuir directamente desde la fuente de energía, permitiendo así que el circuito centralizado de agua caliente sea un circuito cerrado.

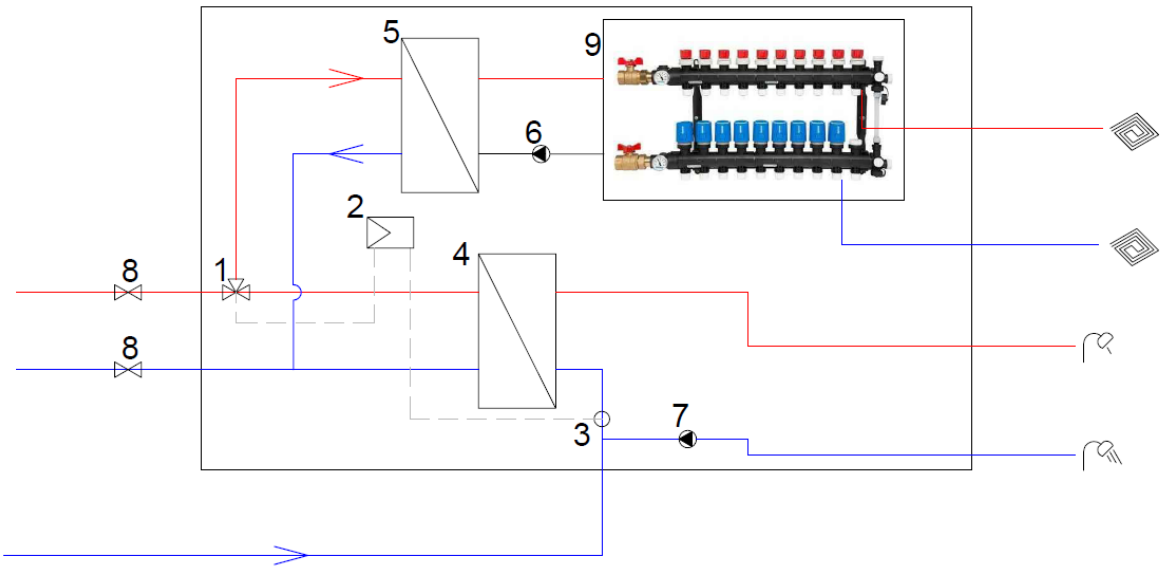


Ilustración 3: Esquema hidráulico de la estación de transferencia

Componentes:

1. Válvula de tres vías entre producción de ACS y suelo radiante
2. Regulador electrónico
3. Presostato, cierra o abre el circuito eléctrico en el regulador hacia la válvula de tres vías
4. Intercambiador ACS
5. Intercambiador calefacción
6. Bomba desde la calefacción
7. Bomba desde ACS
8. Válvulas de corte circuito primario
9. Colector

(Caleffi S.p.A. - Hydronic Solutions , 2019)

Al ser un sistema de calentamiento con un circuito cerrado, se debe hacer el llenado del sistema el cual se lo realiza una vez instalado tanto las tuberías de los montantes como los dispositivos de calentamiento, y asegurar una correcta purificación de aire.

Por este circuito cerrado circula una solución de agua con un compuesto químico llamado *glicol*, el cual el porcentaje de mezcla depende de la temperatura de la zona en donde se encuentre la edificación, para la ciudad de Quito en donde la temperatura oscila los 14°C se considera que un 15% de glicol en la mezcla es ideal para este sistema.

El uso de este químico es principalmente debido a que posee un rango de temperaturas más extenso que el del agua. El glicol llega a la temperatura de ebullición a los 197°C y congelación a los -12,9°C. Es propicio usar esta mezcla en el circuito de calentamiento ya que al elevar el punto de ebullición se minimiza la posibilidad de corrosión por

calentamiento en las tuberías. Adicionalmente, como el fluido puede tolerar temperaturas menores, el calentador no necesita funcionar con tanta frecuencia, resultando en mayor rentabilidad. Asimismo, se tiene protección frente al congelamiento.

2.4. Modelación del sistema de calefacción con el software Cype

Cype es un software desarrollado en España que empezó en 1983. Cype incluye módulos específicos para Arquitectura, Ingeniería y Construcción especializados en edificaciones urbanas, tanto de vivienda, oficinas, hasta hospitales o centros comerciales. Sus módulos incluyen ingeniería estructural, MEP (instalaciones mecánicas, eléctricas y plomería), HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), gestión de proyectos y documentación, adicional a esto incluye tecnología BIM (Building Information Modeling) que permite integrar los diferentes módulos del software y modelar todos los aspectos constructivos de la construcción.

(Amella Iglesias, 2016)

Para el ejemplo de diseño que se realizará en esta disertación se usará el módulo correspondiente al sistema de calefacción por suelo radiante, es decir el módulo MEP. Este módulo incluye:

- Estudio térmico de la edificación
- Estudio acústico
- Incendio
- Salubridad
- Climatización
- Solar térmica
- Gas
- Pararrayos
- Iluminación
- Electricidad
- Telecomunicaciones

La sección de diseño de sistemas de calefacción incluye tanto los materiales como elementos que complementan la instalación, dando una estimación aproximadamente real a lo que se requiere colocar en el sistema. Adicionalmente, el software tiene integrado generadores de precios, con marcas designadas específicamente para cada tipo de modelado que se desee realizar.

2.5. Definiciones y componentes del sistema de calentamiento de agua

2.5.1. Altura Piezométrica

Altura piezométrica, nivel piezométrico, cabezal hidráulico o carga hidráulica es una medida la cual se determinada desde el punto donde el líquido ingresa hasta la altura que alcance el líquido que circule por una red de tuberías, dependiendo de las ramificaciones de la red

tanto en sentido horizontal como vertical. La medición es expresada en unidades de longitud. (Giles, 1991)

2.5.2. Altura de succión dinámica total (T.D.H.)

Se define como: *"la suma de la altura de succión estática, más las pérdidas por fricción en tuberías, accesorios y carga de velocidad $v^2/2g$."* (Pérez Carmona R. , 2010)

Esta altura es calculada con el fin de determinar, por medio de la formula la potencia requerida de la bomba para que el sistema trabaje en óptimas condiciones.

2.5.3. Caudal de diseño

"Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, redes y estructuras de un proyecto determinado" (EMPRESA METROPOLITANA DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE, 2009)

2.5.4. Caudal instantáneo mínimo

"*Caudal mínimo que un aparato sanitario se le debe suministrar para que pueda funcionar de manera correcta y en un estado óptimo"* (Construmática, 2018)

2.5.5. Demanda

"La demanda de agua estimada corresponde a la cantidad o volumen de agua usado por los sectores económicos y la población. Considera el volumen de agua que se almacena de los sistemas hídricos y que limita otros usos; contempla el volumen utilizado como materia prima, como insumo y el retornado a los sistemas hídricos." (Sistema de Información Ambiental de Colombia, 2016)

2.5.6. Dotación

"Cantidad de agua asignada, en los estudios de planeamiento y diseño de sistemas de agua potable, a un habitante para cubrir su consumo; se expresa en términos de litro por habitante por día" (EMPRESA METROPOLITANA DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE, 2009)

2.5.7. Instalación Hidrosanitaria

"*Conjunto de tuberías de abastecimiento y distribución de agua, equipos de tratamiento, válvulas, accesorios, etc. Así como tuberías de desagüe y ventilación, que se encuentran dentro del límite de propiedad del edificio."* (Ortiz, 2004)

2.5.8. Legionelosis

La legionelosis, enfermedad causada por la bacteria *Legionela*, con nombre científico *Legionella pneumophilia*, la OMS la describe como una enfermedad la cual produce problemas respiratorios, que pueden ir desde leves padecimientos en conjunto con fiebre, hasta llegar a tipos mortales de neumonía.

Se describió sobre esta enfermedad por primera vez en Estados Unidos, después de que, en una convención, con más de 4000 personas que asistieron, cerca de 220 de estos hayan sido diagnosticados con neumonía y cerca de 30 fallecieran posteriormente.

A nivel mundial esta enfermedad es más comúnmente transmitida mediante agua, su supervivencia en aire es corta. Ya sea en ríos, lagos, e incluso agua potable si esta no es tratada correctamente. Es por esto que se recomienda realizar una desinfección térmica correspondiente al sistema de suministro de agua en redes de agua potable.

La Legionela se desarrolla en agua la cual se encuentra entre temperaturas de 20°C a 50°C, por debajo de este intervalo se mantiene existente sin reproducirse, sin embargo, si el agua en la cual se encuentra supera los 60°C, esta muere, por lo que una desinfección térmica en las redes del sistema de agua es capaz de eliminar esta bacteria de las redes de agua.

(Organización Mundial de la Salud, 2019)

(Hernández, 1999)

2.5.9. Paneles Solares

"También conocidos como colectores, captadores solares o más comúnmente como placas solares, aprovechan la radiación solar y la transforman a energía térmica." (Remica, 2018)

2.5.10. Perdidas de carga

"Es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce." (MOLECOR, 2018)

2.5.11. Resistencia térmica

La resistencia térmica se define como la capacidad del material de oponerse al flujo de temperatura generado por una fuente externa, esta puede ser calor o frío, depende principalmente de la forma, material y homogeneidad del objeto. En el caso de materiales homogéneos la resistencia térmica es la relación entre el espesor del material u objeto y su conductividad térmica, por el contrario, en el caso de materiales heterogéneos la resistencia térmica depende de una medida llamada *conductancia térmica,* $\boldsymbol{C}$, que se define científicamente como la cantidad de calor que emana por cierto tiempo en una superficie unitaria (1 m^2).

- Materiales homogéneos

$$R_H = \frac{e}{K} \qquad (1)$$

Donde:

R_H = resistencia térmica, $m^{2\circ}C/W$

e = espesor del material, m

K = conductividad térmica, $W/m^{\circ}C$

- Materiales no homogéneos

$$R_{NH} = \frac{1}{C} \qquad (2)$$

Donde:

R_{NH} = resistencia térmica, $m^2°C/W$

$\boldsymbol{C}$ = conductancia térmica, $W/\ m\text{^}2\ °C$

(Faires & Simmang, 1983)

3. Capítulo 3: Diseño de la red de agua potable

3.1. Diseño Arquitectónico del Edificio

El edifico que se usará como ejemplo para el diseño de la red de agua potable está ubicado en la ciudad de Quito, Ecuador, en el sector del Pinar Alto, ubicado al Noroeste de la ciudad.

La arquitectura consistirá de un total de siete plantas, incluyendo un subsuelo, planta baja, cuatro pisos de departamentos y una terraza.
En el subsuelo estarán ubicados parqueaderos, dos por cada departamento, ocho en total, con una bodega de almacenamiento para cada departamento, igualmente en el subsuelo se encontrará la cisterna y el cuarto de bombas que serán parte del sistema de agua potable.
En la planta baja se encuentra el vestíbulo, un gimnasio equipado con máquinas de entrenamiento, con dos baños, uno para hombres y otro para mujeres, igualmente un local comercial con un baño.
Desde la segunda planta hasta la quinta planta se ubican los departamentos, uno por piso, de aproximadamente 215 m^2, de dos diseños arquitectónicos diferentes.
En la última planta se encuentra la terraza con una zona de parrilla, la oficina de administración, una terraza accesible y los equipos de calefacción, paneles solares y bomba de calor, ubicados un nivel más arriba en la cubierta.

Para el diseño de la red de agua potable se necesita conocer los aparatos sanitarios que usarán este servicio como duchas, lavamanos, inodoros, etc. y contabilizar cada aparto sanitario, y con esto poder determinar el suministro de agua, el sistema de bombeo del edificio, el área de paneles solares y la potencia que la bomba de calor necesaria para que en conjunto puedan proveer agua potable y agua caliente a todo el edificio.

La selección del número de aparatos que se instalará en cada ambiente del edificio depende del uso que se tenga previsto, tanto en las áreas comunales como en las privadas, así se tiene que para cada departamento se prevé tener dos baños completos (ducha, lavamanos e inodoro) y un medio baño o baño de visitas (lavamanos e inodoro), para la terraza que se planea será zona comunal con sala de reuniones y área de parrilla que contará con un baño, y una oficina para el administrador del edificio, en total se contará con dos medios baños y dos lavaplatos. De igual manera en la planta baja se cuenta con un medio baño para el

guardia, en el gimnasio un medio baño para el personal y baños equipados con duchas, individuales para cada género, para la cafetería se cuenta con un medio baño y un lavaplatos. Se enlistará los aparatos sanitarios que usarán agua potable en la siguiente tabla:

Planta	Toma de agua	Lavamanos	Lavaplatos	Inodoros	Duchas	Urinario	Lavadora de ropa
Subsuelo	1						
Planta Baja		7	1	7	2	2	
Piso 1 y 2		3	1	3	2		1
Piso 3 y 4		3	1	3	2		1
Terraza		2	1	2			

Tabla 1: número de aparatos sanitarios por planta

3.2. Descripción de los materiales

En la industria de la construcción con el propósito de contar con los mejores resultados y que proporcione el mejor funcionamiento posible, siempre se busca mejores alternativas, así los mejores materiales que contribuyan positivamente al desempeño de la construcción o instalación.

De acuerdo con esto se busca las alternativas para la especialidad de instalaciones sanitarias, y dentro de este campo se encuentran diferentes marcas tanto nacionales como internacionales que cada una tiene diferentes propiedades y beneficios que se pueden considerar al momento de escoger con cual se obtiene los mejores beneficios y desempeño.

Con respecto a la instalación del edificio a diseñarse se considerará la marca *UPONOR*, con sede en Finlandia, que ofrece al mercado materiales para el suministro de agua potable, calefacción y refrigeración radiante. Dentro de los sistemas de instalaciones hidráulicas, en las dos redes, de agua caliente y fría, Uponor presenta una amplia gama de materiales especialmente diseñados para este campo de la construcción.

Las tuberías de Uponor denominadas *Aqua Pipe* están compuestas de polietileno reticulado, lo que indica que las propiedades de sus enlaces químicos hagan a la estructura del material imposible de disolver o fundir. La estructura igualmente posee ventajas constructivas como que no se ven afectadas por los sistemas constructivos en donde se instala, como es el hormigón y los aditivos usados para el mismo.

Las tuberías y el sistema de accesorios de la marca Uponor se fabrican con las siguientes normativas:

- UNE EN ISO 15875-2 para tubos de polietileno reticulado (PEX)
- UNE EN ISO 15875-3 para accesorios.

(Uponor Hispania, S.A.U., 2015)

Con respecto al diseño hidráulico y el cálculo necesario para el dimensionamiento de los diámetros y del sistema de bombeo, se necesita calcular las pérdidas del sistema de tuberías, para lo cual se necesita saber las propiedades hidráulicas de la tubería y de los accesorios, específicamente se debe conocer el coeficiente de fricción usado en el cálculo de pérdidas con la fórmula de Hazen-Williams y conjuntamente las constantes K de los accesorios para calcular las pérdidas que ocasionan.

- Coeficiente de fricción de tuberías

$$C = 140$$

- Constantes K de accesorios

Las constantes se tomarán del libro *Mecánica de Fluidos e Hidráulica* del autor Ranald V. Giles.

$$hm = K * \frac{V^2}{2g} \qquad (3)$$

Donde:

- $hm =$ pérdida de carga
- $V =$ velocidad
- $g =$ gravedad

Accesorio	Constante	Constante asumida
Codo 90°	0,75 – 1,20	1,00
Te Directa	0,50 – 0,75	0,70
Te Derivada	1,50 – 2,50	2,50
Válvula de compuerta (abierta)	Aprox. 0,25	0,20
Válvula de control (abierta)	Aprox. 3,25	3,50
Salida de tanque	1,5	1,50

Tabla 2: Constantes para perdidas de accesorios

De la misma manera se especificará los diámetros nominales que la marca ofrece, que comercialmente se tiene desde los 16 mm hasta los 110 mm, sin embargo, para realizar el cálculo se empleará los valores de los diámetros nominales internos.

Pulgadas	Diam. Exterior (mm)	Espesor (mm)	Diam. Interior (mm)
1/2”	16	1,80	12,40
3/4”	20	1,90	16,20
1”	25	2,30	20,40
1 ¼”	32	2,90	26,20
1 ½”	40	3,70	32,60
2”	50	4,60	40,80
2 ½”	63	5,80	51,40
3”	75	6,80	61,40
4”	110	10,00	90,00

Tabla 3: Diámetro nominal interior de tuberías

(Giles, 1991)

3.3. Diseño hidráulico

La red de distribución de agua potable debe diseñarse para que, en condiciones normales de operación, provea de *caudal, presión y diámetro en edificaciones*, con el fin de que los aparatos sanitarios cumplan con un correcto desempeño. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011).

Con el objetivo de diseñar la red de agua potable en la edificación descrita se empleará un sistema indirecto de abastecimiento de agua el cual consistirá de una cisterna, un sistema de bombas centrifugas, un tanque almacenamiento y el sistema de red de tuberías que se distribuirá por todo el edificio, todo en conjunto con el sistema de calentamiento que sea necesario, en este caso se tiene previsto implementar un sistema de paneles solares y bomba de calor.

3.3.1. Dimensionamiento de la Cisterna

En el documento “*Reglas técnicas de Arquitectura y urbanismo”,* dentro del inciso 3 indica que: “*toda edificación de una altura mayor a cuatro pisos está obligada a incluir dentro de las instalaciones de agua potable, cisternas con capacidad para abastecimiento de un día y el equipo hidroneumático para la distribución de caudales”.* (Reglas técnicas de Arquitectura y Urbanizmo, 2018)

La cisterna de una edificación es una estructura ubicada generalmente al nivel del subsuelo de la misma, la cual su principal función es recolectar y almacenar agua potable, misma que en el momento en que los usuarios del edificio requieran un mayor suministro, estos lo tengan a su disposición. La cisterna o también conocido como tanque bajo es un sistema utilizado para uso en edificaciones multifamiliares, centros comerciales, oficinas e

industrias, ya que se puede disponer de un mayor volumen de agua. El suministro de este sistema es con equipos de presión, precisamente bombas centrifugas y un tanque hidroacumulador, que posteriormente se realizará el cálculo de la potencia requerida. Actualmente este sistema con cisterna es el más eficiente y más usado.

Para el cálculo del volumen que requerirá la cisterna de la edificación es necesario tomar en cuenta el cien por ciento del consumo que se plantea para el edificio, por lo cual se considerará los usos, tanto de los diferentes ambientes, así como de los equipos y aparatos sanitarios, contemplando la dotación. Se estimará con tres parámetros: uso de los usuarios de los departamentos, áreas públicas como es la cafetería y el volumen necesario para el uso en equipos contra incendios.

- Departamentos

Se tiene un total de cuatro departamentos con capacidad de hasta 4 personas por departamento, lo cual nos da un total de 16 personas que se abastezcan del suministro de agua. Las mismas personas que habitan en los departamentos se contemplará que son las mismas que usarán los espacios comunales, es decir la terraza y el gimnasio.

Según la tabla 16.2 (Dotaciones para edificaciones de uso específico) de la norma NEC 16 (Hidrosanitaria), la dotación para bloques de vivienda se debe considerar entre 200 y 350 L/hab/día. Se tomará una dotación de 250 L/hab/día.

- Locales comerciales

La dotación, según la NEC 16, para bares, cafeterías y restaurantes se estima en función del área útil del establecimiento. Este valor varía entre 40 y 60 $L/m^2_{área}/día$, se tomará una dotación de 50 $L/m^2_{área}/día$.

- Sistema Contra incendios

Para calcular el volumen de agua requerido en la cisterna para el sistema contra incendios se debe considerar el tipo de sistema, que puede ser con cajetín contra incendios o rociadores, lo cual determinará el caudal necesario que los dispositivos necesiten. Igualmente se exige que la duración de operación sea de sesenta minutos. Para edificios de vivienda se usa gabinetes contra incendios con manguera, que requiere de un caudal de 100 gal/min.

Cálculos

- Volumen de agua para departamentos

Plantas edificio.	u	1 SUBS.+ 5 P. ALTAS
Departamentos:	u	4

Personas Departamentos:	hab	16
Dotación	l/día/hab	250
Consumo/día Departamentos	lt.	4000
Volumen consumo/día	m3	4,00

Tabla 4: Volumen de agua para departamentos

- Volumen de agua para local comercial

Local Comercial	m2	33,25
Dotación locales	l/m2/día	50,00
Consumo/día Locales	lt.	1662,50
Consumo total edificio	lt.	5662,50
Consumo total edificio m3	m3	5,66

Tabla 5: Volumen de agua para local comercial

- Volumen de agua para sistema contra incendios

Caudal incendios	GPM	100,00
Tiempo de duración	min.	30,00
Volumen Incendios	m3	11,36

Tabla 6: Volumen de agua para sistema contra incendios

- Dimensiones

Volumen total de la cisterna

$$4\ m^3 + 5.66\ m^3 + 11{,}36\ m^3 = 21{,}02\ \boldsymbol{m^3}$$

Se tomará $22{,}00\ m^3$

Se adoptará la altura del nivel de agua en la cisterna de dos metros, con lo que se obtiene un área de $11{,}00\ m^2$.

Las dimensiones de la cisterna serán de $4{,}50\ m\ x\ 2{,}50\ m$ que resulta en un área de $11{,}25\ m^2$, cumpliendo con el cálculo ejecutado.

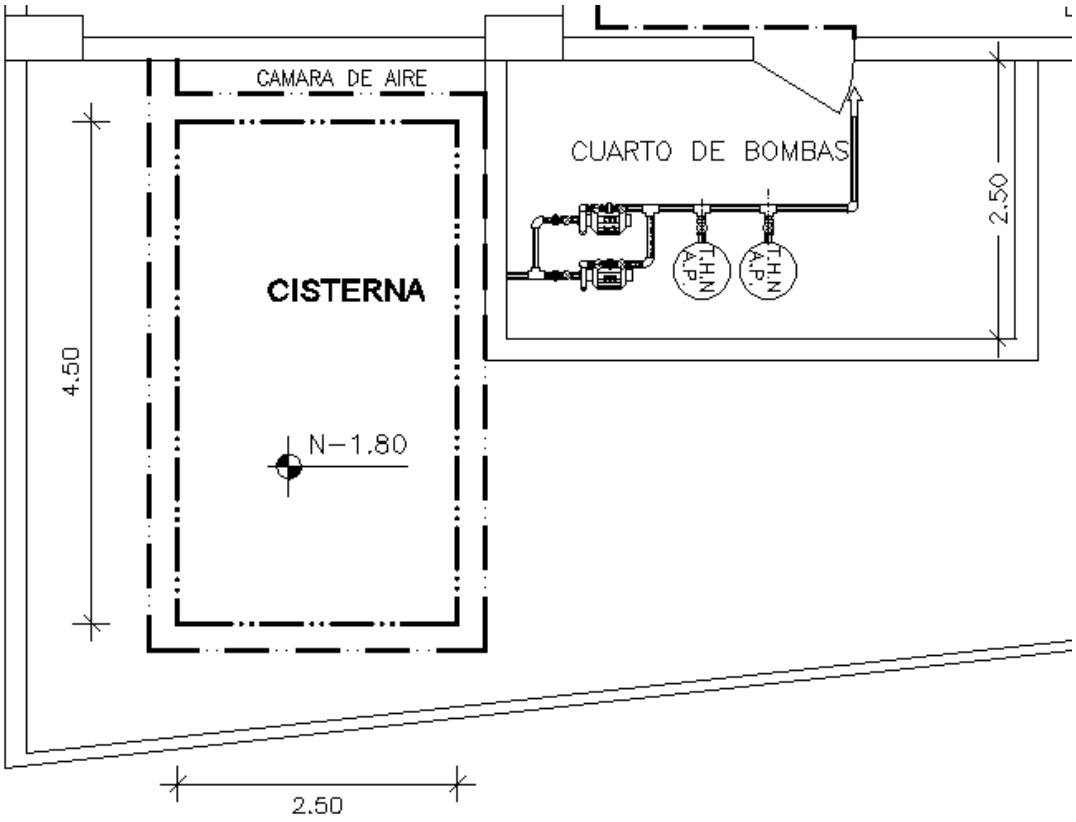


Ilustración 4: Dimensiones de la cisterna y detalle cuarto de bombas

3.3.2. Cálculo del diámetro de la acometida del edificio

La acometida es el conjunto de elementos y accesorios que conforman la conexión entre el sistema de abastecimiento de agua pública por medio de una derivación de la tubería hacia la instalación de la edificación.

Una acometida está compuesta principalmente por cuatro elementos que son el collarín, tubería de la acometida, la llave de paso general y la tubería de suministro al sistema del inmueble.

Para el diseño de la tubería de agua potable se toma en cuenta el volumen de agua de la cisterna que corresponde al consumo, es decir excluyendo la cantidad de agua para el sistema contra incendios, además se considera el tiempo de llenado que según la norma debe ser entre cuatro horas y tres horas, por lo que se realizará el cálculo para ambos tiempos.

La tubería a utilizarse para la acometida será de material PVC

La velocidad de flujo, según la norma NEC 16 debe estar en el orden de 1.5 m/s, de modo que se supondrá 2 m/s

- Llenado en cuatro horas

$$Volumen\ cisterna/día = 5.66\ m^3 = 5662.50\ lt$$

$$Tiempo\ de\ llenado = 4\ horas = 240\ minutos$$

$$Caudal\ de\ llenado = \frac{5662.50\ lt}{240\ min * 60\ seg} = 0.393\frac{lt}{s}$$

$$Velocidad\ de\ acometida = 2\ \frac{m}{s}$$

Diámetro de la acometida

$$\mathrm{D_a} = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \frac{Q}{V}} \qquad (4)$$

$$\mathrm{D_a} = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \frac{0.393\frac{lt}{s} * 1000\frac{m^3}{lt}}{2\ \frac{m}{s}}}$$

$$\underline{Diámetro\ de\ la\ acometida = 15.82\ mm}$$

- Llenado en tres horas

$$Volumen\ cisterna/día = 5.66\ m^3 = 5662.50\ lt$$

$$Tiempo\ de\ llenado = 3\ horas = 180\ minutos$$

$$Caudal\ de\ llenado = \frac{5662.50\ lt}{180\ min * 60\ seg} = 0.524\frac{lt}{s}$$

$$Velocidad\ de\ acometida = 2\ \frac{m}{s}$$

Diámetro de la acometida

$$\mathrm{D_a} = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \frac{Q}{V}}$$

$$\mathrm{D_a} = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \frac{0.524\frac{lt}{s} * 1000\frac{m^3}{lt}}{2\ \frac{m}{s}}}$$

$$\underline{Diámetro\ de\ la\ acometida = 18.27\ mm}$$

Con tres horas y cuatro horas de llenado el diámetro de la tubería debe ser $15.82\ mm$ y $18.27\ mm$, respectivamente, comercialmente el diámetro de tubería que satisface los requerimientos tiene un diámetro de $18.75\ mm$ o $3/4\ pulg$.

3.3.3. Estimación de caudales

Cada aparato sanitario en una edificación opera con un caudal de suministro que depende principalmente del tipo de aparato, modelo y de la presión disponible que llegue al mismo. Dependiendo de cada fabricante se puede encontrar estos valores en los diferentes catálogos, conocidos como Unidades de Gasto, sin embargo, se han establecido diferentes valores de diseño que se pueden encontrar en tablas (Tabla 2). Con la ayuda de estos valores considerando cada aparato sanitario por ambiente en la edificación se procederá a la estimación de los caudales y presiones.

Aparato Sanitario	Tipo	Unidades de Gasto		
		Agua fría	**Agua caliente**	**Total**
Inodoro	Con tanque (descarga reducida)	1.5		1.5
Inodoro	Con tanque	3		3
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática	6		6
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática (descarga reducida)	3		3
Bidé		1		1
Lavamanos		0.5	0.5	1
Lavaplatos		1	1	2
Ducha		1	1	2
Tina		1	1	2
Urinario	Con tanque	3		3
Urinario	Con válvula semiautomática y automática	5		5

Urinario	Con válvula semiautomática y automática (descarga reducida)	2.5		2.5
Urinario	Múltiple	3		3
Lavadora de ropa		1	1	2

Tabla 7: Unidades de gasto de diferentes aparatos.
Fuente: VI SEREA

Con el fin de diseñar los diámetros de la red de tubería se debe calcular el caudal con las unidades de gasto que los diferentes aparatos requieren, esto se realiza con el método de Roy Hunter expuesto en el año 1932 en Estados Unidos, el cual determina el gasto/caudal probable dependiendo del número de unidades de gasto de los aparatos sanitarios, para lo cual en nuestro diseño se considerará por cada piso. El gasto probable se puede encontrar en tablas previamente elaboradas, sin embargo, para conseguir mayor precisión en los cálculos se usará la formula desarrollada por Hunter:

$$Q_p = 0.12057 * q^{0.67394} \qquad (5)$$

Donde:

$Q_P =$ Caudal probable, m^3/s

$q =$ número de unidades de gasto

Se considerará que no todos los aparatos están operando conjuntamente, lo cual diferirá el caudal diseño que se debe tomar.

El *caudal máximo posible*, es la condición que sucede cuando todos los aparatos estén funcionando al mismo tiempo, la misma que se considera como improbable de suceder, por lo tanto, no se emplea para los diseños. El *caudal máximo probable,* el cual su nombre sugiere, es la probabilidad de que todos los aparatos estén funcionando. Se ha intentado determinar el valor del mismo para diferentes diseños, pero por lo general los resultados tienden a cambiar, en consecuencia, para lo cual se utilizará el método probabilístico de Roy Hunter. (Pérez Carmona R. , 2010)

La determinación de caudales se lleva a cabo con el objetivo de realizar el cálculo de pérdidas en la red de tuberías y posteriormente determinar los diámetros y la potencia de bomba necesaria para que el sistema funcione correctamente.

Primeramente, en el análisis se considera el tipo de instalación que se va a realizar, considerado conjuntamente con el sistema de calentamiento. En este sentido, con el fin de

realizar el diseño planteado con un sistema de calentamiento con paneles solares y bomba de calor, como explicado en la sección 2.3.1. Se debe considerar la configuración que el sistema necesita para funcionar. El sistema planteado requiere de tres montantes de agua para el correcto funcionamiento, el primero, de agua fría el cual distribuye desde la cisterna directamente a los departamentos, el segundo en conjunto con el tercero corresponde a los montantes de agua caliente del circuito cerrado, ambos montantes conforman una red cerrada, que con la ayuda de las estaciones de transferencia distribuyen el agua caliente hacia los diferentes pisos de la edificación. De la misma forma se considera una cuarta columna de agua la cual es uso exclusivo del sistema contra incendios, sin embargo, no se considerará el cálculo del mismo ya que es un sistema distinto al sistema hidráulico, con su propio sistema de bombeo.

En primer lugar, se debe contabilizar las unidades de gasto de los aparatos sanitarios por planta, en conjunto con la altura de cada piso, y utilizando la formula expuesta por el método Hunter podemos encontrar el caudal que se necesita distribuir a cada planta.

- Montante de agua fría

En fin, de estimar los caudales para el montante de agua fría se contabilizará únicamente las unidades de gasto de agua fría de cada aparato sanitario, en relación a la Tabla 5.

PLANTA	PISO	NIVEL	UG	UG	CAUDAL
			C / PISO	ACUMUL.	l/s
TERRAZA	16,20	18,00	8	8,0	0,49
DPTO 4	13,20	15,00	14,5	22,5	0,98
DPTO 3	10,20	12,00	14,5	37,0	1,37
DPTO 2	7,20	9,00	14,5	51,5	1,72
DPTO 1	4,20	6,00	14,5	66,0	2,03
PB	1,20	3,00	33,5	99,5	2,68
SUBSUELO	-1,80	0,00	1	100,5	2,70

Tabla 8: Caudales de la montante de agua fría

- Montante de agua caliente de distribución desde la central de agua caliente

En cuanto a el montante de distribución de agua caliente se debe considerar que el mayor caudal se ubica en el lugar de la instalación del sistema de calentamiento, lo cual se debe considerar para el cálculo de los caudales que posteriormente se distribuirá a cada piso.

PLANTA	PISO	NIVEL	UG	UG	CAUDAL
			C / PISO	ACUMUL.	l/s
TERRAZA	16,20	18,00	3	31,5	1,23
DPTO 4	13,20	15,00	5,5	28,5	1,15
DPTO 3	10,20	12,00	5,5	23,0	1,00
DPTO 2	7,20	9,00	5,5	17,5	0,83
DPTO 1	4,20	6,00	5,5	12,0	0,64

PB	1,20	3,00	7	6,5	0,43
SUBSUELO	-1,80	0,00	0	0,0	0,00

Tabla 9: Caudales del montante de agua caliente de distribución desde la central de agua caliente

- Montante de agua fría a la central de agua caliente

Con respecto a dicho montante se considera un solo caudal que sube directamente hacia el sistema de calentamiento, debido a que este caudal no se distribuye hacia los niveles de la edificación, no obstante, las unidades de gasto que se emplearán para el cálculo son la suma de todas las unidades de gasto del edificio solamente para agua caliente, puesto que el caudal que se distribuya hacia sistema de calentamiento debe ser el mismo que posteriormente se dirigirá hacia los aparatos sanitarios.

PLANTA	PISO	NIVEL	UG	UG	CAUDAL
			C / PISO	ACUMUL.	l/s
TERRAZA	16,20	18,00	0	32	1,23
DPTO 4	13,20	15,00	0	32	1,23
DPTO 3	10,20	12,00	0	32	1,23
DPTO 2	7,20	9,00	0	32	1,23
DPTO 1	4,20	6,00	0	32	1,23
PB	1,20	3,00	0	32	1,23
SUBSUELO	-1,80	0,00	0	32	1,23

Tabla 10: Caudales de la montante de agua fría a la central de agua caliente

3.3.4. Cálculo de Pérdidas de carga para la potencia de la bomba

Las pérdidas en la red de tuberías se obtienen principalmente de dos cálculos, las perdidas por fricción en los tramos de tubería y las pérdidas menores ocasionadas por los accesorios, como son codos, tés, válvulas, etc.

3.3.4.1. Pérdidas por Fricción en los montantes de agua

Las pérdidas por fricción se determinan mediante fórmulas empíricas, una de las más usadas es la de *Hazen y Williams*, la cual tiene menos limitaciones en comparación a otras fórmulas o métodos. Tales diferencias son que se puede aplicar para diámetros internos de tubería mayor a 2 pulgadas (2.54 cm), agua a cualquier temperatura, a condición de que la viscosidad no varié mayormente. La forma se expresa como:

$$Q = 0.28 * C * D^{2.63} * J^{0.54} \quad (6)$$

$$V = 0.355 * C * D^{2.63} * J^{0.54} \quad (7)$$

Donde:

Q = caudal, m^3/s

$V =$ velocidad del fluido, m/s

$C =$ coeficiente de fricción, depende del material de la tubería

$D =$ diámetro interno de la sección de tubería, m

$J =$ Pérdida de carga, m/m

De esta fórmula podemos despejar la pérdida de carga

$$J = \left(\frac{Q}{0.28 * C * D^{2.63}}\right)^{1.85} \quad (8)$$

Previamente definimos el coeficiente de fricción que depende del material, que es de **140**, por lo que la ecuación queda como:

$$J = \left(\frac{Q}{39.2 * D^{2.63}}\right)^{1.85} \quad (9)$$

Para cálculos del diseño de la red de tuberías las perdidas generalmente se expresan en metros de columna de agua, para conocer la perdida de presión en el sistema, por lo que:

$$J = \frac{hf}{L} \quad (10)$$

Donde:

$hf =$ pérdida de carga, m.c.a.

$L =$ Longitud, m

Por lo que tenemos:

$$hf = \left(\frac{Q}{39.2 * D^{2.63}}\right)^{1.85} * L \quad (11)$$

Con estas fórmulas proseguimos con el cálculo de las pérdidas de fricción, utilizándolas con el caudal previamente calculado con el método de Hunter.

El cálculo consiste en asumir diámetros que dependen de la tubería a utilizar, los cuales ya fueron definidos previamente, con lo cual se debe verificar dos aspectos para que el sistema trabaje de la mejor manera posible, primeramente, se debe considerar la velocidad a la que el agua va a fluir, debido a que si es alta o demasiado baja puede provocar incomodidad y des confort al provocar ruidos en la red, problemas con golpe de ariete o molestar al no tener la debida presión en el sistema. La norma ecuatoriana NEC indica que la velocidad debe situarse en valores entre 0.6 m/s y 2.5 m/s, no obstante, se considera una velocidad

optima 1.2 m/s. Segundo, se recomienda que la gradiente en el cálculo $\boldsymbol{J}$ se encuentre cerca de $0{,}2\ m/m$.

- Montante de agua fría

PLANTA	CAUDAL	DIAMETRO	VELOCIDAD	LONGITUD	GRADIENTE	PERDIDA	PERDIDA
	l/s	mm	m/s	m	m/m	m	ACUMUL.
TERRAZA	0,49	20,40	1,50	3,00	0,13	0,38	0,38
DPTO 4	0,98	26,20	1,82	3,00	0,14	0,41	0,79
DPTO 3	1,37	32,60	1,65	3,00	0,09	0,26	1,05
DPTO 2	1,72	32,20	2,11	3,00	0,14	0,42	1,47
DPTO 1	2,03	32,60	2,43	3,00	0,18	0,55	2,02
PB	2,68	40,80	2,05	3,00	0,10	0,30	2,32
SUBSUELO	2,70	40,80	2,06	10,00	0,10	1,01	3,33

Tabla 11: Cálculo de pérdidas por fricción en la montante de agua fría

- Montante de agua fría a la central de agua caliente

PLANTA	CAUDAL	DIAMETRO	VELOCIDAD	LONGITUD	GRADIENTE	PERDIDA	PERDIDA
	l/s	mm	m/s	m	m/m	m	ACUMUL.
TERRAZA	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	0,61
DPTO 4	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	1,23
DPTO 3	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	1,84
DPTO 2	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	2,45
DPTO 1	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	3,07
PB	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	3,68
SUBSUELO	1,21	26,20	2,24	10,00	0,20	2,04	5,72

Tabla 12: Cálculo de pérdidas por fricción en la montante de agua fría hacia la central de agua caliente

- Montante de agua caliente de distribución desde la central de agua caliente

PLANTA	CAUDAL	DIAMETRO	VELOCIDAD	LONGITUD	GRADIENTE	PERDIDA	PERDIDA
	l/s	mm	m/s	m	m/m	m	ACUMUL.
TERRAZA	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	2,84
DPTO 4	1,15	26,20	2,14	3,00	0,19	0,56	2,23
DPTO 3	1,00	26,20	1,85	3,00	0,14	0,42	1,67
DPTO 2	0,83	26,20	1,54	3,00	0,10	0,29	1,25
DPTO 1	0,64	20,40	1,97	3,00	0,22	0,65	0,95
PB	0,43	20,20	1,33	3,00	0,10	0,30	0,30
SUBSUELO	0,00	16,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 13: Cálculo de pérdidas por fricción en la montante de agua caliente

3.3.4.2. Pérdidas por fricción y menores en las redes internas de los departamentos

La red de tuberías para la distribución de agua se debe trazar de forma que sea lo más directo posible y con la menor cantidad de accesorios que se pueda, desde el montante hacía los aparatos, con la finalidad de que existan menos perdidas, tanto por fricción como por pérdidas menores.

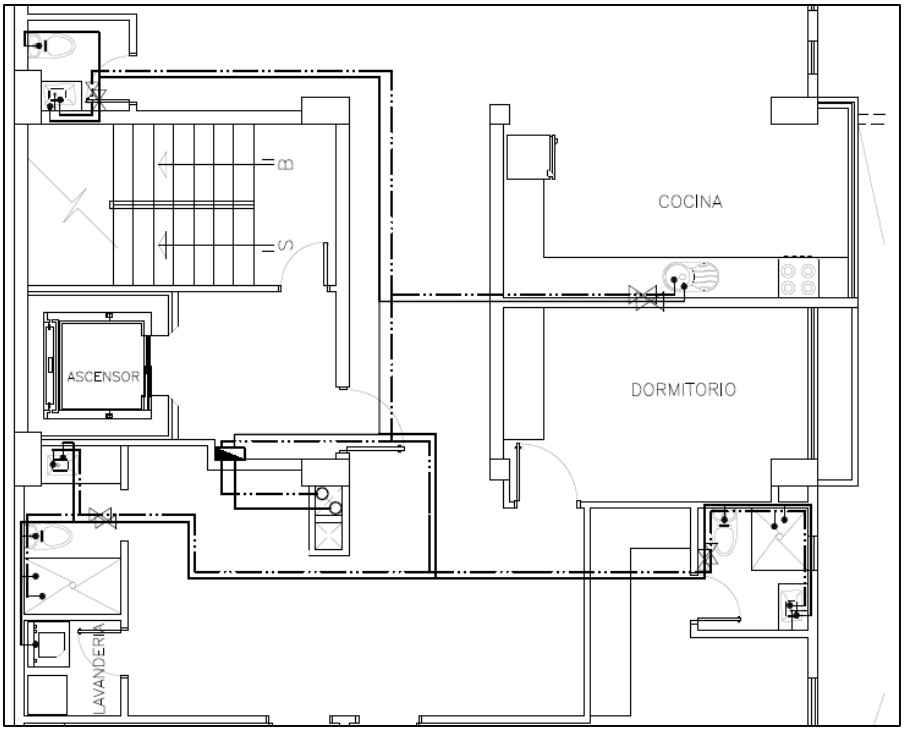


Ilustración 5: Red de distribución

Para contabilizar las pérdidas de carga en los tramos de cada departamento tomaremos en cuenta que la potencia de la bomba debe ser suficiente para que la distribución de agua llegue a los puntos más críticos de la red. Por lo que se considerará para las pérdidas el tramo el cual tenga el aparato sanitario más alejado y la mayor carga de unidades de gasto desde el montante, contabilizando así tanto las unidades de gasto que concurran por este tramo, la longitud para las pérdidas de fricción y sumando las constantes de cada accesorio en el tramo.

Como se estipuló en la sección *3.2. Descripción de materiales*, cada accesorio en el ramal produce pérdidas de presión y que, dependiendo del fabricante y material, se puede determinar estas pérdidas, uno de los métodos consiste en que el fabricante, por medio de experimentaciones determina las constantes características de cada accesorio, que se multiplica por la fórmula de la carga de velocidad, $\frac{V^2}{2g}$, obteniendo las pérdidas ocasionadas por los accesorios. Este método también es aplicable sumando los valores de las constantes en los tramos a considerar.

$$hm = K * \frac{V^2}{2g}$$

$$K = K_1 + K_2 + K_3 + \cdots K_n \qquad (12)$$

Se contabilizará las pérdidas del tramo más crítico en cada piso de la edificación, tomando en cuenta donde se divide y contabilizando las pérdidas que se generen en estas divisiones,

tanto por la carga de unidades de gasto, así como por los accesorios. Por lo que se realizará el cálculo en la red de agua fría y agua caliente. Se usará los datos para contabilizar junto con las pérdidas de los montantes principales, de esta manera se obtendrá el análisis de pérdidas en la red más preciso, con el fin de determinar los diámetros de la red y la potencia de la bomba.

- Red de agua Fría

TRAMO	UG-AF	LONGITUD	CAUDAL	DIAMETRO	VELOCIDAD	GRADIENTE	PERDIDA	K	PERDIDA	PERDIDA	PERDIDA
		m	L/S	mm	m/s	m/m	m		LOCAL (m)	TOTAL (m)	ACUMUL (m)
AGUA FRIA PLANTA N:+16,20, TERRAZA											
A-B	3,50	4,30	0,28	16,20	1,36	0,16	0,67	2,9	0,27	0,94	0,94
B-C	7,00	3,72	0,45	20,40	1,37	0,12	0,45	2,5	0,24	0,69	1,63
C-M	8,00	1,03	0,49	20,40	1,50	0,14	0,15	1	0,11	0,26	1,89
AGUA FRIA PLANTA N:+13,20, DPTO: 3 y 4											
A-B	4,50	5,80	0,33	16,20	1,61	0,21	1,23	5,9	0,78	2,02	2,02
B-C	10,00	5,32	0,57	20,40	1,74	0,19	1,00	3,2	0,49	1,49	3,51
C-D	13,50	0,64	0,70	26,20	1,29	0,08	0,05	0,7	0,06	0,11	3,62
D-M	14,50	2,32	0,73	26,20	1,36	0,09	0,20	1	0,09	0,30	3,92
AGUA FRIA PLANTA N:+07,20, DPTO: 1 y 2											
A-B	5,00	2,62	0,36	16,20	1,73	0,24	0,64	2,7	0,41	1,05	1,05
B-C	5,50	6,27	0,38	16,20	1,85	0,27	1,71	4,9	0,85	2,56	3,61
C-D	10,00	3,00	0,57	20,40	1,74	0,19	0,56	1,7	0,26	0,83	4,44
D-E	14,50	2,36	0,73	26,20	1,36	0,09	0,21	1	0,09	0,30	4,74
AGUA FRIA PLANTA N:+01,20, PLANTA BAJA											
A-B	7,00	8,23	0,45	20,40	1,37	0,12	0,99	2,9	0,28	1,27	1,27
B-C	14,00	2,35	0,71	20,40	2,18	0,29	0,67	2,7	0,66	1,33	2,59
C-D	22,00	5,74	0,97	26,20	1,80	0,15	0,85	5,4	0,89	1,74	4,33
D-M	25,50	5,74	1,07	26,20	1,98	0,18	1,02	6,2	1,24	2,27	6,60
AGUA FRIA PLANTA N:-1.80, SUBSUELO											
A-B	1,00	2,00	0,12	12,40	1,00	0,12	0,24	2	0,10	0,34	0,34

Tabla 14: Pérdidas por piso, agua fría

- Red de agua Caliente

TRAMO	UG-AF	LONGITUD	CAUDAL	DIAMETRO	VELOCIDAD	GRADIENTE	PERDIDA	K	PERDIDA	PERDIDA	PERDIDA

		m	L/S	mm	m/s	m/m	m		LOCAL (m)	TOTAL (m)	ACUMUL (m)
AGUA CALIENTE PLANTA N:+16,20, TERRAZA											
A-B	0,50	4,30	0,08	12,40	0,63	0,04	0,19	2,9	0,06	0,25	0,25
B-C	1,00	3,72	0,12	12,40	1,00	0,11	0,39	2,5	0,13	0,52	0,77
C-M	2,00	1,03	0,19	12,40	1,59	0,25	0,26	1	0,13	0,39	1,15
AGUA CALIENTE PLANTA N:+13,20, DPTO: 3 y 4											
A-B	1,50	5,80	0,16	12,40	1,31	0,17	1,01	5,9	0,52	1,53	1,53
B-C	4,00	5,32	0,31	16,20	1,49	0,16	0,86	3,2	0,36	1,22	2,75
C-D	4,50	0,64	0,33	16,20	1,61	0,19	0,12	0,7	0,09	0,21	2,97
D-E	5,50	2,32	0,38	16,20	1,85	0,24	0,56	1	0,17	0,73	3,70
AGUA CALIENTE PLANTA N:+07,20, DPTO: 1 y 2											
A-B	2,50	2,62	0,22	16,20	1,08	0,09	0,24	2,7	0,16	0,40	0,40
B-C	3,00	6,27	0,25	16,20	1,23	0,11	0,71	4,9	0,38	1,08	1,48
C-D	4,50	3,00	0,33	16,20	1,61	0,19	0,56	1,7	0,23	0,79	2,27
D-E	5,50	2,36	0,38	16,20	1,85	0,24	0,57	1	0,17	0,74	3,01
AGUA CALIENTE PLANTA N:+01,20, PLANTA BAJA											
A-B	1,00	6,23	0,12	12,40	1,00	0,11	0,66	4,7	0,24	0,90	0,90
B-C	2,00	2,35	0,19	12,40	1,59	0,25	0,59	2,9	0,38	0,96	1,86
C-D	4,00	5,48	0,31	16,20	1,49	0,16	0,89	5,4	0,61	1,50	3,35
D-M	4,50	5,74	0,33	16,20	1,61	0,19	1,08	5,2	0,69	1,76	5,12

Tabla 15: Pérdidas por piso, agua caliente

El dimensionamiento de las tuberías que no comprenden dentro de los tramos más desfavorables en cada piso se omitirá de colocarlo, mostrando los diámetros en cada tramo de la instalación directamente en los planos adjuntos en la sección de anexos.

3.3.4.3. Pérdidas totales en lo montantes

Usando estos datos en el cálculo del montante, se tendrá el total de pérdidas de carga que se necesita para determinar la potencia de la bomba.

Así mismo la normativa considera que se debe implementar una carga de *6 metros de columna de agua* adicional a las perdidas previamente calculadas, con el objetivo de asegurar un mejor funcionamiento. Se tomará en cuenta 10 metros en lugar de 6, para tener mayor seguridad.

Una vez calculadas las diferentes perdidas y teniendo en cuenta los criterios de diseño, previamente descritos, la presión que se encuentra en el sistema de la red en cada piso se calculan de la siguiente manera:

$$P = H + p_{acum} + p_{piso} + C \qquad (13)$$

Donde:

$P =$ Presión en el sistema por piso, m.c.a.

$H =$ altura desde la salida del suministro, m

$p_{acum} =$ pérdida del montante en cada piso, m

$p_{piso} =$ pérdidas en la red interna de cada piso, m

$C =$ carga adicional, m

La carga de presión del sistema se debe verificar que no exceda lo que la normativa ecuatoriana estipula, que es 35 m.c.a, ya que igualmente esto puede generar problemas similares a los mencionados anteriormente.

- Carga de presión en el ramal de agua fría

PLANTA	CAUDAL	DIAMETRO	VELOCIDAD	LONGITUD	GRADIENTE	PERDIDA	PERDIDA	PERDIDA	CARGA +	PRESION	CARGA
	l/s	mm	m/s	m	m/m	m	ACUMUL.	POR PISO	ADICIONAL	m	m
TERRAZA	0,49	20,40	1,50	3,00	0,13	0,38	3,33	1,89	10,00	33,21	12,21
DPTO 4	0,98	26,20	1,82	3,00	0,14	0,41	2,95	3,92	10,00	31,86	15,21
DPTO 3	1,37	32,60	1,65	3,00	0,09	0,26	2,54	3,92	10,00	28,45	18,21
DPTO 2	1,72	32,20	2,11	3,00	0,14	0,42	2,28	4,74	10,00	26,02	21,21
DPTO 1	2,03	32,60	2,43	3,00	0,18	0,55	1,86	4,74	10,00	22,60	24,21
PB	2,68	40,80	2,05	3,00	0,10	0,30	1,30	6,60	10,00	20,91	27,21
SUBSUELO	2,70	40,80	2,06	10,00	0,10	1,01	1,01	0,34	10,00	11,35	30,21

Tabla 16: Carga de presión en el ramal de agua fría

- Carga de presión en el ramal de agua fría a la central de agua caliente

PLANTA	CAUDAL	DIAMETRO	VELOCIDAD	LONGITUD	GRADIENTE	PERDIDA	PERDIDA	PERDIDA	CARGA +	PRESION	CARGA
	l/s	mm	m/s	m	m/m	m	ACUMUL.	POR PISO	ADICIONAL	m	m
TERRAZA	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	5,72	0,00	10,00	33,72	15,72
DPTO 4	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	5,11	0,00	10,00	30,11	18,72
DPTO 3	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	4,50	0,00	10,00	26,50	21,72
DPTO 2	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	3,88	0,00	10,00	22,88	24,72
DPTO 1	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	3,27	0,00	10,00	19,27	27,72
PB	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	2,66	0,00	10,00	15,66	30,72
SUBSUELO	1,21	26,20	2,24	10,00	0,20	2,04	2,04	0,00	10,00	12,04	33,72

Tabla 17:Carga de presión en el ramal de agua fría a la central de agua caliente

- Carga de presión en el ramal de agua caliente de distribución desde la central de agua caliente

PLANTA	CAUDAL	DIAMETRO	VELOCIDAD	LONGITUD	GRADIENTE	PERDIDA	PERDIDA	PERDIDA	CARGA +	PRESION	CARGA
	l/s	mm	m/s	m	m/m	m	ACUMUL.	POR PISO	SUCCION	m	M
TERRAZA	1,21	26,20	2,24	3,00	0,20	0,61	0,61	1,15	10,00	29,77	11,77
DPTO 4	1,15	26,20	2,14	3,00	0,19	0,56	1,17	3,70	10,00	29,87	14,77
DPTO 3	1,00	26,20	1,85	3,00	0,14	0,42	1,60	3,70	10,00	27.29	17,77
DPTO 2	0,83	26,20	1,54	3,00	0,10	0,29	1,89	3,01	10,00	23,90	20,77
DPTO 1	0,64	20,40	1,97	3,00	0,22	0,65	2,54	3,01	10,00	21,55	23,77
PB	0,43	20,20	1,33	3,00	0,10	0,30	2,84	5,12	10,00	20,96	26,77

Tabla 18: Carga de presión en el ramal de agua caliente de distribución desde la central de agua caliente

3.4. Sistema de bombeo e Hidroneumático

Con el objetivo de que el sistema de agua opere de forma correcta, se requiere de un sistema que ayude al funcionamiento y trabaje en conjunto para obtener una presión en la red que genere confort a los usuarios. Existen en el mercado varios tipos de sistemas de suministro que ayudan a este propósito, como tanques elevados, tanque bajo con bombeo a tanque alto, y varias alternativas o combinaciones. Para el tipo de edificación que se pretende diseñar y por su propósito que es vivienda se considera que la mejor alternativa, al ser una de las más usadas en la actualidad y considerada la más eficiente, es la opción de colocar un sistema de tanque bajo con distribución hacia la red con un sistema de bombeo, el tanque bajo o cisterna ya diseñado previamente siguiendo las necesidades del proyecto.

De la misma manera, se debe escoger una bomba tipo centrifuga, que es recomendable a este tipo de proyecto. En el mercado actual existen varias alternativas, tanto en precios como en marca. Sin embargo, antes de ver el mercado y escoger una, primero se debe realizar el cálculo para determinar la potencia necesaria que la bomba debe tener para que el sistema de la red de agua funcione correctamente.

Se debe tener en cuenta los datos que se deben conocer para realizar el cálculo, estos son:

- Altura Dinámica Total (TDH)
- Caudal
- Eficiencia del sistema de bombeo

Para el cálculo de del TDH es necesario el cálculo de tres datos: la altura estática de la columna de agua, las pérdidas por fricción y accesorios, y la succión de la bomba. De igual forma, se suma una carga adicional por seguridad denominada de trabajo. Con lo que se tiene:

$$TDH = h_e + h_t + h_f + h_s \qquad (14)$$

Donde:

$TDH =$ altura dinámica total

$h_e =$ altura estática

$h_t =$ carga de trabajo

$h_f =$ carga por pérdidas

$h_s =$ altura de succión

Debido a la arquitectura, no se considera la altura de succión, debido a que la bomba se encuentra al mismo nivel de la cisterna, lo que permite una alimentación directa al sistema. La altura estática se considera desde el nivel de la bomba hasta la altura en la cual se encuentra el aparato más crítico. Por último, la carga por pérdidas es el mayor valor entre las calculadas de los montantes existentes, considerando así la más crítica.

Datos obtenidos:

$$h_e = 18\ m$$

$$h_t = 10\ m$$

$$h_f = 5.72\ m$$

$$h_s = 0\ m$$

$$\therefore TDH = 18\ m + 10\ m + 5.72\ m + 0\ m$$

$$TDH = 33.72\ m$$

Una vez calculada la altura dinámica total, se procede a calcular la potencia del motor de la bomba, con la siguiente expresión:

$$P_b = \frac{Q * TDH}{76 * n} * \left(1 + \frac{C}{100}\right) \qquad (15)$$

Donde:

$P_b =$ Potencia del motor, HP

$Q =$ Caudal de diseño, l/s

$TDH =$ altura dinámica total, m

$76 =$ Coeficiente de conversión de unidades

$n =$ eficiencia del sistema de bombeo

$C =$ coeficiente de seguridad

El caudal es el calculado con la suma de todos los aparatos sanitarios de toda la edificación, es decir el caudal de diseño total. La eficiencia es la relación entre el suministro de potencia y la cuantía de potencia generada real, se tomará una eficiencia del 50%. El coeficiente de seguridad se considerará como recomendación, 20% extra de la potencia calculada.

$$Q = 0.12057 * q^{0.67394}$$

$$Q = 3.22 \frac{l}{s}$$

$$P_b = \frac{3.22 \frac{l}{s} * 33.72\ m}{76 * \frac{50}{100}} * \left(1 + \frac{20}{100}\right)$$

$$\boldsymbol{P_b = 2.86\ HP}$$

Se debe buscar una bomba con una potencia mayor a la calculada, dependiendo de la oferta existente en el mercado, por lo que se escogerá una bomba con una potencia $\boldsymbol{P_b = 3\ HP}$, que pueda suministrar el caudal de diseño calculado.

Al realizar la estimación del caudal de diseño y posteriormente las pérdidas de la red, para posteriormente determinar la potencia necesaria de la bomba, y en base a la curva característica la bomba de la marca *Myers,* obtenida del catálogo del distribuidor ecuatoriano, *Acero Comercial,* mostrada a continuación:

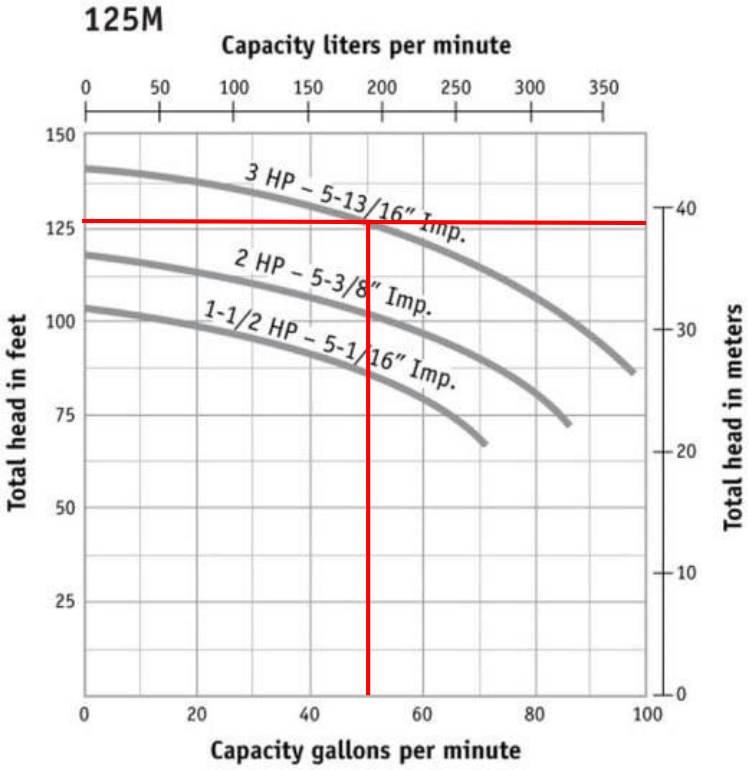


Tabla 19: Curva característica bomba 3 HP

Con el caudal calculado de $51{,}04\ gal/min$ la bomba nos proporciona con una impulsión de hasta 38 metros en altura, lo cual es suficiente considerando que la altura dinámica total calculada a vencer es de 33,72 m.

3.4.1. Selección del tanque hidroneumático

Los hidroneumáticos ayudan a la demanda de energía del sistema, ya que controlan el apagado y prendido de las bombas, dependiendo de la demanda, a la vez que mantiene una el sistema a presión evitando así inconformidad en los usuarios.

Como nos establece la normativa de Reglas Técnicas de Arquitectura y Urbanismo, la red de agua potable, para que el sistema funcione correctamente se debe de implementar un equipo hidroneumático para la distribución de caudales y presión correspondiente a las de diseño.

La selección del tanque, se refiere al volumen necesario que necesita el tanque o los tanques, para cumplir los requerimientos del sistema, lo que proviene del diseño. Para la selección del volumen del tanque/s se basa de la siguiente expresión, del libro de *Instalaciones Sanitarias y de Gas*:

$$V_t = \frac{Q \cdot (Pa + Ho)}{2 \cdot S(Pp - Pa)} + VR \qquad (16)$$

Donde:

$Q =$ Caudal, m^3/s

$Pa =$ Presión de arranque, o carga de la bomba, kg/cm^2

$Ho =$ Rango de operación, $10{,}33\ kg/cm^2$

$S =$ Arranques por hora, $1/h$

$Pp =$ Presión parada, kg/cm^2

$VR =$ Volumen de regulación, m^3

Por lo que se tiene:

$$Q = 11{,}60 \frac{m^3}{s}$$

$$Pa = 2{,}37 \frac{kg}{cm^2}$$

$$S = 60/h$$

$$Pp = 3{,}37 \frac{kg}{cm^2}$$

$$VR = 0{,}05\ m^3$$

$$\therefore V_t = 0{,}376\ m^3\ o\ 375{,}98\ lt$$

Por lo cual se debe colocar en el sistema, después de la bomba, dos tanques hidroneumáticos de 200 litros cada uno.

4. Capítulo 4: Diseño del sistema de calefacción por suelo radiante

4.1. Concepto

Suelo radiante o también comúnmente denominado como losa radiante es un sistema de calentamiento de ambientes el cual tiene su origen hacia el siglo primero antes de Cristo (I A.C), en la antigua roma, en donde debajo de las casas se construía cámaras de aire por las cuales circulaba el humo caliente generado de chimeneas con madera o carbón, lo que producía que la losa superficial se calentara e irradie calor. Este sistema es denominado *hipocausto.*

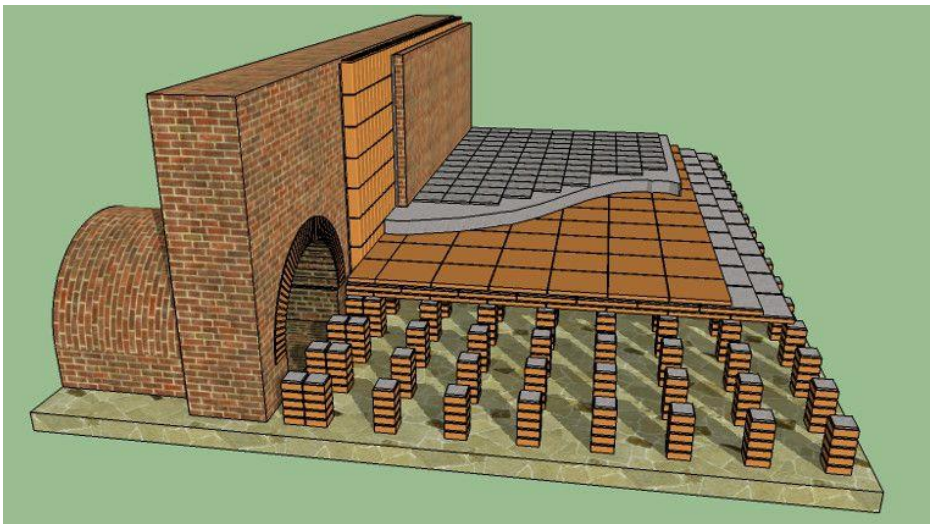


Ilustración 6: Suelo Radiante en la antigua roma

A través de los años este sistema ha ido evolucionando, tanto en materiales como en lo constructivo, actualmente el sistema usado en edificaciones emplea una red de tuberías embebidas en la losa por la cual circula agua caliente, generando el mismo principio que en la antigüedad se usaba, emisión de calor a través del pavimento. A principios del siglo XX se empezó a usar este sistema con tuberías de acero, posteriormente se usó con cobre, sin embargo, se comprobó que existían bastantes problemas con la corrosión, afectando la eficiencia del sistema. Actualmente se utilizan tuberías de material que aseguran de mejor manera el correcto funcionamiento, por lo g-eneral se usa Polietileno reticulado, Polibutileno o Multicapa.

Este sistema ofrece una mejor sensación de confort en comparación a otros sistemas de calentamiento, esto es debido a que la red de tuberías está distribuida por toda la losa, lo que evita que se generen zonas frías, además no ocasiona corrientes de aire, es silencioso, invisible y económico. La percepción de temperatura que sentimos no solo es por el aire que se encuentra en el ambiente o habitación que nos encontremos, esta sensación de temperatura podemos decir que es el valor promedio de la temperatura del aire con la temperatura radiante de los objetos que se encuentran alrededor, esta es llamada temperatura de confort o técnicamente temperatura operativa. Teniendo en cuenta esto, para cambiar la temperatura de un ambiente se puede o cambiar la temperatura del aire, o cambiar la temperatura radiante, de este caso la losa.

La aplicabilidad del suelo radiante es bastante extensa, principalmente se utiliza en casas o edificios, tanto de vivienda como oficinas, además se puede emplear en distintos tipos de edificaciones dependiendo de su uso, como centros comerciales, hoteles, residencias, etc. En exteriores se utiliza para derretir la nieve o el hielo, en aceras, rampas o caminos para

vehículos, escenarios deportivos y similares. Igualmente se puede usar para ganadería, plantas avícolas, para la zona de crianza.
De la misma manera, con el mismo principio se puede aplicar este sistema a paredes y techos radiantes para calefacción y refrigeración, esta alternativa depende de la edificación, como es el caso de un inmueble antiguo en el cual no se puede realizar cambios en las losas.

Las instalaciones de suelo radiante deben cumplir con la normativa *UNE – EN 1264 – Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies.* Adicionalmente la norma *RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas,* la cual establece los parámetros para el confort de los usuarios

4.1.1. Ventajas del sistema de Suelo radiante

El suelo radiante posee un gran número de ventajas frente a los sistemas tradicionales de calefacción convencionales, a continuación, se presenta las principales ventajas:

- Distribución ideal de temperatura

Según diversos estudios han demostrado que la sensación ideal de temperatura es cuando los pies se encuentran levemente a una mayor temperatura que la temperatura de la cabeza, evitando así que se tenga la sensación de “pies fríos”.
El sistema de suelo radiante ofrece este beneficio, a comparación de los otros sistemas, como radiadores o de aire caliente. En la siguiente ilustración podemos apreciar la distribución de calor ideal en comparación a los diferentes sistemas de calefacción, notando que el sistema de suelo radiante claramente es el q-ue mayormente se asemeja.

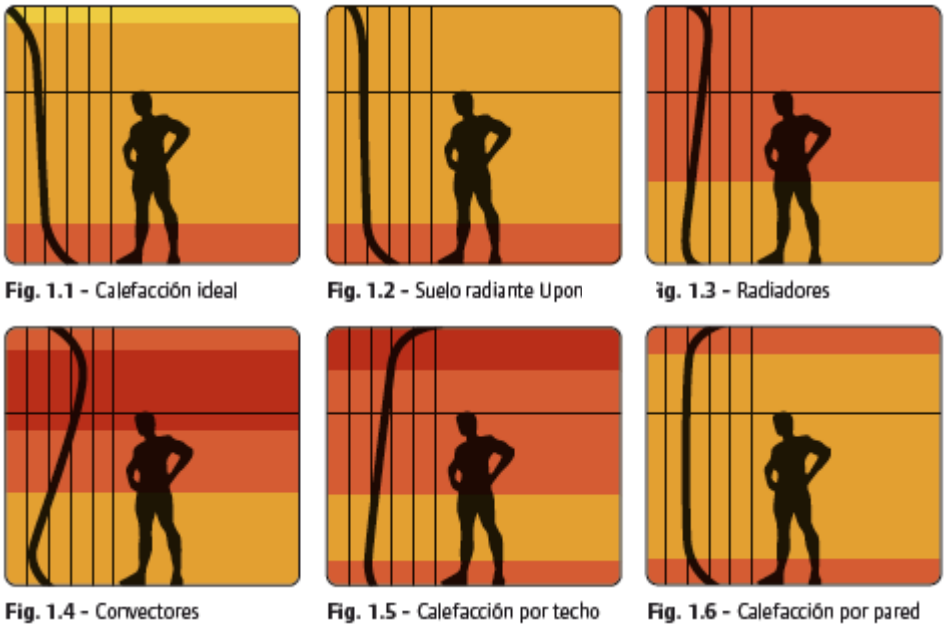


Ilustración 7: Distribución de temperatura de diferentes sistemas de calentamiento.

- Temperatura uniforme

Con este sistema se tiene la ventaja de una temperatura uniforme distribuida por toda la losa, a diferencia de los otros sistemas en el mercado que típicamente producen zonas frías y zonas calientes, afectando el confort en los usuarios.



Ilustración 8: Distribución de tuberías en losa

- Elevación de la temperatura

Por el funcionamiento del suelo radiante, el calor que emana asciende lentamente hasta una altura desde hasta dos metros, precisamente una altura ideal para las personas de estatura promedio y para ambientes de gran altura. Esto implica una ventaja en comparación a otros sistemas debido a que en otros sistemas el calor asciende hasta el techo, lo que provoca pérdidas del calor generado.

- Invisible

Una de las más importantes ventajas de este sistema es que la instalación es totalmente invisible, ninguno de los componentes que incluye una vez terminada la instalación es visible, todo va o embebido en la losa o en las paredes, con la excepción del control regulador de temperatura. En sistemas tradicionales se puede ver y ocupa espacio en el ambiente los emisores de calor, como radiadores, convectores, etc. lo que ocasiona un contraste en la decoración. Adicionalmente a esto al ser invisible el sistema previene quemaduras y golpes accidentales que existe la posibilidad de que suceda con otros sistemas. Esta ventaja lo hace el sistema idóneo de calefacción para parvularios, centros de salud, y en edificios antiguos donde los emisores de calor deben integrarse en el diseño y arquitectura.

- Ahorro energético

Comparando con otros sistemas tradicionales se obtiene un ahorro energético del 20 al 30 por ciento, esto es debido principalmente a que en sistemas tradicionales es necesario

apagar y prender constantemente los aparatos, ya que no pueden estar prendidos continuamente, causando una mayor demanda de energía, lo que difiere del suelo radiante. Adicionalmente que el sistema es compatible con fuentes de energías renovables como la aerotermia, geotermia, biomasa, energía solar, etc. consiguiendo ahorros de hasta el 60 por ciento

4.2. Proceso constructivo

Previo a la construcción se requiere de un diseño en el cual se indique la ubicación de los colectores, el número de circuitos, su trazado y la longitud de tubería necesaria para la instalación, se realizará el diseño con los cálculos posteriormente, primero se detallará el proceso constructivo e instalación que conlleva el sistema de suelo radiante.

En el mercado existen varias alternativas de instalación, que dependiendo del caso en particular se puede escoger que tipo de instalación realizar, tomando en cuenta el tipo de edificación y costos. Existen actualmente varios sistemas de instalación para suelo radiante, a continuación, se enlistará los principales en el mercado actual:

- Sistema de auto fijación

Como su nombre lo indica es un sistema el cual las tuberías de la red vienen recubiertas de una cinta de fijación la cual se adhiere al aislante previamente colocado. La ventaja de este es que sistema es que la instalación es más económica en comparación a los otros sistemas, pero se debe tener en cuenta que el trazado de la tubería sería sin mayor referencia más que los grabados en los paneles. El trazado en este sistema puede ser de serpentín o doble espiral.

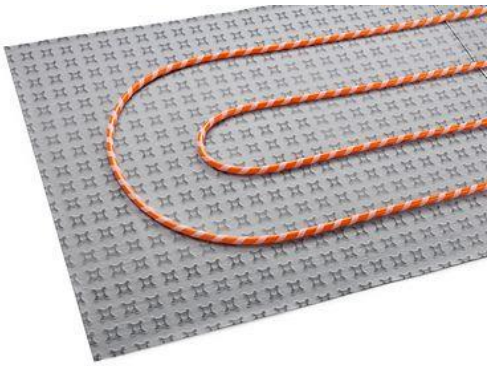


Ilustración 9: Sistema de suelo radiante – Auto fijación
Fuente: Rehau.com

- Sistema con difusores

En este sistema la principal diferencia es que los paneles aislantes donde se coloca la tubería solo permite el trazado de la red en serpentín. Este sistema es de instalación en seco, lo que

quiere decir que, por la configuración de los paneles, no requiere de una capa de mortero que recubra al sistema, reflejando esto en no requerir esperar al tiempo fraguado que es 28 días. Adicionalmente a esto, el peso y altura de construcción es reducido lo cual implica que sea perfecta su instalación en edificaciones antiguas que requieran del sistema.

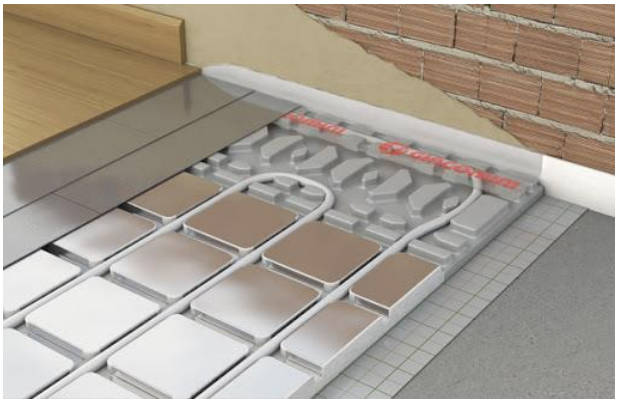


Ilustración 10: Sistema de suelo radiante – Difusores
Fuente: Giacomini.com

- Sistema con paneles aislantes con tetones o Portatubos

Este sistema debido a los paneles ocupados en la instalación tiene la ventaja de ser fácilmente montable y modificable, adaptándose a cualquier geometría del piso e igualmente, por la configuración del panel, la colocación de la tubería de la red es sencilla, principalmente por los tetones que permiten colocación de tuberías a 45 grados, siendo más versátil y conveniente. Estas ventajas representan una ayuda en el trazado de la red de tuberías, que no solo permiten trazados en doble serpentín, sino además en espiral. Cualquiera de estos tipos de trazados es conveniente, ya que ayuda a la homogeneidad de la emisión termina.



Ilustración 11: Sistema de suelo radiante – Paneles aislantes con tetones

Fuente: Hogarsense.es

Cabe recalcar que dependiendo del diseño se escoge el tipo de trazado, siendo el trazado de tipo serpentín mayormente usado por su homogeneidad.

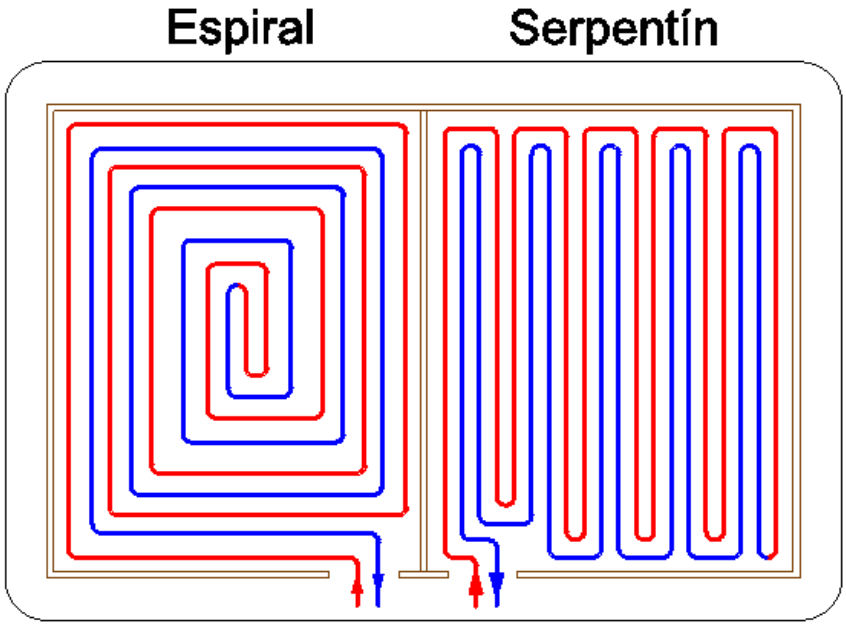


Ilustración 12: Trazado de tuberías en suelo radiante

4.2.1. Proceso de la instalación de suelo radiante

Para el diseño del sistema de suelo radiante en la edificación presentada, se propone instalar el sistema exclusivamente en los pisos habitables, es decir en los departamentos, que involucran desde la segunda planta hasta la cuarta, cubriendo todos los ambientes que incorpora cada departamento.

Se pretende realizar la instalación del sistema denominado como *tradicional o estándar*, con panel aislante portatubos. Este sistema es formado por 6 elementos principales colocados sobre la losa de piso.

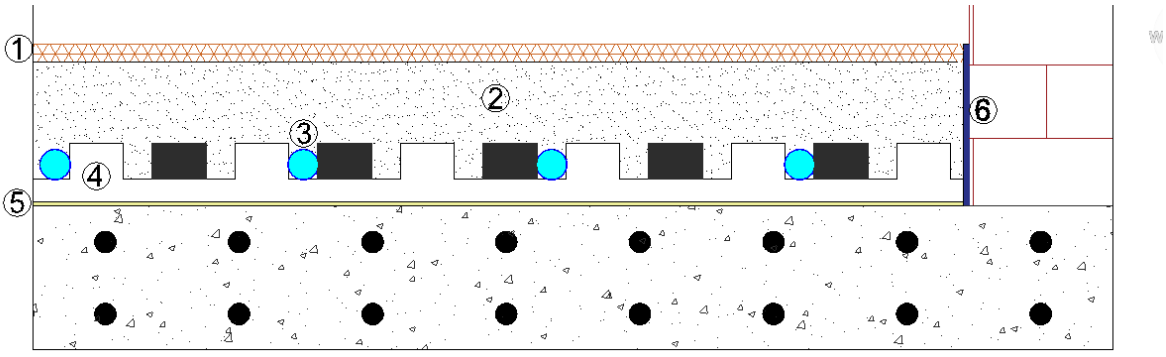


Ilustración 13: Corte del sistema de suelo radiante con panel aislante portatubos

Los elementos son:

1. Pavimento, depende del terminado de piso que se vaya a escoger
2. Capa de mortero autonivelante
3. Tubería del sistema de calentamiento
4. Panel aislante portatubos
5. Film de polietileno
6. Zócalo perimetral

Adicionalmente a estos elementos, y previo a su colocación sobre la losa, se debe colocar el colector.

A continuación, se detallará el proceso que implica la instalación de este sistema, detallando los aspectos de cada etapa:

- Preparación de la obra

Previo a realizar la instalación y ubicación de los componentes del sistema, la estructura debe estar terminada, lo que implica: toda la estructura terminada, losas fundidas, mampostería colocada, enlucida y de preferencia pintada, instalaciones eléctricas, desagües y tuberías de agua terminadas y los marcos de puertas colocados, de igual manera es necesario que el suelo este nivelado y limpio, sin escombros de mortero, yeso u otros materiales de las actividades previas.

- Ubicación del colector

El colector de agua es un elemento crucial para el sistema, el cual su función es distribuir el agua a los circuitos de cada ambiente climatizado. Existen dos tipos de modelos, colectores con detentor y colectores con caudalímetro, lo que los diferencia es la válvula de equilibrado, siendo los colectores con caudalímetro preferibles ya que permiten visualizar el caudal que circula por cada circuito, facilitando el equilibrio de caudales.

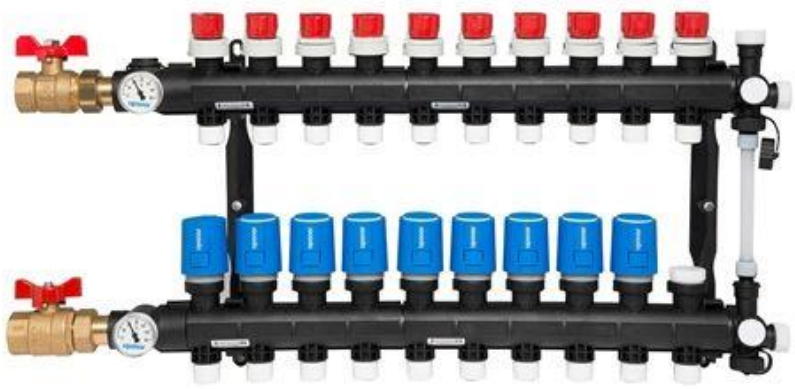


Ilustración 14: Colector Uponor. Modelo Vario Plus

El colector se debe colocar en pared por encima del nivel del suelo para evitar acumulaciones de aire dentro de la red de tuberías. Generalmente los colectores llegan pre montados y consta de los siguientes elementos:

- Colectores de ida y retorno

Dos colectores, uno de salida del agua y el otro para el retorno, que dependiendo del fabricante pueden ser de distintos materiales como latón, plástico o acero inoxidable. En el colector de salida se ubican los caudalímetros y en el colector de retorno se encuentran una válvula de apertura y cierre. El sistema se controla con termostatos digitales que indican la temperatura, con los cuales se regula a la temperatura deseada.

- Válvulas de entrada y salida

Cada colector, tanto de entrada como de salida, dispone de una válvula de corte para poder independizar del resto de la instalación.

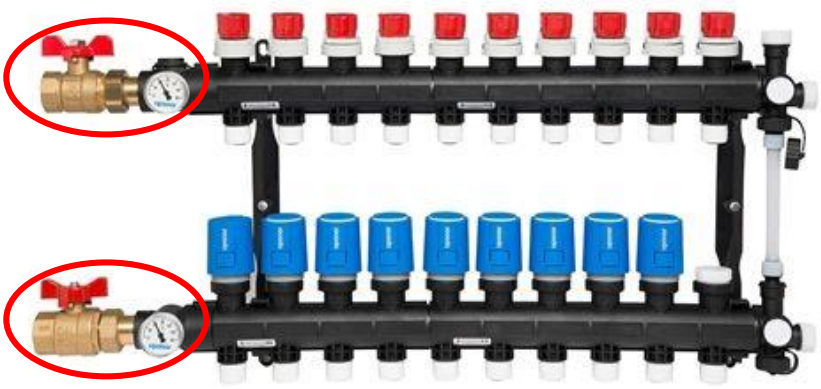


Ilustración 15: Ubicación de las válvulas de entrada y salida

- Grupos de purga y vaciado

Se coloca uno en cada colector, tienen como función expulsar al exterior los gases que se generan en los circuitos. Trabajan en conjunto con las válvulas de vaciado, que permiten evacuar el agua de la red de tuberías para trabajos de mantenimiento, llenado y purga.

Los colectores se deben colocar en un lugar de fácil acceso y de preferencia en donde la longitud de los circuitos hacia los diferentes ambientes sea equidistante, lo que garantiza una mejor distribución del calor del sistema. Se debe colocar ya sea empotrado en la pared o en una caja de colectores metálica, el espesor que debe tener la pared para colocar los colectores es mínimo de 15 cm.

La altura recomendada de la instalación del colector es de 50 cm desde el nivel del piso.

- Film de Polietileno

Es un film de polietileno antihumedad colocado en medio de la losa de hormigón y la capa del sistema de calentamiento, el cual su función es evitar la filtración de humedad por capilaridad. Principalmente se debe colocar en sótanos o en pisos ubicados debajo del nivel del terreno.

Se puede evitar la colocación de este film si se considera que no existirá humedades o filtraciones de la misma, o el caso de que el panel porta tubos usado en la instalación garantice una barra antihumedad.

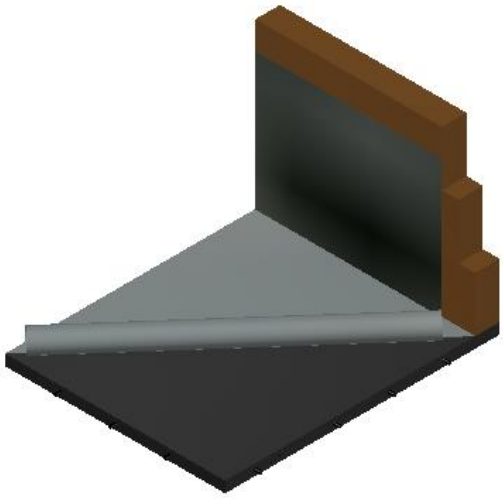


Ilustración 16: Colocación del film antihumedad

- Banda Perimetral

Denominado igualmente como zócalo perimetral, es una cinta de polietileno esponjosa que tiene como función absorber las expansiones y contracciones del sistema de suelo radiante, debido a los cambios de temperatura del mismo, básicamente es una junta de dilatación perimetral en los ambientes. La banda se extiende a lo largo del perímetro de los ambientes, columnas, paredes, marcos de puertas, etc. Esto es con el objeto de que dicha expansión y contracción no afecte ni a la mampostería o a la losa, de lo contrario se produciría grietas por las presiones.

La banda se adhiere a las paredes, desde la base de la losa hasta la altura que se colocará el pavimento. Se debe tener seguridad de que la banda esté completamente adherida a las paredes, caso contrario el mortero que se colocará encima del sistema puede infiltrarse.

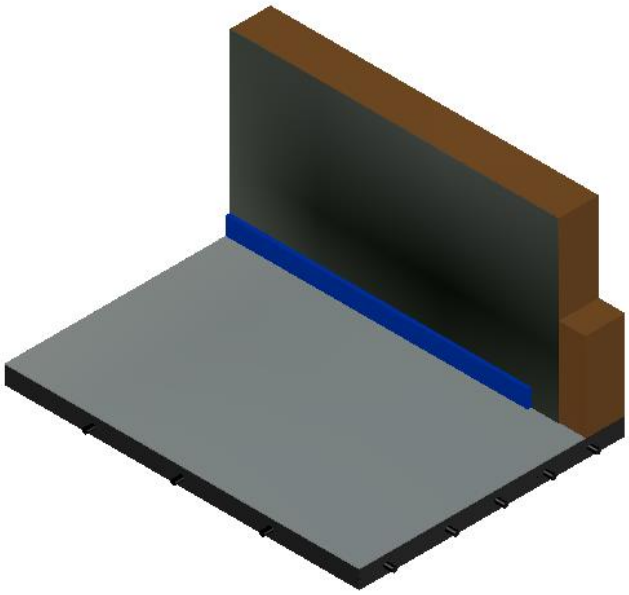


Ilustración 17: Banda perimetral o zócalo perimetral

- Panel aislante

Como se explicó previamente, el tipo de instalación de suelo radiante que se escoja, depende de varios factores, como tipo de edificación, tipo de estructura, estética, etc. Sin embargo, del sistema que se vaya a escoger dependerá el tipo de panel aislante en que se colocará la red de tubería, para este caso se empleará el tipo de panel portatubos, como manifestado anteriormente.

La principal función que tiene el panel aislante es evitar las pérdidas de energía hacia el piso inferior, obteniendo un menor consumo energético y contribuyendo a que el calor ascienda hacia el espacio climatizado.

La norma UNE – EN 1264 – "*Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies*", establece los parámetros de resistencia térmica que los paneles colocados deben tener, siendo los valores mínimos los siguientes:

Entre espacios calefactados

$$R = 0.75\ m^2 * °K/W$$

Entre espacios no calefactados o en contacto con el terreno

$$R = 1.25\ m^2 * °K/W$$

Espacios en voladizo

En este caso la resistencia térmica mínima que el aislante debe tener depende de la temperatura exterior.

Temperatura Exterior	Resistencia Térmica
0°C	1,25 $m^2 * °K/W$
5°C	1,50 $m^2 * °K/W$
15°C	2,00 $m^2 * °K/W$

Tabla 20: Resistencia térmica del panel aislante en función de la temperatura

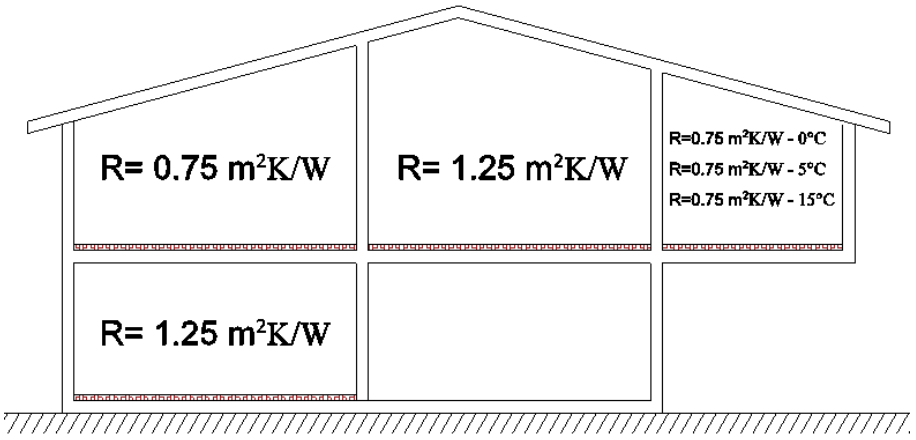


Ilustración 18: Resistencia térmica del panel aislante

Así mismo la norma UNE – EN 1264 determina que un panel aislante es válido cuando el valor de su conductividad térmica es menor a 0,04 W/m^2k

Los paneles se colocan en toda la superficie a climatizar, dependiendo a su vez del trazado de la tubería que se haya determinado.

Dependiendo del fabricante estos paneles se fijan entre sí mediante acoples que pueden ser tipo machimbrado, solape o similares. A su vez son fabricados de poliestireno, madera, corcho, etc. siendo de poliestireno el material comúnmente más encontrado en el mercado. El cortado de los paneles para adaptar a la geometría del diseño arquitectónico se puede hacer mediante cúter (estilete), cuchillo.

Para el diseño del sistema de suelo radiante se usará de referencia los paneles aislantes de la marca Uponor los cuales están compuestos a base de poliestireno expandido (EPS), revestido por una capa de poliestireno termoconformado (EP). El tipo de unión entre paneles es por solape en sus orillas. Se usará dos tipos de paneles aislantes, denominados *"paneles Uponor Nubos PLUS"* de 19 mm y 34 mm de espesor, teniendo una resistencia térmica de 0,75 $m^2 * °K/W$ y 1,25 $m^2 * °K/W$, respectivamente, características de estos paneles son las siguientes:

Marca Comercial: SISTEMA COMFORT NUBOS PLUS
Tipo de estructura de suelo: Tipo A
Tipo de placa base: Plancha de poliestireno expandido con tetones
Espesor de la zona lisa de la placa: 18 mm
Espesor del tetón de la placa: 40 mm
Espesor efectivo de la placa: 24 mm
Resistencia térmica efectiva de la placa: 0,75 m²K/W
Conductividad térmica de la placa: 0,031 W/mK
Tipo de recubrimiento: Mortero con aditivo UPONOR
Espesor de mortero: 0,045 m
Tipo de tubo: Tubos PEX-a (Cert.AENOR 001/006217)
Dimensión de tubo: 16x2 mm

Ilustración 19: Características Técnicas panel Uponor 19mm

Marca Comercial: SISTEMA COMFORT NUBOS PLUS
Tipo de estructura de suelo: Tipo A
Tipo de placa base: Plancha de poliestireno expandido con tetones
Espesor de la zona lisa de la placa: 33 mm
Espesor del tetón de la placa: 54 mm
Espesor efectivo de la placa: 39 mm
Resistencia térmica efectiva de la placa: 1,25 m²K/W
Conductividad térmica de la placa: 0,031 W/mK
Tipo de recubrimiento: Mortero con aditivo UPONOR
Espesor de mortero: 0,045 m
Tipo de tubo: Tubos PEX-a (Cert.AENOR 001/006217)
Dimensión de tubo: 16x2 mm

Ilustración 20: Características Técnicas panel Uponor 34mm

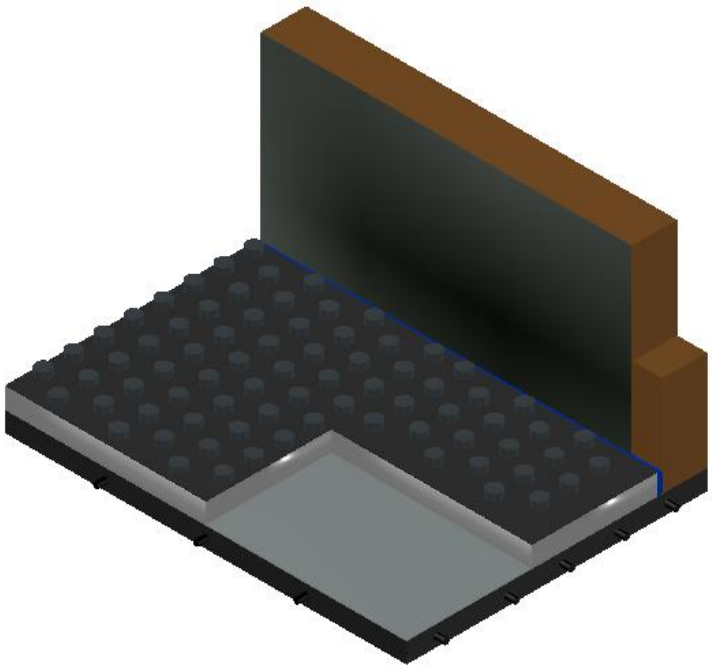


Ilustración 21: Panel aislante con tetones

- Tubería

El calor del agua que circula por las tuberías es el que sirve para calentar el espacio climatizado, habitualmente se emplean tuberías las cuales tengan una buena composición, la cual le permita soportar, tanto el calor como la oxidación, ya que este sistema al ser fijo, requiere que los elementos instalados requieran lo mínimo y si es posible ningún mantenimiento. Las tuberías en el mercado pueden ser de polietinelo reticulado (PEX), polibutileno (PB) y multicapa, además de esto estás tuberías son lo suficientemente flexibles como para adaptarse a las curvas de los circuitos. Los tres tipos de material para tubería poseen una barrera anti oxígeno, que ayudan contra la oxidación de las partes metálicas de la instalación.

La tubería se debe extender por medio de los paneles aislantes, respetando la distancia entre tubos, la longitud y el trazado indicado en las especificaciones del proyecto. Se debe tomar en cuenta que debe existir una correcta unión de la tubería con los colectores, además de que no se permiten uniones entre tuberías dentro de los circuitos, siendo 120 metros la distancia máxima recomendada por circuito.

La separación entre tuberías de ida y retorno dependerá principalmente de la estancia en donde se coloque el sistema, de las pérdidas de carga y calor, además del costo que implica. Separaciones menores implican mayor recorrido del circuito, resultando en mayores pérdidas y costo de la obra, siempre tomando en cuenta la distancia máxima de recorrido por circuito, que por norma recomienda un trazado máximo de 120 metros de longitud de tubería. La separación entre tuberías en el circuito puede ser de 10, 15 o 20 centímetros, siendo recomendado instalar a una separación de 15 centímetros.

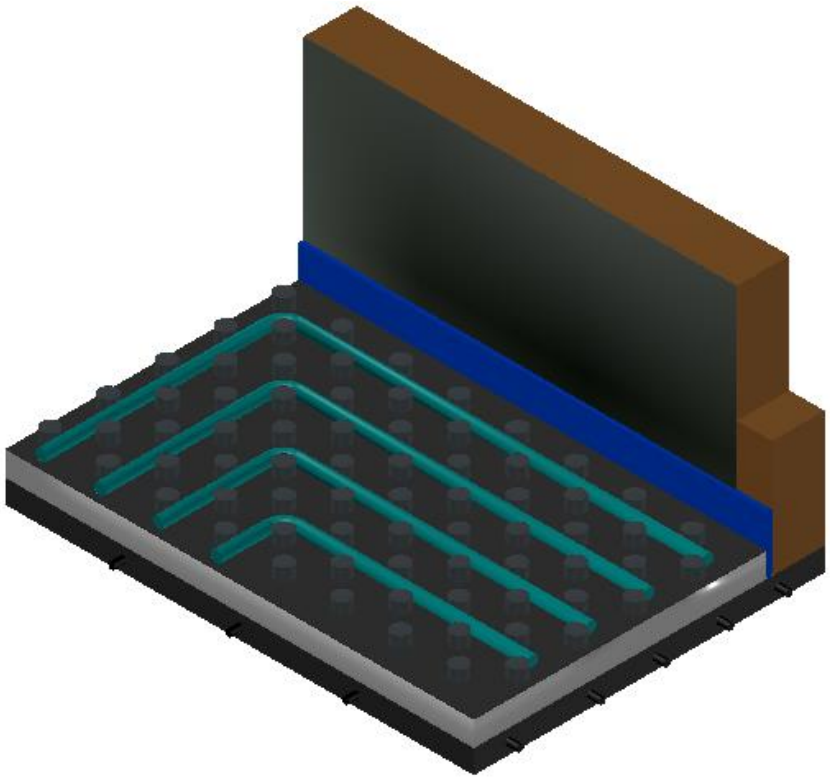


Ilustración 22: Colocación de la tubería

- Juntas de dilatación

En las juntas estructurales de la edificación, en espacios de más de cuarenta metros cuadrados y una longitud máxima de ocho metros, y en los accesos de puertas se debe instalar juntas de dilatación, para evitar fracturas en el mismo. Las fracturas en la capa de mortero se producen por dos causas:

- Por el proceso de fraguado del mismo, que puede ser por un mal curado.
- Por las expansiones y contracciones del mortero debido a los cambios de temperatura.

El número de juntas de dilatación se debe determinar en la etapa de cálculo, ya que, si una tubería atraviesa la junta, se debe proteger con un recubrimiento plástico no inferior a 20 cm de longitud.

Se debe colocar juntas de dilatación bajo las siguientes condiciones:

- Sobre las juntas estructurales de la edificación, en donde la junta debe seguir hasta la capa de mortero. Adicionalmente, en este caso no se debe atravesar la junta con tubería.
- En el caso de tener un área mayor a 40 metros cuadrados, hasta una longitud máxima de 8 metros.

- Si un lado de un ambiente climatizado superase los ocho metros de longitud.
- Se recomienda colocar en lugares donde se determine que se fuera a producir una dilatación o contracción de la losa de piso.

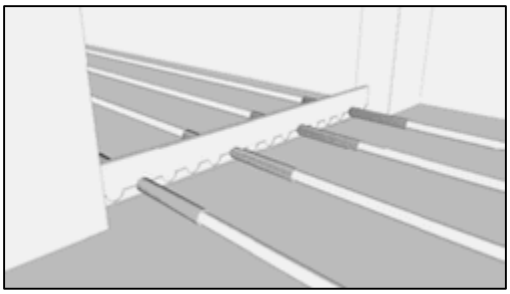


Ilustración 23: Junta de dilatación en marco de puerta

- Llenado y purga del sistema

Al ser circuitos cerrados el llenado de agua en la instalación debe realizarse circuito por circuito, una vez colocada la tubería por el circuito correspondiente.

Este procedimiento consiste en conectar una manguera de llenado al colector inferior y una manguera de vaciado al conector superior, se cierran todos los circuitos, excepto el que se desea llenar y se abre el grifo de llenado y el grifo de desagüe, el agua de llenado desaloja el aire dentro del circuito, expulsándolo por la manguera de desagüe. Podemos asegurarnos que el circuito estará completamente lleno y purgado cuando por la manguera de desagüe se expulse un chorro continuo de agua sin expulsar burbujas de aire, que se puede comprobar dejando salir el agua de la manguera de desagüe en un contenedor y observando que no existan burbujas de aire saliendo de la misma. Una vez terminado con el primer circuito, se cierra las válvulas y se continua con el siguiente, hasta completar todos los circuitos.

- Prueba de presión

La norma UNE – EN – 1264 exige una prueba de presión en los circuitos que asegure una presión mínima de 6 bares o 60 metros de columna de agua constante, durante un periodo de veinticuatro horas.

- Mortero

Una vez instalado correctamente todos los elementos previamente descritos, los circuitos llenos y comprobada la presión en el sistema de mínimo 6 bares, se vierte el mortero sobre el sistema. El mortero debe tener dentro de su mezcla un aditivo fluidificante que favorece al esparcido y reduce la porosidad, optimizando la emanación del calor.

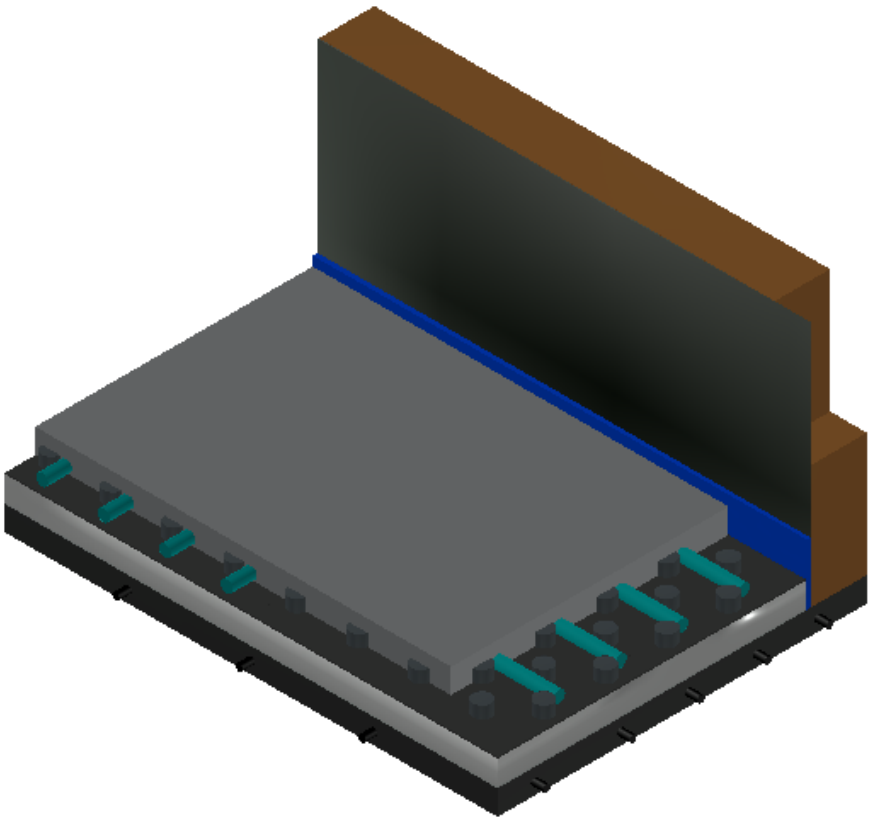


Ilustración 24: Colocación de la capa de mortero

- Pavimento

Se denomina pavimento al terminado de piso que arquitectónicamente se escoja, el cual puede ser de piso flotante, cerámica, mármol, granito, etc. El material que se escoja tendrá una influencia importante en la cantidad de calor que el sistema irradie.

La colocación del pavimento se realiza transcurridos 28 días desde la fecha de vertido del mortero, asegurando que el mortero haya fraguado acompañado de un buen curado.

Como se manifestó previamente, la banda perimetral, debe tener una altura superior al conjunto de elementos del sistema, con lo que una vez colocado el pavimento, con un estilete (cúter) o cuchillo se corta la parte sobrante de la banda y se prosigue a la colocación del zócalo del piso flotante.

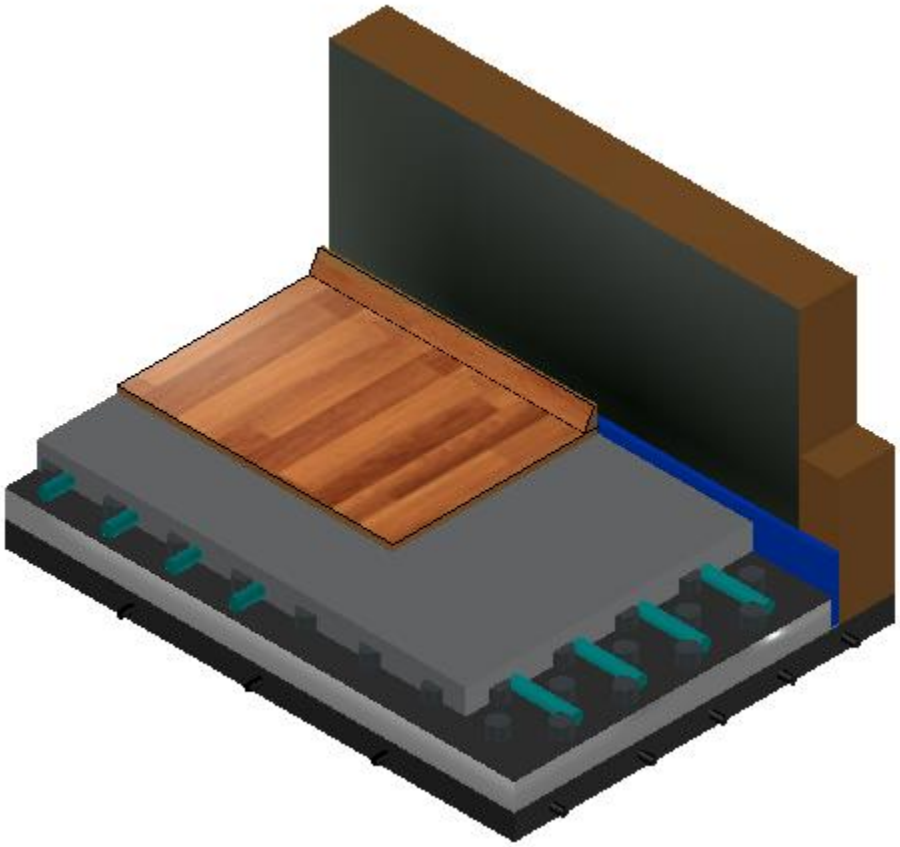


Ilustración 25: Colocación del pavimento

- Equilibrado de la instalación

Una vez instalado el sistema y en funcionamiento, se procede al equilibrado hidráulico de la instalación para que el calentamiento de cada estancia sea uniforme, obedeciendo a los caudales de cada circuito especificados en el proyecto, se ajustan los caudalímetros en el colector.

- Regulación de temperatura

Toda instalación de suelo radiante precisa de una regulación de temperatura que aporte bienestar a los usuarios y optimice en consumo de energía. La temperatura del sistema se regula controlando la temperatura de impulsión y la temperatura de ambiente.

- Regulación de la temperatura de impulsión

  Se puede gestionar directamente desde la caldera, o fuente de calor (en este caso paneles solares y bomba de calor), o en la red de distribución mediante un sistema de regulación desde un punto fijo en la que se mantiene constante la temperatura de impulsión del agua, o mediante un sistema de regulación

que depende de la temperatura exterior, que permite un mayor ahorro energético.

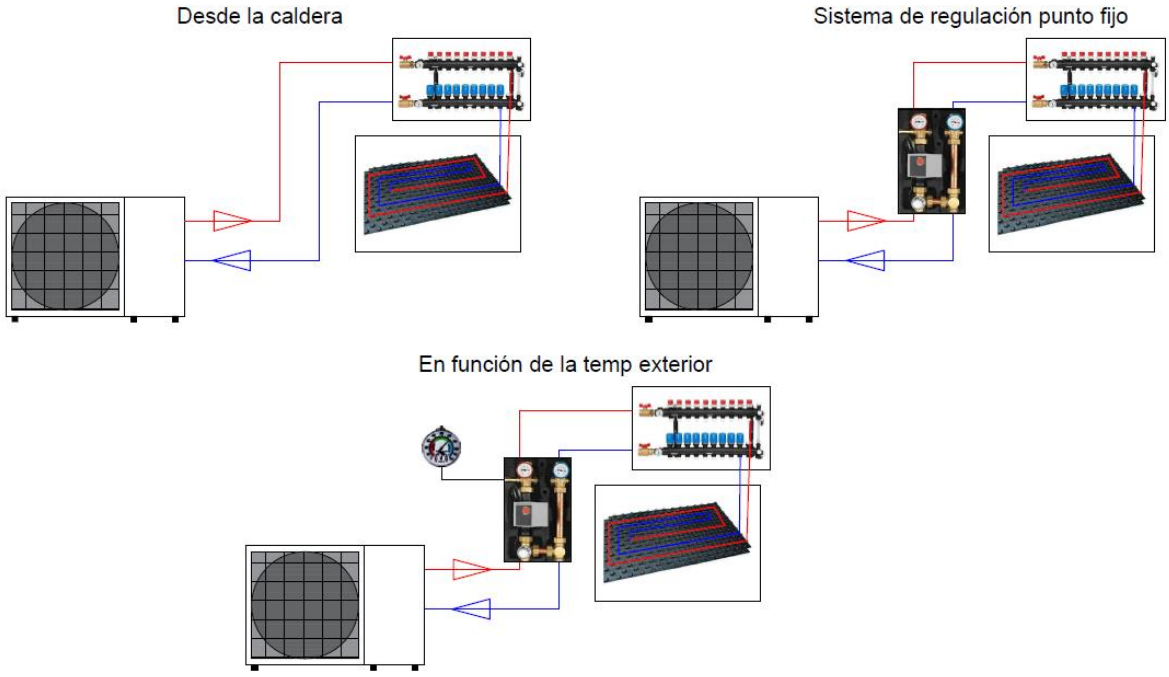


Ilustración 26: Regulación temperatura de impulsión

- Regulación de la temperatura de ambiente

Se realiza mediante termostatos ambiente que accionan los cabezales electro térmicos de los colectores.

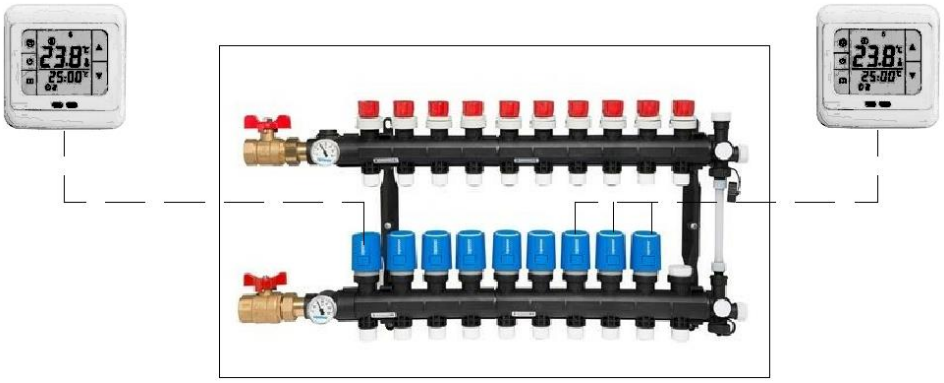


Ilustración 27: Regulación temperatura de ambiente

4.3. Cálculos y Diseño

4.3.1. Condiciones Técnicas

El siguiente diseño se realizará en función de los datos de obra, tanto de la parte arquitectónica como ingenieril con el objetivo de escoger la mejor instalación de suelo radiante para la edificación y proporcionar el mejor confort posible para los usuarios del edificio. Según los datos obtenidos será posible realizar cálculos aproximados y estimación de materiales.

- Es necesario calcular previamente los coeficientes de transmisión de calor de los recintos en donde se colocará el sistema, comparándolos con los límites máximos que establece la norma UNE EN 1264. Se tomará datos referenciales para los cálculos.
- No se considera la instalación de climatización bajo los armarios de cuartos, gabinetes de cocina o baño, sin embargo, se colocará panel aislante bajo estos. Igualmente, en pasillos no se considera la instalación de suelo radiante, ya que por estos se colocará las uniones desde el colector hacia los circuitos y viceversa, esta porción de la instalación conlleva el mismo sistema constructivo, equivalente que el sistema irradie calor, haciendo omisa la necesidad de instalar un circuito exclusivamente para pasillos.

  De la misma manera, no se instalará el sistema en los ambientes menos usados, como cuartos de lavandería, despensas, etc.
- Para el primer piso con climatización se prevé utilizar un panel con resistencia térmica de 1,25 m^2K/W debido a que es el primer piso en calentar. Para los pisos siguientes (segundo, tercero y cuarto de la edificación) se usará un panel con resistencia térmica de 0,75 m^2K/W. Ambos paneles requieren de tubería de dimensión 16x2 mm, colocada con una separación de 15 cm entre tubería de ida y retorno, a excepción de los baños en donde la separación será de 10 cm, considerando que estos espacios son menores.
- Según el diseño arquitectónico y de interiores planteado, se colocará piso flotante, de espesor de *1 cm* como terminado de piso, lo cual se debe considerar para el cálculo de las cargas térmicas.

4.3.1.1. Datos climáticos

Localización: Quito - Ecuador

Altitud sobre el nivel del mar: 2850 m

Temperatura media anual: 14,7 °C

Temperatura media máxima: 20,3 °C

Temperatura media mínima: 8,6 °C

Velocidad del viento: 3,3 m/s

(Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2014)

4.3.2. Coeficientes de transmisión de calor

Se considerará el cálculo propuesto por la norma NBE CT-79: "*Normas básicas de la edificación, condiciones térmicas de los edificios,"* en donde establece primeramente que: "*el coeficiente total de transmisión térmica es el flujo de calor por unidad de superficie y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes"* (NBE CT-79: Normas básicas de la edificación, condiciones térmicas de los edificios, 1979)

Estos valores correspondientes a los cerramientos de los departamentos deben ser menores a los máximos establecidos por norma para asegurar que el calor originario del sistema se mantenga dentro de los ambientes calefactados.

El coeficiente de transmisión de calor (K) se determina con la expresión:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} + \sum \frac{e_n}{\lambda_n}} \qquad (17)$$

Donde:

$K =$ coeficiente transmisión de calor, $W/m^{2}°C$

$e =$ espesor del material, m

$\lambda =$ conductividad térmica específica de cada material, $W/m°C$

$h_e, h_i =$ coeficiente superficial de transmisión de calor, exterior e interior

El valor del coeficiente superficial de transmisión de calor tanto exterior como interior se obtienen de la Tabla 20, sustraída de NBE CT-79 (tabla 2.1).

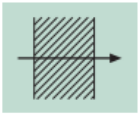
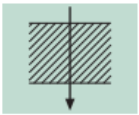
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		Situación del cerramiento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal > 60° y flujo horizontal		0,13 (0,11)	0,07 (0,06)	0,20 (0,17)	0,13 (0,11)	0,13 (0,11)	0,26 (0,22)
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤ 60° y flujo ascendente		0,11 (0,09)	0,06 (0,05)	0,17 (0,14)	0,11 (0,09)	0,11 (0,09)	0,22 (0,18)
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,20 (0,17)	0,06 (0,05)	0,26 (0,22)	0,20 (0,17)	0,20 (0,17)	0,40 (0,34)
		Resistencias térmicas superficiales en m² h °C/kcal (m² °C/W)					

Tabla 21: Valores de coeficiente superficial de transmisión de calor, exterior e interior

Para nuestro caso se tiene tanto para paredes como para suelo o losa, que respectivamente para cada uno los valores de los coeficientes superficiales son:

- Para muros

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0{,}20 \frac{m^2 K}{W}$$

- Para suelo o losa

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0{,}22 \frac{m^2 K}{W}$$

El valor de la conductividad térmica de cada material se extraerá de bibliografía.

Los valores que se deben evaluar según la norma CTE DB-HE: *"Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Ahorro de Energía"* son los siguientes:

Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica	$U_{máx}$(2)
Muros de fachada	0.86 W/m²K
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno	0.86 W/m²K
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables	0.86 W/m²K
Suelos	0.64 W/m²K
Cubiertas	0.49 W/m²K
Vidrios y marcos de huecos y lucernarios	3.50 W/m²K

Ilustración 28: Límites máximos de los coeficientes de transmisión de calor de los cerramientos

Material	Conductividad Térmica (W/mK)
Hormigón	1,63
Poliestireno Expandido	0,035
Mortero	0,85
Plástico	0,19
Bloque de hormigón	0,52
Madera de piso flotante	0,13
Vidrio	0,95
Panel 19 mm	0,031
Panel 34 mm	0,031
Tubería PEX (16*2 mm)	0,35

Tabla 22: Conductividades térmicas de diferentes materiales

- Muros

Se calculará el coeficiente térmico de los muros exteriores de la edificación, tomando en cuenta que todo el edificio comprende un mismo acabado, se debe considerar que para que el calor generado se mantenga dentro los ambientes, evitando pérdidas, se debe instalar en los cerramientos del muro un aislante de material poliestireno expandido. La conformación de los muros es la siguiente:

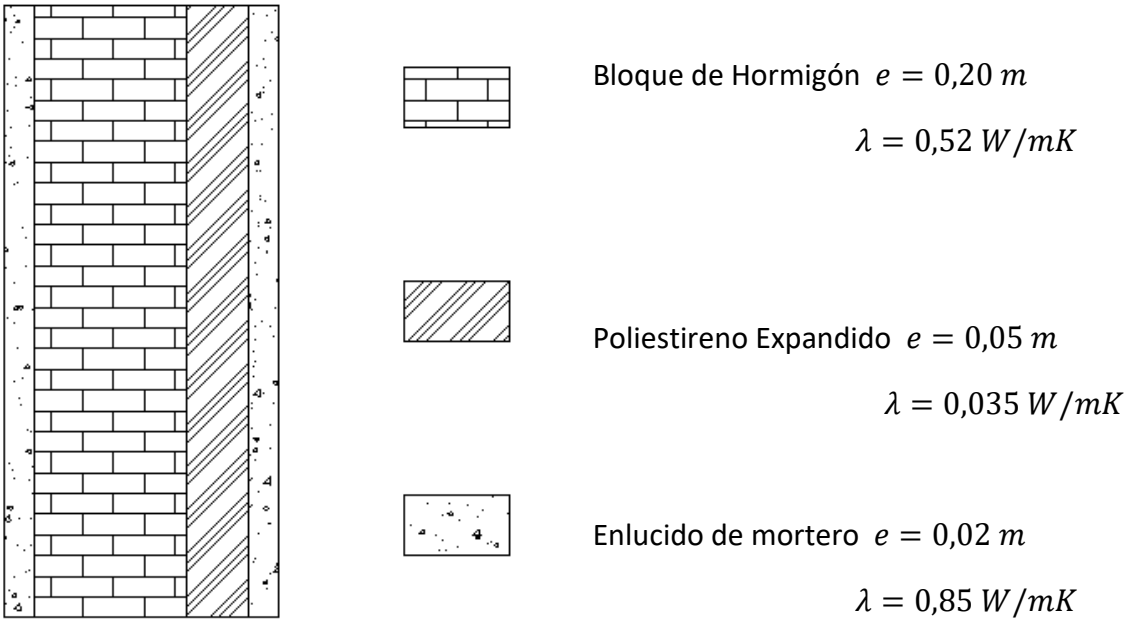


Ilustración 29: Composición de muros de fachada

Composición	Espesor ($\boldsymbol{m}$)	Conductividad térmica ($\boldsymbol{W/mK}$)
Enlucido de mortero	0,02	0,85
Bloque de hormigón	0,20	0,52
Poliestireno Expandido	0,05	0,035
Enlucido de mortero	0,02	0,85

Tabla 23: Características de los materiales en muros

$$K_m = \frac{1}{\left(\frac{0{,}02\ m}{0{,}85\ W/mK} + \frac{0{,}20\ m}{0{,}52\ W/mK} + \frac{0{,}05\ m}{0{,}035\ W/mK} + \frac{0{,}02\ m}{0{,}85\ W/mK}\right) + 0{,}20\,\frac{m^2K}{W}}$$

$$K_m = 0{,}485\,\frac{W}{m^2\,K}$$

- Suelo o Losa

Como especificado anteriormente se colocará un panel de mayor aislamiento en el primer piso en donde se colocará el sistema debido a que el nivel inferior a este no será calefactado, ayudando así a evitar pérdidas de calor.

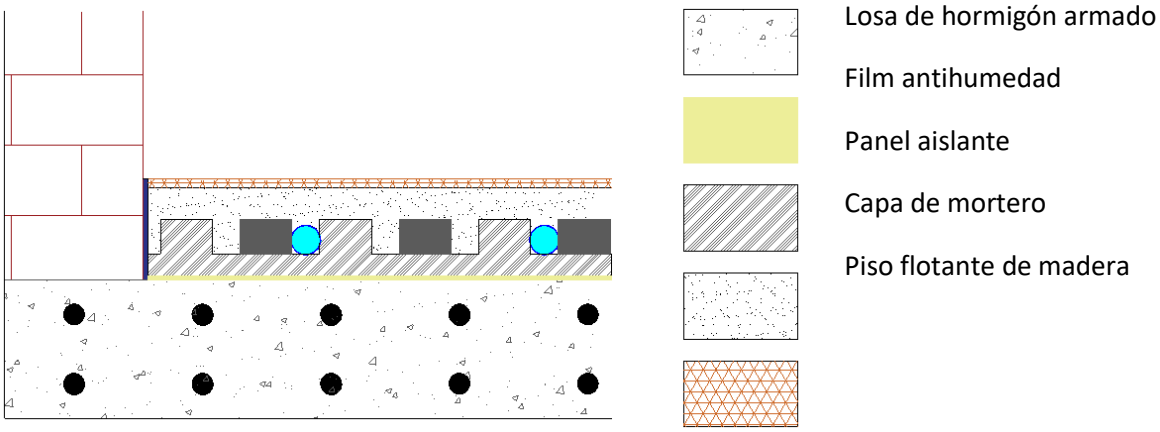


Ilustración 30: Composición de la losa de piso

Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
Hormigón armado	0,20	1.63
Plástico	0,002	0,19
Panel Aislante	0,034	0,035
Mortero	0,045	0,85
Piso de madera	0,01	0,13

Tabla 24: Características de los materiales en losas de entrepiso

$$K_m = \frac{1}{\left(\frac{0{,}20\ m}{1{,}63\ W/mK} + \frac{0{,}002\ m}{0{,}19\ W/mK} + \frac{0{,}034\ m}{0{,}031\ W/mK} + \frac{0{,}045\ m}{0{,}85\ W/mK} + \frac{0{,}01\ m}{0{,}13\ W/mK}\right) + 0{,}22\,\frac{m^2K}{W}}$$

$$K_m = 0{,}633\,\frac{W}{m^2\,K}$$

- Ventanas

En el caso de las ventanas se debe hacer referencia a la norma NBE CT – 79, la cual especifica las características térmicas de los materiales que componen una ventana. Se implementará en la edificación ventanas dobles con una cámara de aire, misma que ayuda a que la transmisión de calor sea mínima y evitar pérdidas.

Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m^2K/W)
Vidrio	0,004	0,95	
Cámara de aire	0,005		0,18
Vidrio	0,004	0,95	

Tabla 25: Características de los materiales en ventanas

$$K_m = \frac{1}{\left(\frac{0{,}004\ m}{0{,}95\ W/mK} + 0{,}18\frac{m^2K}{W} + \frac{0{,}004\ m}{0{,}95\ W/mK}\right) + 0{,}22\frac{m^2K}{W}}$$

$$K_m = 2{,}448\frac{W}{m^2\ K}$$

- Puertas

No se considerará puertas en el cálculo de transmisibilidad térmica, ya que, al ser un edificio en altura, y al no tener balcones, no existen puertas que estén en contacto directo con el exterior y que por lo consiguiente no existe posibilidad de pérdidas de calor por este medio.

4.3.1. Comprobación de los límites de transmisión térmica

Al haber calculado los coeficientes de transmisión térmica, se los comparará en las siguientes tablas:

Transmisión máxima en Cerramientos		
Cerramiento	$K\ (W/m^2K)$	$K_{max}\ (W/m^2K)$
Muro	0,485	0,86
Suelo o Losa	0,633	0,64
Ventanas	2,448	3,50

Tabla 26: Comprobación de transmisión térmica máxima

Podemos comprobar que los valores son menores a los máximos establecidos por norma. Constatando que el valor para losas es cercano al máximo, esto es debido a que al ser un suelo radiante el valor del coeficiente de transmisión térmica será lo más cercano al máximo.

4.3.3. Bases de Cálculo

Con el fin de realizar el cálculo del sistema de suelo radiante para consiguiente la instalación del mismo, se debe calcular la potencia que el sistema requiere, calculando la densidad de flujo térmico que en función del área a ser calefactada nos da el resultado de los kilovatios necesarios en la instalación para definir la potencia del sistema de bomba de calor y paneles solares.

Se debe empezar partiendo de las condiciones de temperatura máxima de la superficie de suelo para los recintos según el tipo de instalación, las cuales son definidas por normativa, UNE EN 1264.

Se debe hacer referencia a la misma norma para las ecuaciones del flujo térmico, que en base a estas se establece curvas características en función de la temperatura de la superficie del suelo. Dichas curvas son aplicables para cualquier clase de sistema de suelo radiante a instalar. Ya que el sistema el cual se realizará el diseño considera solo calefacción se usará la ecuación característica de este sistema en particular.

$$q_G = 8{,}92\left(\theta_{f,m} - \theta_i\right)^{1,1} \qquad (18)$$

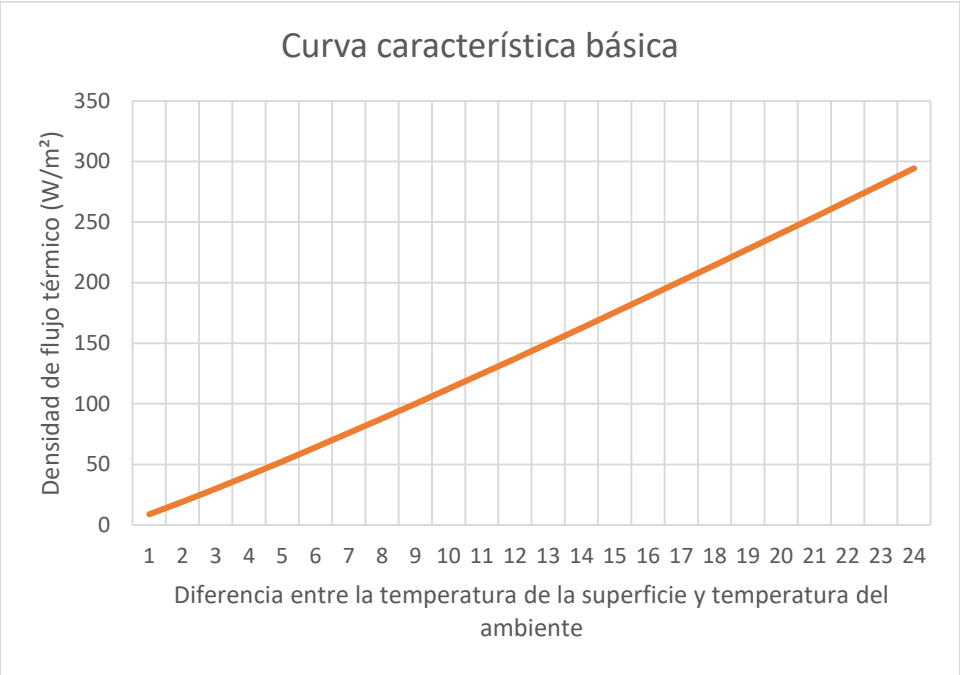
Donde:

$q_G =$ Densidad de flujo térmico límite, W/m^2

$\theta_{f,m} =$ Temperatura de la superficie del suelo, $°C$

$\theta_i =$ Temperatura del recinto, $°C$

Cabe mencionar que esta expresión proviene de la curva característica básica para el sistema de suelo radiante planteado, existiendo a su vez para cada tipo como: suelo refrescante, techo radiante/refrescante o pared radiante/refrescante.



Para el caso planteado se establece una temperatura del recinto en zonas de permanencia de 20°C y para zonas de baños y similares de 24°C, estableciendo que la temperatura de la superficie puede alcanzar los 29°C en zonas de permanencia y 33°C en zonas de baños y similares. Con los datos obtenidos de la norma para este tipo de instalación se tiene los siguientes resultados:

Tipo de Recinto	$\theta_{f,m}\ (°C)$	$\theta_i\ (°C)$	$q_G\ (W/m^2)$
Zona de permanencia	29	20	100
Baños y similares	33	24	100

Tabla 27: Densidad de flujo térmico según recintos

Estos valores determinan el flujo térmico máximo entregado por el sistema de calefacción, valores que no se puede sobrepasar, y mismos que usaremos para el cálculo de pontencia.

4.3.4. Ubicación de los colectores

Como mencionado anteriormente, los colectores tienen la función en conjunto con el equipo de producción de calor de impulsar y retornar del agua que recorre por los circuitos de suelo radiante. Al estar todos los circuitos conectados a los colectores, se debe asegurar que la ubicación del mismo sea lo más centrado posible respecto a la distancia de cada colector, con el objetivo de evitar mayores longitudes de tubería, ahorrando tanto en costo de la instalación, como en pérdidas de calor y fricción dentro de las tuberías.

Para cada tipo de arquitectura y tipo de edificio se tendrá una configuración diferente en referencia a la ubicación de los colectores y el numeró de circuitos en cada vivienda, tomando en cuenta que en el mercado se encuentra colectores de hasta 12 circuitos.

En la arquitectura dispuesta para nuestro cálculo se ha dividido los diferentes ambientes, tomando en cuenta que ciertos ambientes comprenden dos áreas que se dividen para asegurar que cada circuito cumpla la disposición por normativa de hasta 120 metros de longitud de tubería por cada circuito, que dentro de este recorrido se considera la longitud desde el colector hacia el circuito.

Como parte de la arquitectura se tiene cuatro departamentos, todos designados para la instalación de suelo radiante. Se dispone de dos tipos de diseños arquitectónicos, ayudando al diseño al solo realizarlo dos veces. Cabe mencionar que toda la instalación del sistema se realiza por el suelo, a excepción de las tuberías que conectan al montante de agua caliente con los colectores, que se instala por el techo.

Las ubicaciones de los colectores son previamente designadas para obtener los datos de áreas a climatizar, y realizado el trazado de tuberías de conexión de la distancia a colector (DAC). Se ubicará de la siguiente manera:

- Pisos uno y dos
  Se ubicará al colector a lado del ducto de tuberías en el hall de dormitorios.

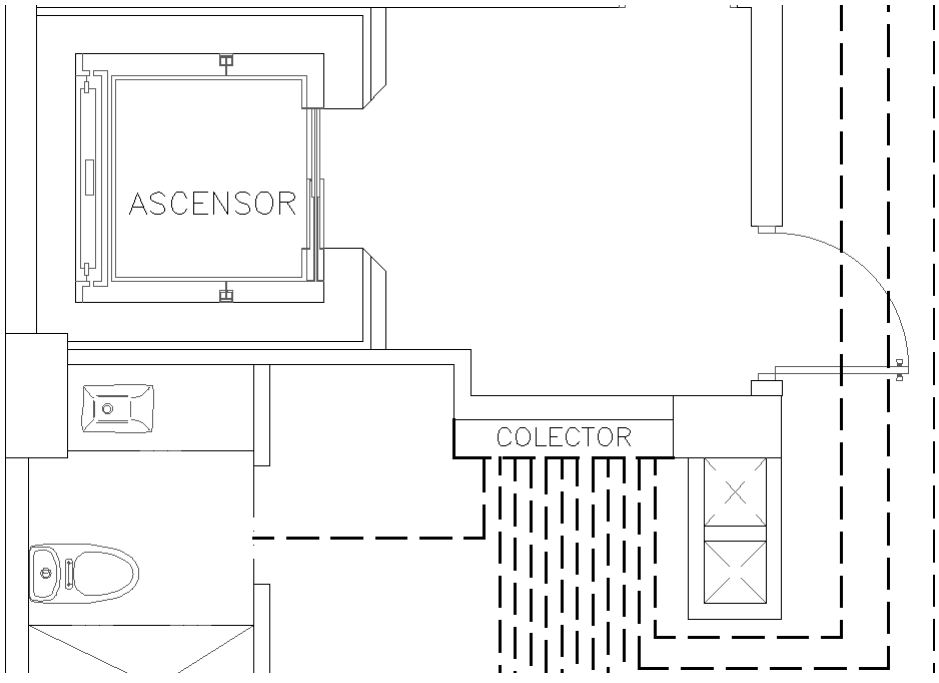


Ilustración 31: Ubicación del colector en los pisos uno y dos

- Pisos tres y cuatro

Igualmente se ubicará en el hall de dormitorios.

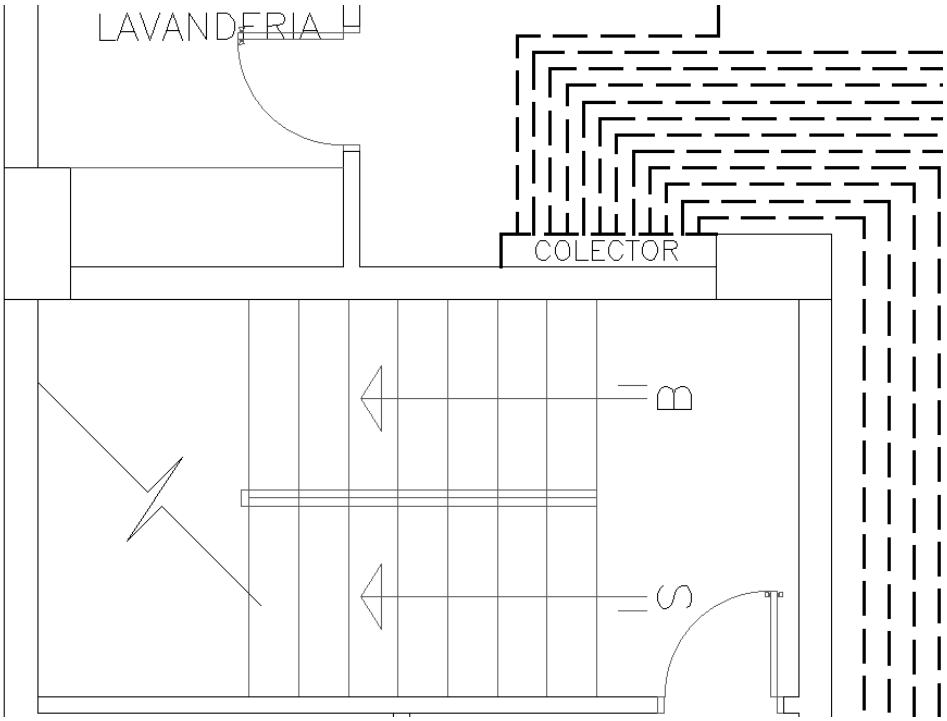


Ilustración 32: Ubicación del colector en los pisos tres y cuatro

A continuación, se describe los diferentes ambientes divididos para cada circuito con su respectiva superficie de instalación y distancia a colector (DAC).

Piso 1 Y Piso 2			
	ESTANCIA	**ÁREA**	**DAC**
Colector 1	BAÑO 1	1.98	13.36
	SALA 1	13.72	13.22
	SALA 2	12.34	11.8
	COMEDOR 1	12.06	13.35
	COMEDOR 2	12.87	15.57
	COCINA	9.05	14.82
	DORMITORIO 1	11.07	8.79
	BAÑO M	1.82	12.06
	DORMITORIO M1	9.47	8.94
	DORMITORIO M2	7.79	6.04
	DORMITORIO 2	13	4.68
	BAÑO C	1.62	2

Tabla 28: Distribución de ambientes en el piso 1 y piso 2

Piso 3 Y Piso 4			
	ESTANCIA	**ÁREA**	**DAC**
Colector 2	DORMITORIO 1	10.11	3.77

	BAÑO C	2.89	5.57
	DORMITORIO M1	10.74	7.69
	DORMITORIO M2	8.07	9.21
	BAÑO M	1.74	8.72
	DORMITORIO 2	12.8	6.83
	BAÑO 1	3.96	12.4
	SALA 1	12.1	10.94
	SALA 2	13.78	12.94
	COMEDOR 1	11.23	11.24
	COMEDOR 2	12.32	12.58
	COCINA	10.78	8.49

Tabla 29: Distribución de ambientes en el piso 3 y piso 4

4.3.5. Cálculo de longitudes de tubería de los circuitos

La longitud de tubería de cada uno de los circuitos se calcula con la siguiente expresión:

$$L = \frac{A}{e} + 2 * l \qquad (19)$$

Donde:

$L =$ Longitud de tubería del circuito, m

$A =$ Área climatizada del circuito, m^2

$e =$ Espaciamiento entre tuberías, m

$l =$ Distancia entre colector y área a climatizar, m

Para el cálculo de la longitud de tubería y para cálculos posteriores de la instalación, se requiere delimitar las áreas, tomando en cuenta la longitud máxima por circuito de tuberías, incluyendo la distancia al colector. A continuación, se muestra las áreas delimitadas y la conexión hacia el colector usando el software AutoCAD:

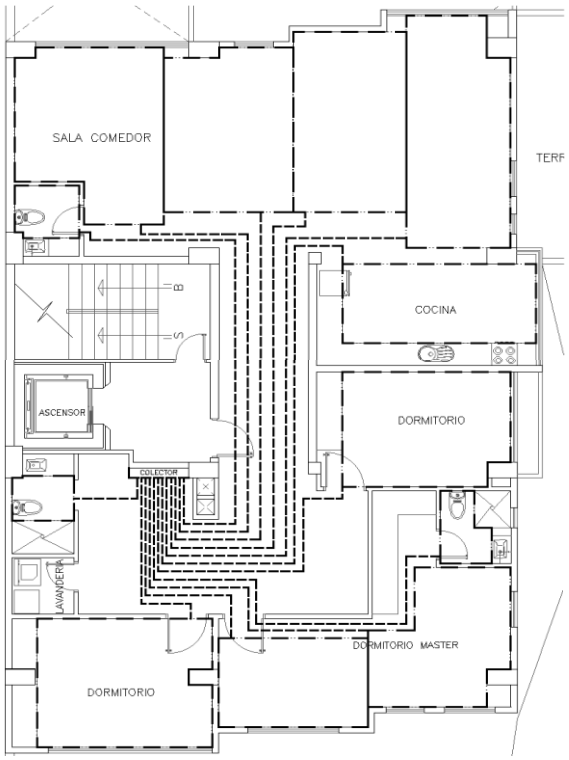


Ilustración 33: División de las áreas se suelo radiante piso 1 y 2

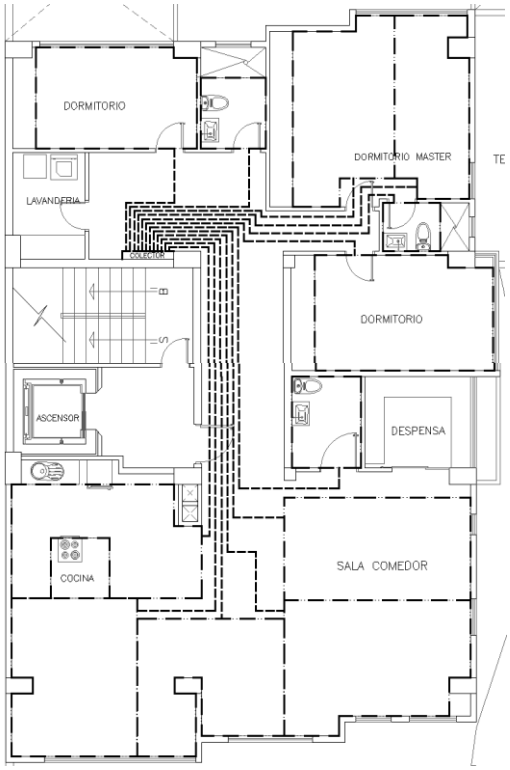


Ilustración 34: División de las áreas se suelo radiante piso 3y 4

Previamente determinados las áreas y dibujado el trazado de las tuberías de conexión entre colector y área a climatizar, se obtiene los siguientes datos:

Piso 1 Y Piso 2				
ESTANCIA	**ÁREA**	**DAC**	**PASO**	**LONGITUD**
BAÑO 1	1.98	13.36	0.1	**46.52**
SALA 1	13.72	13.22	0.15	**117.91**
SALA 2	12.34	11.8	0.15	**105.87**
COMEDOR 1	12.06	13.35	0.15	**107.10**
COMEDOR 2	12.87	15.57	0.15	**116.94**
COCINA	9.05	14.82	0.15	**89.97**
DORMITORIO 1	11.07	8.79	0.15	**91.38**
BAÑO M	1.82	12.06	0.1	**42.32**
DORMITORIO M1	9.47	8.94	0.15	**81.01**
DORMITORIO M2	7.79	6.04	0.15	**64.01**
DORMITORIO 2	13	4.68	0.15	**96.03**
BAÑO C	1.62	2	0.1	**20.20**

Tabla 30: Longitud de tubería en los circuitos en los pisos uno y dos

Piso 3 Y Piso 4				
ESTANCIA	**ÁREA**	**DAC**	**PASO**	**LONGITUD**
DORMITORIO 1	10.11	3.77	0.15	**74.94**
BAÑO C	2.89	5.57	0.1	**40.04**
DORMITORIO M1	10.74	7.69	0.15	**86.98**
DORMITORIO M2	8.07	9.21	0.15	**72.22**
BAÑO M	1.74	8.72	0.1	**34.84**
DORMITORIO 2	12.8	6.83	0.15	**98.99**
BAÑO 1	3.96	12.4	0.1	**64.40**
SALA 1	12.1	10.94	0.15	**102.55**
SALA 2	13.78	12.94	0.15	**117.75**
COMEDOR 1	11.23	11.24	0.15	**97.35**
COMEDOR 2	12.32	12.58	0.15	**107.29**
COCINA	10.78	8.49	0.15	**88.85**

Tabla 31: Longitud de tubería en los circuitos en los pisos tres y cuatro

4.3.6. Cálculo de la temperatura de impulsión

La temperatura de impulsión es una sola para toda la instalación y circuitos, la cual será la temperatura que la central de calentamiento tendrá que generar, es decir, la bomba de calor en conjunto con los paneles solares, cabe recalcar que dependiendo del tamaño de la instalación se deberá determinar cuántas bombas de calor y paneles solares se requieren para generar el calor necesario. La temperatura de impulsión se determina en base a la

estancia que tenga el mayor flujo térmico. Al ser un flujo térmico constante para toda la instalación se determinará a partir de este.

El cálculo de la temperatura de impulsión depende de varios factores que son referentes a la instalación y a transmisión térmica de la misma, factores como el espesor de la losa, el material, la tubería (diámetro, espesor, conductividad) y de las temperaturas de retorno y ambiente.

Se comienza calculando la desviación media de la temperatura aire – agua, que se obtiene de la siguiente expresión:

$$q = K_H * \Delta\theta_H \qquad (20)$$

Despejando:

$$\Delta\theta_H = \frac{q}{K_H}$$

Donde:

$q =$ densidad de flujo térmico, W/m^2

$K_H =$ Constante de la instalación

$\Delta\theta_H =$ desviación media de la temperatura aire – agua, K

La constante de la instalación se obtiene con la siguiente ecuación:

$$K_H = B * a_B * a_T^{m_T} * a_u^{m_u} * a_D^{m_D} \qquad (21)$$

- a_B: Factor de revestimiento del suelo

$$a_B = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{e_m}{\lambda_{rm}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{e_m}{\lambda_m} + R_{sup}} \qquad (22)$$

Donde:

$\alpha = 10{,}8 \frac{W}{m^2 K}$, Coeficiente de la capa para suelo radiante

$\lambda_{rm} = 1{,}0 \frac{W}{mK}$, Conductividad de referencia del mortero

$e_m = 0.045\ m$, Espesor de la capa de mortero

$\lambda_m = 0{,}85 \frac{W}{mK}$, Conductividad térmica del mortero

R_{sup} = Resistencia térmica del revestimiento superficial (madera de piso flotante)

$$R_{sup} = \frac{e_{cf}}{\lambda_{cf}} \quad (23)$$

$$R_{sup} = \frac{0{,}01\ m}{0{,}13\ \frac{W}{mK}}$$

$$R_{sup} = 0{,}077\ \frac{m^2K}{W}$$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación 21, obtenemos:

$$a_B = 0{,}619$$

- a_T: Factor de paso o espaciado de tubería

Se determina de la siguiente tabla en función de la resistencia térmica del revestimiento:

R_{sup}	0	0.05	0.10	0.15
a_T	1.23	1.188	1.156	1.134

Tabla 32: Factor de espaciado de paso de tuberías

$$R_{sup} = 0.077\ \frac{m^2K}{W}$$

Interpolando se obtiene:

$$a_T = 1{,}188 - \frac{(0{,}077 - 0{,}05) * (1{,}188 - 1{,}156)}{(0{,}10 - 0{,}05)}$$

$$a_T = 1.171$$

El exponente m_T se obtiene de la siguiente expresión:

$$m_T = 1 - \frac{T}{0{,}075} \quad (24)$$

En donde la expresión es válida cuando $0{,}05\ m \leq T \leq 0{,}375\ m$, donde T es la separación entre tuberías del sistema.

$$m_T = 1 - \frac{0{,}15}{0{,}075}$$

$$m_T = -1$$

- a_u: Factor de recubrimiento

Se obtiene de la siguiente tabla:

R_{sup}	0	0,05	0,10	0,15
T (m)	a_u			
0,05	1,069	1,056	1,043	1,037
0,075	1,066	1,053	1,041	1,035
0,10	1,063	1,05	1,039	1,0355
0,15	1,057	1,046	1,035	1,0305
0,20	1,051	1,041	1,0315	1,0275
0,225	1,048	1,038	1,0295	1,036
0,30	1,0395	1,031	1,024	1,021
0,375	1,03	1,022	1,018	1,015

Tabla 33: Factor de recubrimiento

$$R_{sup} = 0.077 \frac{m^2 K}{W}$$

$$T = 0{,}015\ m$$

Interpolando se obtiene:

$$a_u = 1{,}046 - \frac{(0{,}077 - 0{,}05) * (1{,}046 - 1{,}035)}{(0{,}10 - 0{,}05)}$$

$$a_D = 1{,}04$$

El exponente m_u se obtiene de la siguiente expresión:

$$m_u = 100(0{,}045 - e_m) \qquad (25)$$

En donde la expresión es válida cuando $e_m \geq 0{,}015\ m$, donde e_m es el espesor de la capa de mortero por encima de las tuberías.

$$m_u = 100\ (0{,}045 - 0{,}045)$$

$$m_u = 0$$

- a_D: Factor en función del diámetro exterior de la tubería

Se obtiene de la siguiente tabla:

R_{sup}	0	0,05	0,10	0,15
T (m)	a_u			
0,05	1,013	1,013	1,012	1,011

0,075	1,021	1,019	1,016	1,014
0,10	1,029	1,025	1,022	1,018
0,15	1,04	1,034	1,029	1,024
0,20	1,046	1,04	1,035	1,03
0,225	1,049	1,043	1,038	1,033
0,30	1,053	1,049	1,044	1,039
0,375	1,056	1,051	1,046	1,042

Tabla 34: Factor en función del diámetro exterior de la tubería

$$R_{sup} = 0.077 \frac{m^2 K}{W}$$

$$T = 0{,}015\ m$$

Interpolando se obtiene:

$$a_D = 1{,}034 - \frac{(0{,}077 - 0{,}05) * (1{,}034 - 1{,}029)}{(0{,}10 - 0{,}05)}$$

$$a_D = 1{,}031$$

El exponente m_u se obtiene de la siguiente fórmula:

$$m_D = 250(D - 0{,}020) \qquad (26)$$

En donde la expresión es válida cuando $0{,}01\ m \leq D \leq 0{,}03\ m$, donde D es el diámetro nominal de las tuberías.

$$m_D = 250\ (0{,}016 - 0{,}020)$$

$$m_D = -1$$

- B

Se obtiene de:

Tipo de superficie	$B\ (W/m^2K)$
Suelo radiante para calefacción	6,7
Suelo radiante para refrigeración	5,2

Tabla 35: Factor B

Siempre y cuando las tuberías cumplan las siguientes condiciones:

- Conductividad térmica

$$\lambda_t = 0{,}35\ W/mk$$

- Espesor

$$s_t = 0{,}002m = 2\ mm$$

Como la tubería seleccionada cumplen con las condiciones, se tiene que:

$$B = 6{,}7\ W/m^2K$$

Empleamos los datos obtenidos en la ecuación (20), con lo que obtenemos:

$$K_H = 6{,}7\frac{W}{m^2K} * 0{,}619 * 1{,}171^{-1} * 1{,}04^0 * 1{,}031^{-1}$$

$$K_H = 3{,}432\frac{W}{m^2K}$$

Usando este valor de la constante de la instalación, podemos calcular la desviación media de la temperatura aire – agua, $\Delta\theta_H$:

$$\Delta\theta_H = \frac{q}{K_H}$$

$$\Delta\theta_H = \frac{100\frac{W}{m^2}}{3{,}432\frac{W}{m^2K}}$$

$$\Delta\theta_H = 29{,}135\ K \text{ ó } 29{,}135\ °C$$

Finalmente, para el cálculo de la temperatura de impulsión desde la central de agua caliente se utiliza la siguiente expresión:

$$T_{imp} = T_{amb} + \frac{\Delta_{Ti-Tr}}{1 - e^{\frac{-\Delta_{Ti-Tr}}{\Delta\theta_H}}} \qquad (27)$$

Donde:

T_{amb} = Temperatura ambiente en la vivienda, K

T_{imp} = Temperatura de impulsión, K

Δ_{Ti-Tr}= Diferencia entre la temperatura de impulsión y de retorno en el circuito, K

La temperatura ambiente y la diferencia de temperatura de impulsión y de retorno se establecen por norma, la cual establece que una temperatura ambiente apropiada es $20°C\ o\ 20K$, además que el valor de Δ_{Ti-Tr} que no debe ser menor a $4K$ o mayor a $6K$, por lo que se tomara un valor de $5K$. Obteniendo así:

$$T_{imp} = 20K + \frac{5K}{1 - e^{-\frac{5K}{29{,}135K}}}$$

$$T_{imp} = 51{,}706\ K$$

Por esta razón se establece que se debe tener una temperatura de impulsión hacia los circuitos de $\mathbf{55°}\boldsymbol{C}$

4.3.7. Potencia de calefacción necesaria para la instalación

La potencia que se necesita generar desde la central caliente, compuesta por bombas de calor y paneles solares, la demanda principal de agua caliente proviene del sistema de suelo radiante, potencia la que se calcula directamente con la densidad de flujo térmico calculado y la superficie en donde el sistema se instalará, teniendo así:

Piso 1 Y Piso 2				
ESTANCIA	**ÁREA**	**θi (°C)**	**θr (°C)**	**POTENCIA (kW)**
BAÑO 1	1.98	55,00	50	0,198
SALA 1	13,72		50	1,372
SALA 2	12,34		50	1,234
COMEDOR 1	12,06		50	1,206
COMEDOR 2	12,87		50	1,287
COCINA	9,05		50	0,905
DORMITORIO 1	11,07		50	1,107
BAÑO M	1,82		50	0,182
DORMITORIO M1	9,47		50	0,947
DORMITORIO M2	7,79		50	0,779
DORMITORIO 2	13		50	1,300
BAÑO C	1,62		50	0,162
	106,79			**10,679**

Tabla 36: Potencia necesaria para piso 1 y 2

Piso 3 Y Piso 4				
ESTANCIA	**ÁREA**	**θi (°C)**	**θr (°C)**	**POTENCIA (kW)**
DORMITORIO 1	10,11	55,00	50	1,011
BAÑO C	2,89		50	0,289
DORMITORIO M1	10,74		50	1,074
DORMITORIO M2	8,07		50	0,807
BAÑO M	1,74		50	0,174
DORMITORIO 2	12,8		50	1,280
BAÑO 1	3,96		50	0,396
SALA 1	12,1		50	1,210
SALA 2	13,78		50	1,378

COMEDOR 1	11,23		50	1,123
COMEDOR 2	12,32		50	1,232
COCINA	10,78		50	1,078
	110,52			**11,052**

Tabla 37: Potencia necesaria para piso 3 y 4

Sumando los cuatro pisos de departamentos en donde se debe colocar la instalación, suma un total de **43,46 kW** que el sistema de calentamiento debe suministrar al sistema.

4.3.8. Cálculo del caudal de agua en los circuitos

Se realiza el cálculo del caudal para cada circuito, utilizando la siguiente expresión:

$$m_H = \frac{A_F \cdot q}{\sigma \cdot c_w}\left(1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{\theta_i - \theta_u}{q \cdot R_u}\right) \qquad (28)$$

Donde:

$m_H =$ Caudal del circuito, l/h

$A_F =$ Área donde se encuentra el circuito, m^2

$q =$ Densidad de flujo térmico, W/m^2

$\sigma =$ Salto de temperatura (diferencia entre temperatura de ida y retorno), K

$c_w =$ Calor específico del agua, $W \cdot s/g \cdot K$

$R_o =$ Resistencia térmica parcial ascendente del suelo, m^2K/W

$R_u =$ Resistencia térmica parcial descendente del suelo, m^2K/W

$\theta_u =$ Temperatura del recinto inferior, K

$\theta_i =$ Temperatura del recinto, K

Evidentemente al ser un sistema que irradia calor hacia la superficie, para el calentamiento del ambiente, la resistencia ascendente deberá ser menor a la descendente, y viceversa en la conductividad del sistema, en donde la conductividad descendente deberá ser lo mínima posible.

Los valores de ambas resistencias se determinan por medio de las siguientes expresiones:

$$R_o = \frac{1}{\alpha} + R_m + R_{sup} \qquad (29)$$

Donde:

$\frac{1}{\alpha} =$ Inverso del coeficiente de la capa para suelo radiante, m^2K/W

$R_m =$ Resistencia térmica de la capa de mortero, m^2K/W

R_{sup} = Resistencia térmica del material del terminado de piso, m^2K/W

$$R_u = R_{\lambda 1} + R_{\lambda 2} + R_{\lambda 3} + R_\alpha \qquad (30)$$

Donde:

$R_{\lambda 1}$ = Resistencia térmica del aislante, m^2K/W

$R_{\lambda 2}$ = Resistencia térmica de la losa, m^2K/W

$R_{\lambda 3}$ = Resistencia térmica del falso techo, m^2K/W

R_α = Resistencia térmica del techo, m^2K/W

Esquemáticamente estos valores se los representa de la siguiente forma:

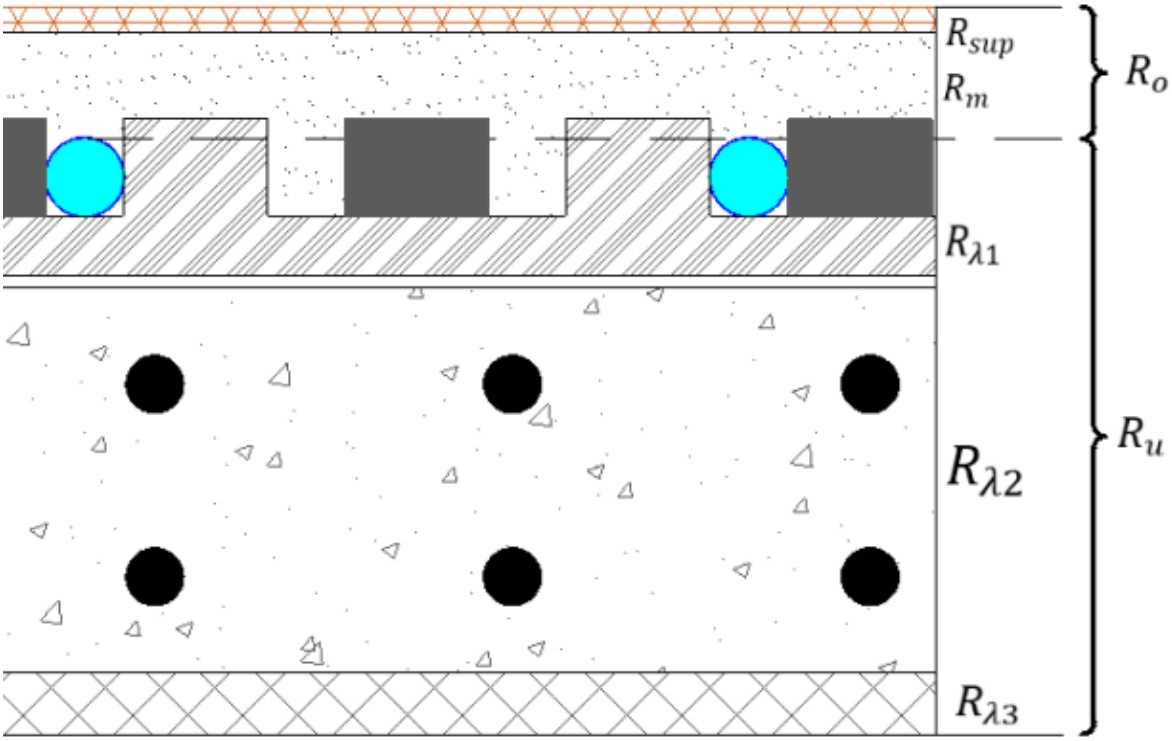


Ilustración 35: Concepto de las resistencias ascendentes y descendentes

Los valores para calcular el caudal son:

$$\sigma = 5\ K$$

$$c_w = 1000\,\frac{cal}{kg\ K} = 4190\,\frac{W\ s}{kg\ K}$$

$$\frac{1}{\alpha} = 0{,}093\,\frac{m^2K}{W}$$

$$R_m = 0{,}053\,\frac{m^2K}{W}$$

$$R_{sup} = 0{,}077\,\frac{m^2K}{W}$$

$$\therefore R_o = 0{,}22\,\frac{m^2K}{W}$$

$$R_{\lambda 1} = 1{,}097\,\frac{m^2K}{W}$$

$$R_{\lambda 2} = 0{,}123\,\frac{m^2K}{W}$$

$$R_{\lambda 3} = 0{,}25\,\frac{m^2K}{W}$$

$$R_{\alpha} = 0{,}17\,\frac{m^2K}{W}$$

$$\therefore R_u = 1{,}639\,\frac{m^2K}{W}$$

Los valores de las temperaturas, tanto del recinto inferior como superior se considerarán que son las mismas.

Con los datos obtenidos se tiene los siguientes caudales para cada circuito:

Piso 1 Y Piso 2			
ESTANCIA	**ÁREA**	**CAUDAL** $(\boldsymbol{lt/s})$	**CAUDAL** $(\boldsymbol{lt/h})$
BAÑO 1	1,98	0,007	26,978
SALA 1	13,72	0,052	186,940
SALA 2	12,34	0,047	168,137
COMEDOR 1	12,06	0,046	164,322
COMEDOR 2	12,87	0,049	175,359
COCINA	9,05	0,034	123,310
DORMITORIO 1	11,07	0,042	150,833
BAÑO M	1,82	0,007	24,798
DORMITORIO M1	9,47	0,036	129,032
DORMITORIO M2	7,79	0,029	106,142

DORMITORIO 2	13	0,049	177,130
BAÑO C	1,62	0,006	22,073

Tabla 38: Caudales de circuitos en los pisos 1 y 2

Piso 3 Y Piso 4			
ESTANCIA	**ÁREA**	**CAUDAL (lt/s)**	**CAUDAL (lt/h)**
DORMITORIO 1	10,11	0,038	137,753
BAÑO C	2,89	0,011	39,377
DORMITORIO M1	10,74	0,041	146,337
DORMITORIO M2	8,07	0,031	109,957
BAÑO M	1,74	0,007	23,708
DORMITORIO 2	12,8	0,048	174,405
BAÑO 1	3,96	0,015	53,957
SALA 1	12,1	0,046	164,867
SALA 2	13,78	0,052	187,758
COMEDOR 1	11,23	0,043	153,013
COMEDOR 2	12,32	0,047	167,865
COCINA	10,78	0,041	146,882

Tabla 39: Caudales de circuitos en los pisos 3 y 4

Se debe tomar en consideración que estos valores fueron obtenidos a partir de valores obtenidos de diferentes bibliografías, por lo que pueden ser susceptibles a no ser equivalentes a lo que se disponga en la realidad, ya que estos valores además del material de lo cual estén compuestos también dependen de la correcta construcción e instalación de los mismos.

Posteriormente para corroborar los cálculos realizados se comparará los resultados obtenidos con la ayuda de "*Uponor Estimaciones"*, el cual es una herramienta virtual que permite de forma sencilla realizar los cálculos necesarios para realizar el diseño de una instalación de suelo radiante. Adicionalmente, tiene como ventaja que permite obtener los componentes de la instalación el coste de la misma.

4.3.9. Cálculo de pérdidas en los circuitos

El cálculo de pérdidas de fricción en la longitud de las tuberías de los circuitos se calculará mediante la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \cdot \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} \qquad (31)$$

Donde:

$h_f =$ Pérdida de carga, m

$f =$ Coeficiente de fricción de la tubería

$L =$ Longitud del circuito, m

$v =$ Velocidad del agua en la tubería, m/s

$D =$ Diámetro interno de la tubería, m

$g =$ Gravedad, $9{,}81\ m/s^2$

Debemos obtener una expresión que nos permita realizar los cálculos con los datos previamente obtenidos, por lo cual se debe obtener la ecuación de Darcy-Weisbach en función del caudal:

$$v^2 = \frac{16Q^2}{\pi^2 \cdot D^4}$$

$$h_f = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{D^5 \cdot \pi^2 \cdot g} \qquad (32)$$

El coeficiente de fricción, f, en un régimen de flujo turbulento, se ha tratado de determinar de manera matemática por muchos investigadores a lo largo de los años, llegando a la conclusión de que la menor manera de encontrar el mismo es por medio del diagrama de Moody, que involucra además del coeficiente de fricción y el número de Reynolds, la rugosidad relativa del material de la tubería, razón por la cual se usará para este cálculo.

El número de Reynolds se lo obtiene de la siguiente manera:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \qquad (33)$$

Donde:

$\rho =$ Densidad del agua, $1000\ kg/m^3$

$v =$ Velocidad, m/s

$D =$ Diámetro interno, m

$\mu =$ Viscosidad dinámica del fluido, $0{,}001\ kg/m \cdot s$

La norma UNE EN - 1264 sobre los sistemas de calefacción de circulación de agua, estable que la velocidad idónea dentro de los circuitos de suelo radiante es de $0{,}35\ m/s$. Por lo que se tomará este valor para el cálculo del número de Reynolds de toda la instalación.

$$Re = 4200$$

Valor que indica claramente que el tipo flujo es turbulento, por lo que se procederá con el diagrama de Moody. Para lo cual necesitaremos de la rugosidad relativa:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0{,}007\ mm}{12\ mm} = 0{,}00058$$

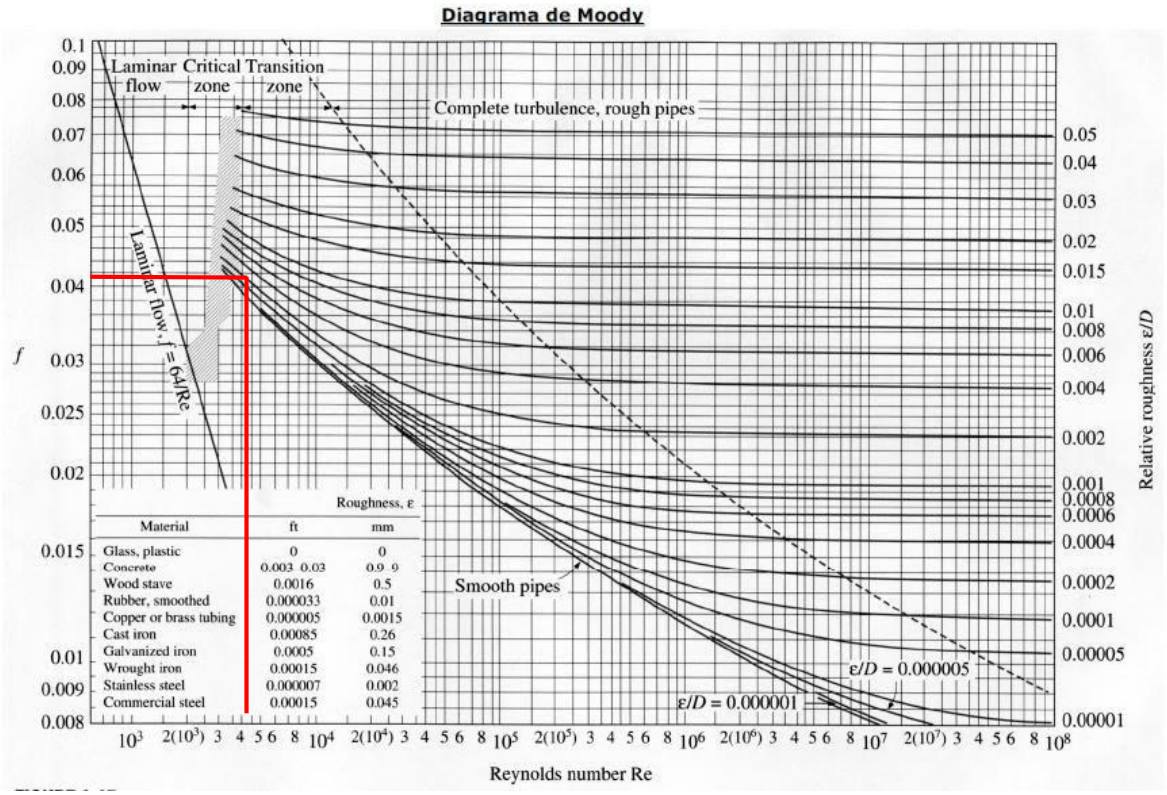


Ilustración 36: Diagrama de Moody

Se obtiene un coeficiente de fricción de $f = 0{,}04$.

Los resultados son los siguientes:

Piso 1 Y Piso 2					
ESTANCIA	**Ø (mm)**	**CAUDAL (l/h)**	**CAUDAL (l/s)**	**Perdidas (m)**	**Perdidas (kPa)**
BAÑO 1	16	44,19	0,012	0,093	0,91
SALA 1	16	170,16	0,047	3,499	34,31

SALA 2	16	152,79	0,042	2,533	24,84
COMEDOR 1	16	154,57	0,043	2,622	25,72
COMEDOR 2	16	168,77	0,047	3,414	33,48
COCINA	16	129,85	0,036	1,555	15,25
DORMITORIO 1	16	131,88	0,037	1,629	15,97
BAÑO M	16	40,2	0,011	0,070	0,69
DORMITORIO M1	16	116,92	0,032	1,135	11,13
DORMITORIO M2	16	92,38	0,026	0,560	5,49
DORMITORIO 2	16	138,59	0,038	1,890	18,54
BAÑO C	16	19,19	0,005	0,008	0,07
			0,378		34,31

Tabla 40: Perdidas de carga de fricción en los circuitos de los pisos 1 y 2

Piso 3 Y Piso 4					
ESTANCIA	Ø (mm)	CAUDAL (l/h)	CAUDAL (l/s)	Perdidas (m)	Perdidas (kPa)
DORMITORIO 1	16	108,15	0,030	0,898	8,81
BAÑO C	16	38,03	0,011	0,059	0,58
DORMITORIO M1	16	125,53	0,035	1,405	13,78
DORMITORIO M2	16	104,23	0,029	0,804	7,89
BAÑO M	16	33,09	0,009	0,039	0,38
DORMITORIO 2	16	142,95	0,040	2,073	20,33
BAÑO 1	16	61,17	0,017	0,247	2,42
SALA 1	16	148,01	0,041	2,302	22,58
SALA 2	16	169,93	0,047	3,485	34,17
COMEDOR 1	16	140,49	0,039	1,969	19,31
COMEDOR 2	16	154,85	0,043	2,637	25,86
COCINA	16	128,23	0,036	1,497	14,68
			0,376		170,79

Tabla 41: Perdidas de carga de fricción en los circuitos de los pisos 3 y 4

4.3.10. Selección de las bombas de circulación por piso

Es necesario colocar una pequeña bomba en cada departamento, la cual se instala dentro del gabinete del colector. Se debe seleccionar una bomba para el circuito más desfavorable.

Dentro del mercado se encuentran varias alternativas para este tipo de instalación, las cuales además de tener incorporado el grupo de impulsión, poseen otras características como sensores de temperatura, control de presión, etc. De las alternativas se debe seleccionar la bomba apropiada que mejor se adapte a las necesidades del sistema. Como ejemplo se puede seleccionar de la marca *Uponor*, la bomba denominada "*Uponor Fluvia Move grupo impulsión PPG-30-A-W",* la cual tiene las siguientes especificaciones:

Especificación:

- Grupo de impulsión pre-montado con control de temperatura.
- Sensor de temperatura exterior.
- Sensor de temperatura del agua para la temperatura de suministro.
- Válvula de mezcla de 3 vías.
- Válvula motorizada.
- Controlador de presión.

Aplicacies:

- Para el control de temperatura del agua de suministro compensado por el clima.
- Max. temperatura 90 ° C primario.
- Max. Presión secundaria: 6 bar a 60 ° C.
- Bomba Para **1-8, Q: 0,1 - 8,3m³/h, H: 8-2 m** EEI.



Ilustración 37: Uponor Fluvia Move grupo impulsión PPG-30-A-W

(Uponor S.A.U., 2019)

4.4. Comprobación de resultados con la herramienta virtual Uponor Estimaciones

Uponor es una empresa dedicada a todo sistema constructivo que implique distribución de agua, como sistemas de agua potable, agua caliente sanitaria, sistemas de calentamiento

como paredes radiantes, techo radiante o suelo radiante. De igual manera esta empresa ofrece al mercado equipos electrónicos y mecánicos que complementan este tipo de instalaciones.

Una de las especialidades de Uponor es el sistema de climatización invisible por suelo radiante, que para este tipo de instalación nos ayuda con la herramienta virtual denominada Uponor Estimaciones, la cual nos ayuda realizando una estimación simplificada de los cálculos, costos y cantidad de materiales que se necesita para una instalación de suelo radiante.

Se omitirá el proceso de ingreso de datos, obteniendo los resultados de los cálculos primeramente y comparándolos con los obtenidos previamente:

	Estancia	Área	DAC	Paso	WC	Nº Cir.	Long.	Pav.	Caudal l/h	Pdc(kPa)	Caudal l/m
1.	BAÑO 1	1,98	13,36	10 cm	☑	1	46,52	0,02	44,19	1,07	0,74
2.	SALA 1	13,72	13,22	15 cm	☐	1	117,91	0,10	170,16	28,62	2,84
3.	SALA 2	12,34	11,8	15 cm	☐	1	105,87	0,10	152,79	21,28	2,55
4.	COMEDOR 1	12,06	13,35	15 cm	☐	1	107,1	0,10	154,57	21,97	2,58
5.	COMEDOR 2	12,87	15,57	15 cm	☐	1	116,94	0,10	168,77	27,98	2,81
6.	COCINA	9,05	14,82	15 cm	☐	1	89,97	0,10	129,85	13,6	2,16
7.	DORMITORIO 1	11,07	8,79	15 cm	☐	1	91,38	0,10	131,88	14,2	2,2
8.	BAÑO M	1,82	12,06	10 cm	☑	1	42,32	0,02	40,2	0,82	0,67
9.	DORMITORIO M1	9,47	8,94	15 cm	☐	1	81,01	0,10	116,92	10,2	1,95
10.	DORMITORIO M2	7,79	6,04	15 cm	☐	1	64,01	0,10	92,38	5,33	1,54
11.	DORMITORIO 2	13	4,68	15 cm	☐	1	96,03	0,10	138,59	16,27	2,31
12.	BAÑO COMP	1,62	2	10 cm	☑	1	20,2	0,02	19,19	0,11	0,32
Totales		**106,79 m²**				**12**			**1359,48 l/h**	**29,64**	**0,38 l/s**

Ilustración 38: Resultados con Uponor Estimaciones del piso 1 y 2

	Estancia	Área	DAC	Paso	WC	Nº Cir.	Long.	Pav.	Caudal l/h	Pdc kPa	Caudal l/m
1.	DORMITORIO 1	10,11	3,77	15 cm	☐	1	74,94	0,10 l	108,15	8,23	1,8
2.	BAÑO C	2,89	5,57	10 cm	☑	1	40,04	0,02	38,03	0,71	0,63
3.	DORMITORIO M1	10,74	7,69	15 cm	☐	1	86,98	0,10 l	125,53	12,4	2,09
4.	DORMITORIO M2	8,07	9,21	15 cm	☐	1	72,22	0,10 l	104,23	7,43	1,74
5.	BAÑO M	1,74	8,72	10 cm	☑	1	34,84	0,02	33,09	0,48	0,55
6.	DORMITORIO 2	12,8	6,86	15 cm	☐	1	99,05	0,10 l	142,95	17,72	2,38
7.	BAÑO 1	3,96	12,4	10 cm	☑	1	64,4	0,02	61,17	2,61	1,02
8.	SALA 1	12,1	10,94	15 cm	☐	1	102,55	0,10 l	148	19,49	2,47
9.	SALA 2	13,78	12,94	15 cm	☐	1	117,75	0,10 l	169,93	28,51	2,83
10.	COMEDOR 1	11,23	11,24	15 cm	☐	1	97,35	0,10 l	140,49	16,9	2,34
11.	COMEDOR 2	12,32	12,58	15 cm	☐	1	107,29	0,10 l	154,85	22,08	2,58
12.	COCINA	10,78	8,49	15 cm	☐	1	88,85	0,10 l	128,23	13,14	2,14

Añadir estancia

Totales	110,52 m²			12			1354,65 l/h	29,53	0,38 l/s

Ilustración 39: Resultados con Uponor Estimaciones del piso 3 y 4

Se puede comprobar que los resultados son similares a los obtenidos con un cálculo manual por lo cual se considera correcto ambos métodos.

4.5. Estimación de materiales

Se hará referencia al catálogo de productos que ofrece Uponor, para determinar la cantidad de materiales necesitará la instalación diseñada, en la cual ciertos materiales requieren instalar en toda la extensión de los departamentos.

- Colectores

Se requiere un total de 4 colectores para toda la instalación, uno por piso. Como explicado anteriormente los colectores dependen del número de circuitos en cada piso de la instalación, de 12 salidas para circuitos. Los colectores vendrán con caudalímetros para cada circuito.

Especificación:

- Colectores para climatización.
- Con caudalímetros.
- Colector de impulsión con caudalímetro para equilibrado.
- Colector de retorno con tapones.
- Purgadores integrados y válvulas de llenado y drenaje en el suministro y retorno.
- Separación entre circuitos: 50 mm.
- Fabricado en fibra de vidrio reforzado con poliamida.

Aplicaciones:

- Para calefacción y refrigeración por suelo radiante.
- Max. Presión: 6 bar a 60 ° C.



Ilustración 40: Uponor Vario M colector con caudalímetro FM

Adicionalmente se debe colocar curvatubos en las tuberías que salen y llegan desde los circuitos, debido a que se debe colocar en verticalmente al colector y horizontal en los paneles, esta curvatura puede provocar que las tuberías se doblen de forma que se puedan dañar o taponar. Se coloca dos curvatubos por cada circuito, es decir un total de 96.



Ilustración 41: Curvatubos

- Film de protección

El film antihumedad de la marca Uponor se lo encuentra en rollos de 1x200 metros. La instalación se la colocará un total de 434,62 metros cuadrados, sin embargo, esta superficie solo hace referencia donde los circuitos se encuentran, lo que significa que se debe instalar este elemento y otros más en toda la extensión de los ambientes, sobre todo en las zonas en donde se colocará las tuberías de conexión desde el colector hacia los circuitos.

Mediante el dibujo en AutoCAD podemos determinar que la superficie total es de 620 metros cuadrados, por lo que se requiere 4 rollos con un total de 800 metros cuadrados.



Ilustración 42: Multi film antihumedad Uponor

- Banda perimetral

Al igual que el film antihumedad, el zócalo perimetral se debe instalar en toda la extensión de la obra.

El zócalo perimetral Uponor Multi Auto fijación tiene una dimensión de 150x10 mm y se vende en rollos de 50 metros de longitud. Con AutoCAD se determinó que se necesita colocar un total de 542,42 metros, por lo que se requiere 11 rollos de zócalo perimetral.



Ilustración 43: Uponor Minitec zócalo adhesivo

- Panel aislante

Al igual que el film de protección, los paneles aislantes se deben colocar en toda la extensión de la instalación, es decir 620 metros cuadrados.

Los paneles tienen dimensiones de 1450x850 mm, una superficie de 1,23 metros cuadrados. Los paneles vienen en cajas de 15 paneles, es decir 18,45 metros cuadrados.

La instalación requiere 504 paneles en total, considerando las pérdidas por la instalación se considera 525 paneles, un total de 35 cajas que se deben comprar.



Ilustración 44: Panel Nubos 1450x850x19

- Tubería

La tubería es de dimensiones de 16 mm de diámetro exterior y 2 mm de espesor, la cual cumple con las normativas para este tipo de instalación. La cantidad de tubería que se debe instalar es la calculada previamente que incorpora la distancia hacia el colector, lo que nos da un total de 3930,91 metros de longitud de tubería.

Las tuberías se venden en rollos de 640 y 240 metros de longitud, realizando la estimación se determina que se debe adquirir 6 rollos de 640 metros de longitud y un rollo de 240 metros, dando un total de 4080 metros de tubería.



Ilustración 45: Tubería 16x2 mm

- Mortero

La capa de mortero igualmente se debe colocar en toda la extensión de los departamentos, que tiene una superficie total de 620 metros cuadrados, con un espesor de 45 mm, se requiere un total de 27,9 metros cúbicos de mortero par toda la instalación.

El alcance de esta disertación no implica las especificaciones de la mezcla del mortero, como es cantidades de cemento, arena y agua, sin embargo, se especifica que se debe añadir a la mezcla un aditivo que mejora las propiedades, elimina el aire y facilita la adhesión a la tubería y paneles del sistema.

4.6. Esquematización del sistema de Tuberías

Previamente como se pudo constatar se realizó la delimitación de las diferentes áreas que conformarán los diferentes circuitos de calefacción, estas mismas divisiones se usarán para trazar los circuitos dentro de cada área. Se usará el software Cype 2016 para realizar los planos de la instalación de suelo radiante, posteriormente se describirá el proceso de la modelación.

Las diferentes áreas de los circuitos se muestran a continuación:

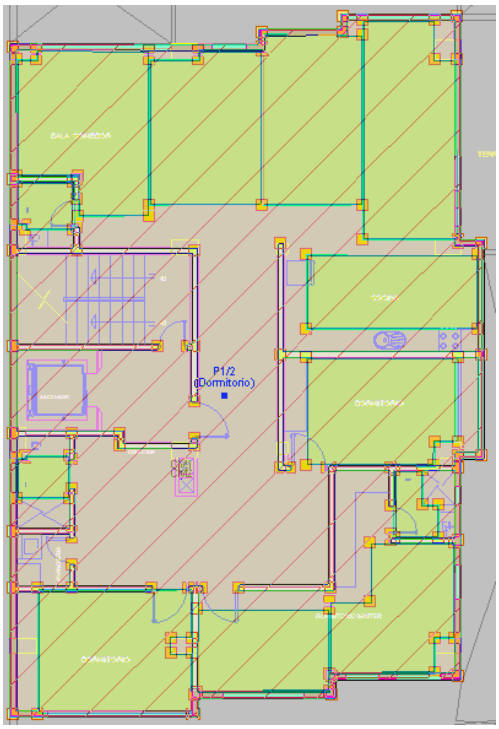


Ilustración 46: División de áreas para suelo radiante en piso 1 y 2

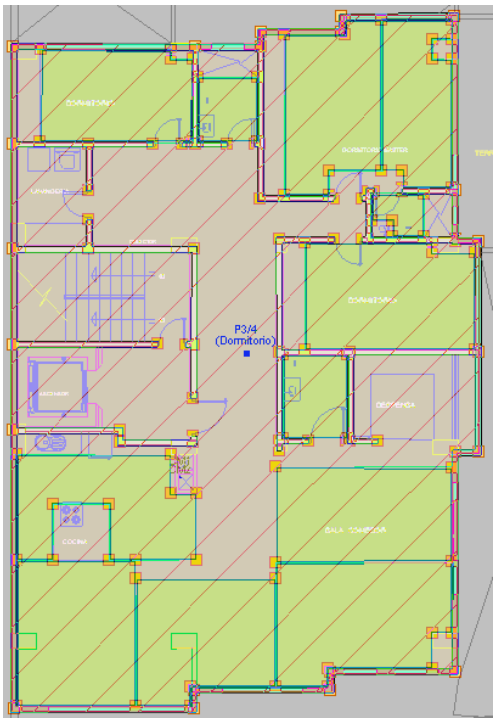


Ilustración 47: División de áreas para suelo radiante en piso 3 y 4

A continuación, se presenta el trazado de los circuitos en las diferentes áreas que el software realiza automáticamente:

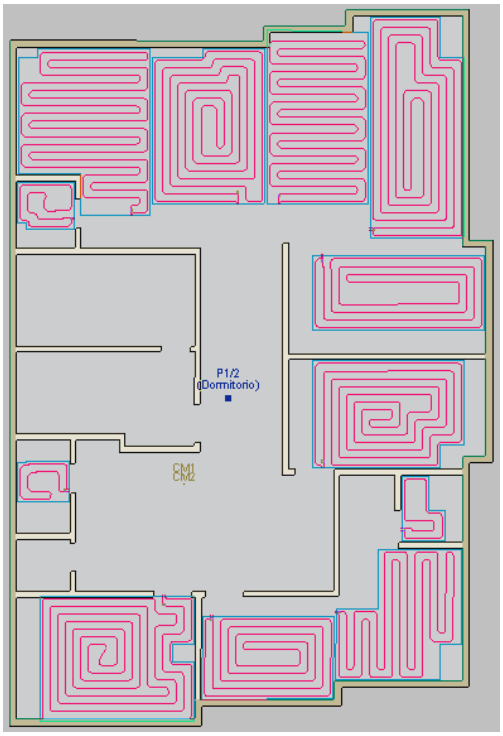


Ilustración 48: Trazado de los circuitos del piso 1 y 2

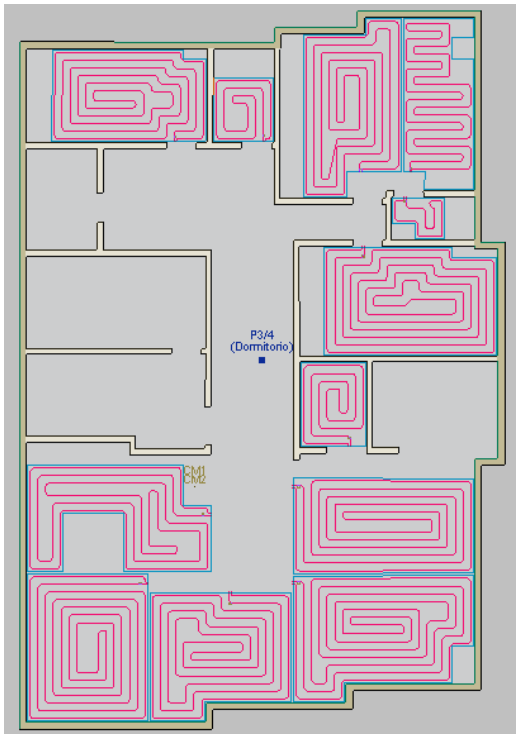


Ilustración 49: Trazado de los circuitos del piso 3 y 4

Los resultados que nos da el programa se presentarán en el Capítulo 7

5. Capítulo 5: Estimación de la generación de energía

Previamente en el capítulo 2 definimos como sería el sistema centralizado de calentamiento de agua, Una de las principales características que se tiene en este sistema de calefacción mixto, en donde se debe usar la energía tanto para el sistema de agua caliente sanitaria (ACS) como para el sistema de calefacción por suelo radiante, es que la demanda de agua viene dada por el sistema de agua potable, sin embargo, la demanda de energía para agua caliente viene dado por el sistema de suelo radiante.

Previamente con el dimensionamiento del sistema de suelo radiante se determinó que se requiere de una potencia de 43, 462 kW para que el sistema funcione de forma correcta, como se pudo verificar, este resultado requiere de cálculos previos del sistema, como cargas térmicas, número de estancias, circuitos, etc. sin embargo, esta potencia es la requerida simplemente por el sistema de calefacción, adicional a esta se debe calcular la potencia necesaria que el sistema de ACS también exige, tomando en cuenta que se deberá suministrar al sistema centralizado de agua caliente lo que requieren ambos sistemas.

De igual forma se debe considerar los escenarios probables más críticos para cada sistema. En este caso el escenario más crítico es cuando ambos sistemas requieran de calentamiento y a su vez sea un día nublado o sea de noche, por lo cual se debe tomar en cuenta que en este escenario la generación de agua caliente será completamente suministrada por las bombas de calor, más no por los paneles solares, es por esta razón que la selección del número y potencia de las bombas de calor es considerando que no se dispone de la potencia que aportan los paneles solares.

La potencia de la bomba de calor necesaria para el sistema de ACS se encuentra en función del número de habitantes de la edificación, la dotación de agua caliente y las temperaturas de ambiente.

Primeramente, debemos calcular el volumen de consumo de agua caliente sanitaria en función del número de habitantes y la dotación, considerando que el consumo de agua caliente por lo general es un 30% del consumo total de la edificación.

$$V_c = 30\% \cdot Dot \cdot \#_{hab}$$

$$V_c = 0{,}30 \cdot 200 \frac{lt}{hab \cdot día} \cdot 30\ hab$$

$$V_c = 1800 \frac{lt}{día}$$

De este valor se toma el 50% para el cálculo de la potencia requerida a causa del volumen de reserva en el tanque de agua caliente.

$$V_r = 900 \frac{lt}{día}$$

La potencia de generación que el sistema requiere se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{ACS} = V_r \cdot \rho \cdot c_w \cdot C_T \qquad (34)$$

Donde:

$P_{ACS} =$ Potencia requerida para el sistema de ACS, $BTU/día$

$\rho =$ Densidad del agua, $1000\ gr/L$

$c_w =$ Calor específico del agua, $1\ cal/gr \cdot K$

$C_T =$ Variación de temperatura, K

La variación de temperatura se determina de la resta entre la temperatura a la que sale el agua, menos la temperatura ambiente.

$$C_T = 55\ K - 14\ K$$

$$C_T = 41\ K$$

Con los datos obtenidos tenemos que la potencia necesaria para el sistema ACS es de:

$$P_{ACS} = 146431{,}035 \frac{BTU}{día}$$

Está potencia calculada se debe considerar que es la potencia necesaria si es que el volumen calculado fuera calentado permanentemente durante las 24 horas del día, sin embargo, eso no es cierto, por lo que se debe calcular la potencia necesaria para el tiempo de calentamiento, que se establece como 4 horas al día. Por lo que la potencia necesaria es:

$$P_{ACS} = 146431{,}035 \frac{BTU}{día} \cdot \frac{día}{4\ h}$$

$$P_{ACS} = 36607{,}76 \frac{BTU}{h}$$

Transformando este valor a kilovatios se tiene:

$$P_{ACS} = 36607{,}76 \frac{BTU}{h} \div 3412{,}142 \frac{BTU}{kW}$$

$$P_{ACS} = 10{,}729\ kW$$

Por lo que el sistema de agua caliente sanitaria requiere de la potencia de la bomba de calor, 10,729 kW para suministrar a todos los aparatos sanitarios que requieran agua caliente.

Adicionalmente a esto, por la probabilidad del efecto de simultaneidad, esta potencia se debe sumar a la potencia requerida por el sistema de suelo radiante, resultando en **54,191.**

Se instalará para el sistema dos bombas de calor que aporten en conjunto la potencia requerida, se utilizará como referencia el catálogo de la marca norteamericana *Lennox*, misma que se usará para el modelado en el software Cype.

Del catálogo se selecciona dos bombas de calor de modelo Ecolean STD – 0291, que tiene las siguientes características:

Potencia calorífica (kW)	**27,6**
Caudal de agua (m^3/h)	4,75
Presión disponible de agua (kPa)	96,4

Tabla 42: Características de las bomba de calor seleccionadas

5.1. Selección de paneles solares

Sistemas de calentamiento de agua que impliquen paneles solares se deben dimensionar recordando que, si no existe aporte solar, de igual manera se debe de proveer al sistema, por lo que los paneles solares se dimensionan con un sistema adicional de apoyo en el caso de no generar las temperaturas suficientes. El sistema de apoyo se diseña para el 100% del consumo estimado.

Existen diversos criterios para el dimensionamiento de la cantidad de paneles solares que requiere la instalación, se define como área de paneles solares necesarios, de los más importantes criterios se puede rescatar los siguientes:

a) 1 m^2 de superficie por cada persona en la edificación
   Este criterio no es recomendado debido a que no considera el consumo de las personas e implica en la mayoría de los casos un sobredimensionamiento de la cantidad de paneles solares, lo cual puede conllevar a un sobrecalentamiento en la instalación y por ende reducción de la vida útil y rendimiento.
   Por lo que se recomienda para este criterio reducir en un 20% la superficie de captación solar que resulte.
b) 1 m^2 calienta diariamente a 45°C, 80 litros de agua en latitudes del sur y 60 litros en latitudes del norte
   Este criterio es más preciso y más recomendado al dimensionar en base al consumo de la edificación.

Calculando con los dos criterios obtenemos:

a) 30 personas en el edificio

$$S_p = 30\ personas\ \cdot 1\frac{m^2}{persona} \cdot 0{,}8$$

$$S_p = 24\ m^2$$

b) Un consumo de $1800\ lt$

$$S_p = 1800\ lt \cdot \frac{1\ m^2}{80\ lt}$$

$$S_p = 22{,}5\ m^2$$

Con estos resultados se debe encontrar el número de paneles solares que requiere la instalación, dependiendo de las dimensiones del fabricante por el que se opte. Para el pre dimensionamiento se optará por los paneles solares de la marca alemana *Viessmann*, la cual cuenta con paneles solares de dimensiones 2380 x 1053 mm, es decir 2,51 m^2, y una superficie de captación solar de 2,32 m^2, por lo que se debe instalar 10 paneles solares para abastecer al sistema.

5.2. Selección del tanque acumulador

Como explicado anteriormente el tanque acumulador ayuda al sistema a no mantener una constante producción de agua caliente hacia las redes de agua caliente sanitaria y suelo radiante, lo que puede causar sobreuso de los dispositivos de calentamiento, provocando daños y reduciendo la vida útil de los mismo. Es por esta razón que se debe implementar un tanque acumulador que mantiene caliente el agua para su distribución.

Se puede comparar la función de un tanque interacumulador con la función que tiene un tanque hidroneumático en la red de distribución de agua potable, el cual mantiene presurizado el sistema sin que la bomba este prendida constantemente.

En nuestro caso se tiene dos fuentes de energía, que son bombas de calor y paneles solares, por lo que se requiere de un tanque acumulador con doble serpentín que caliente el tanque. Se tomará de referencia la marca española *Mecalia*, la cual cuenta con tanques que satisfacen las necesidades de nuestro diseño.

Para el dimensionamiento se debe tomar en cuenta el consumo del edificio, sin embargo, el sistema de calentamiento es centralizado, lo que quiere decir que el agua caliente del tanque sirve para transferir energía a la red de agua de los departamentos por medio de las estaciones de transferencia, es por esto que del volumen total de consumo previamente determinado se debe seleccionar un 30% que satisface las necesidades tanto del circuito de inercia cerrado como de transferencia de calor.

Se debe instalar un tanque de **600 litros**.

6. Capítulo 6: Modelar el sistema de calefacción en CYPE

Como primera vista al iniciar el software nos permite escoger el módulo del programa, dependiendo del tipo de construcción o instalación que deseamos modelar.

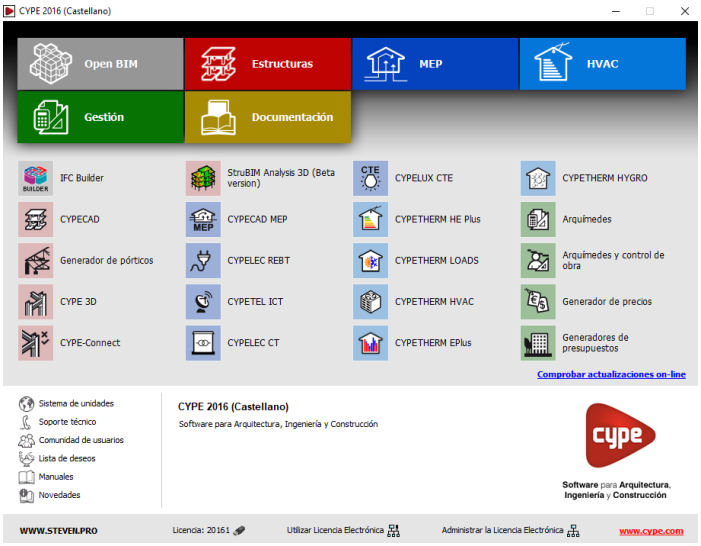


Ilustración 50: Vista inicial de Cype

Escogemos el módulo de MEP (instalaciones mecánicas, eléctricas y plomería). Una vez en este módulo nos deja escoger el tipo de modelación que deseamos hacer, en este caso seleccionaremos CYPECAD MEP, que incluye los diferentes tipos de instalaciones que implican en este módulo. También se puede escoger CYPE UPONOR, tomando en cuenta que en esta sección solo incluye los materiales que esta marca ofrece.

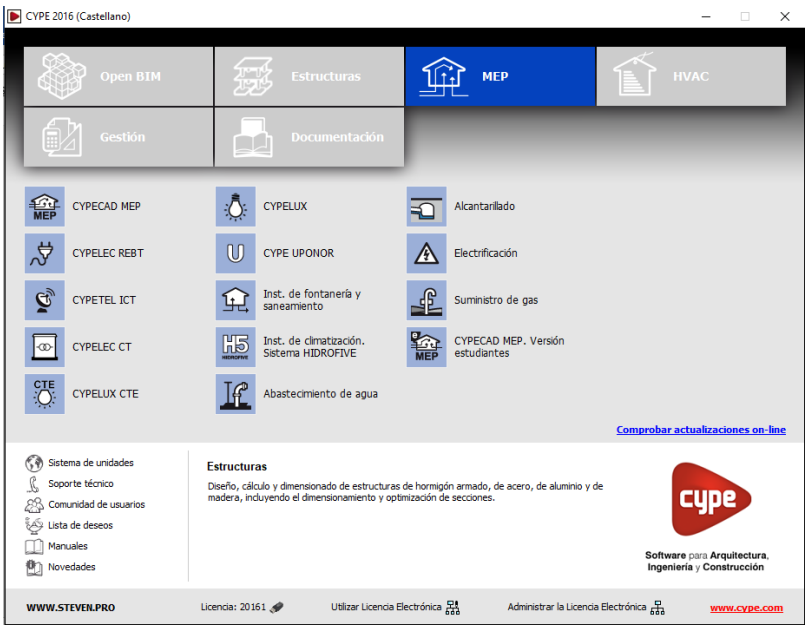


Ilustración 51: Vista del módulo MEP

Procedemos nombrando el proyecto y se debe escoger en donde se está realizando la instalacion, como podemos percatarnos existe la opcion de escoger Ecuador, sin embargo, se escoge España ya que el catálogo de productos es más amplio, al igual que datos técnicos necesarios para la instalacion, así como normativa, la cual es de este país.



Ilustración 52: Selección del lugar de la instalación

Nos da la opción de introducir los planos de la edificación con dos opciones:

- Desde AutoCAD con un archivo DWG
- Importación de modelos desde otros softwares de diseño como Revit

Escogemos “Obra vacia”

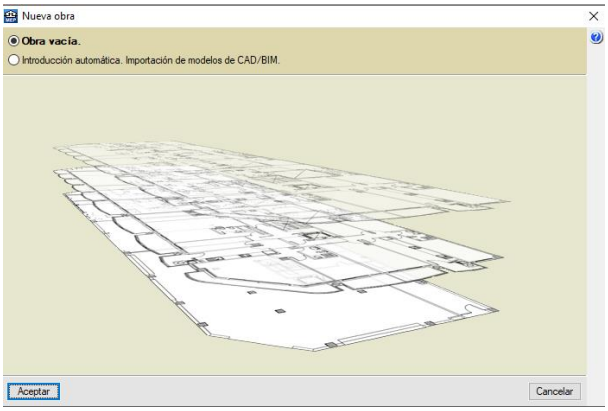


Ilustración 53: Importación de planos

Para la selección de los aspectos de la obra a continuación nos da a escoger:

- El tipo de edificio (plurifamiliar)
- Tipo de proyecto (Climatización)
- Datos del proyecto. Como nombre del edificio, dueño, constructor, etc.
- El emplazamiento (se escoge Madrid)

Una vez llenados los datos del proyecto se procede a definir el número de plantas que el edificio tiene, en nuestro caso es de la siguiente manera:

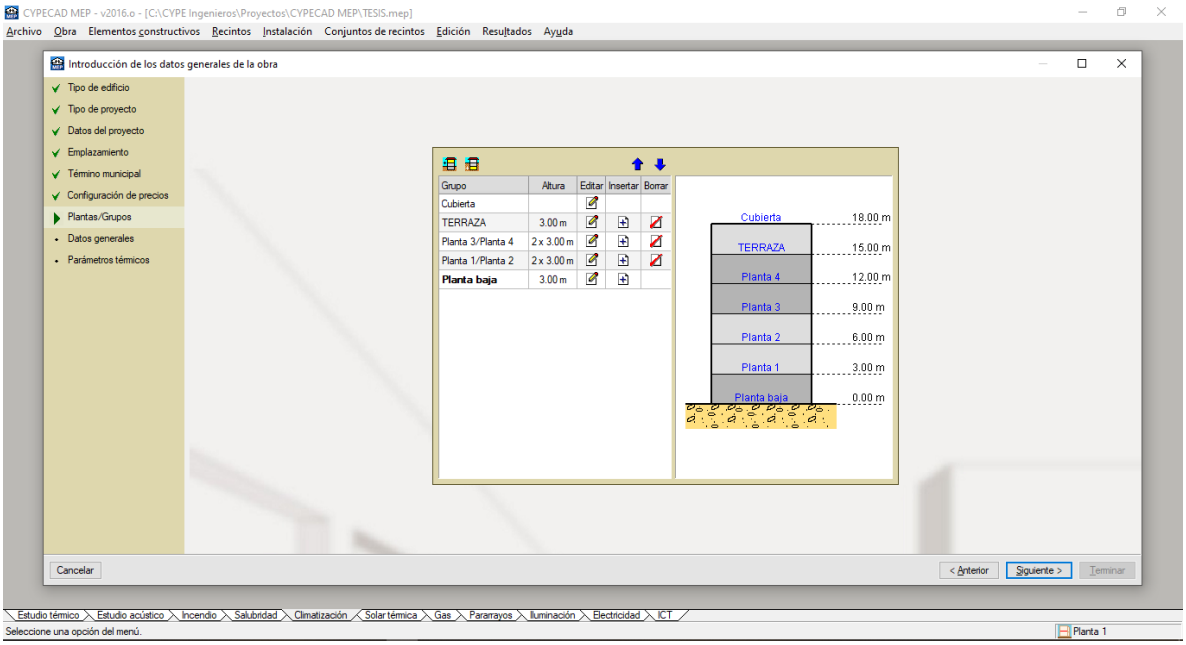
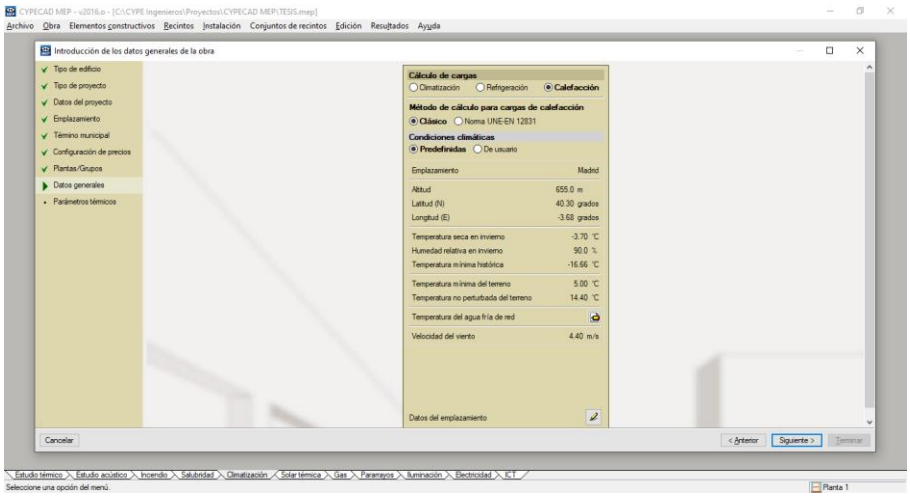


Ilustración 54: Plantas del edificio

A continuación, se debe escoger los datos generales para el cálculo de la instalación, esto incluye normativa y como selección muy importante nos pregunta si la instalación será de calefacción y refrigeración, solo calefacción o solo refrigeración. Se debe escoger <u>Calefacción.</u>



Se debe importar las plantas de cada piso desde archivos de AutoCAD, que previamente fueron separados una planta por cada archivo para la facilidad del proceso. Esto es seguido de asignar a cada planta la plantilla importada previamente.

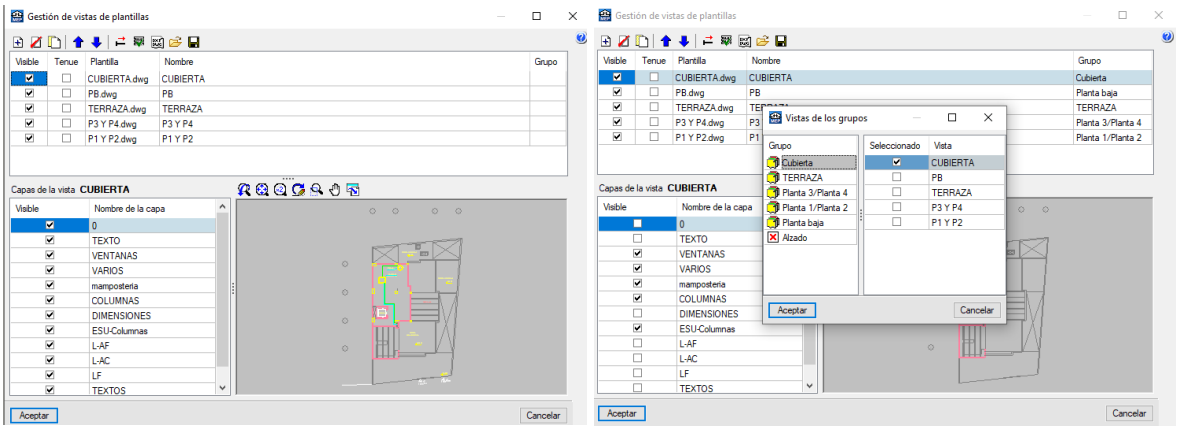


Ilustración 55: Importación de las plantas de cada piso

Para el cálculo del sistema se debe definir los diferentes elementos constructivos de la edificación, estos son:

- Losas, que incluye losa de cimentación y losas de entre piso

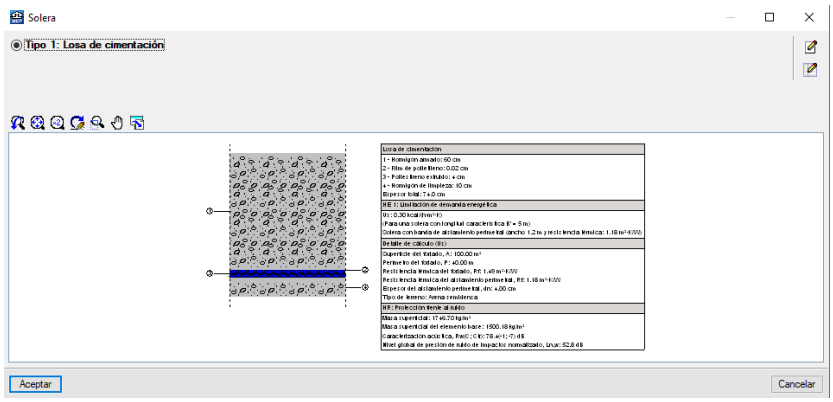


Ilustración 56: Losa de cimentación

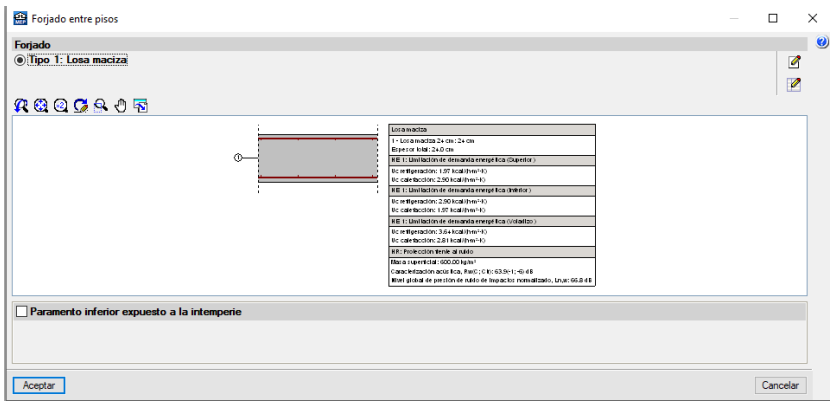


Ilustración 57: Losa entre pisos

- Muros, tanto de fachada como interiores

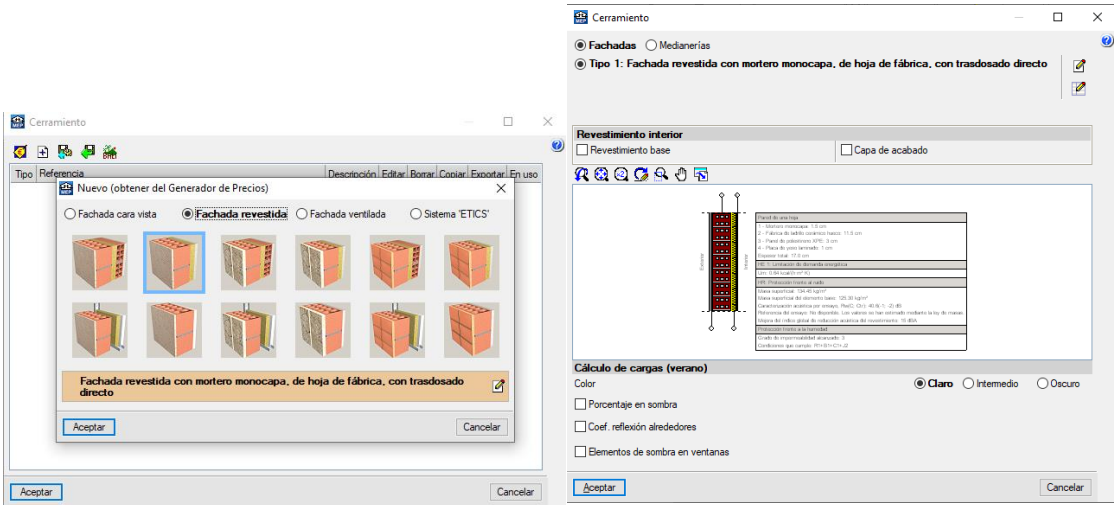


Ilustración 58: Muros exteriores

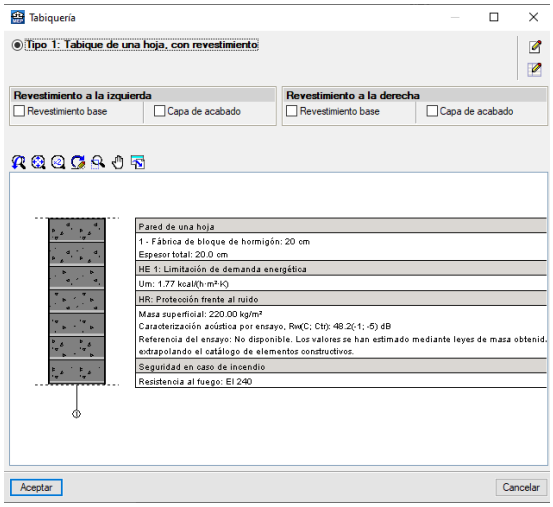


Ilustración 59: Muros interiores

Igualmente, el software nos permite colocar en el modelo lo que denomina “Huecos” haciendo referencia a puertas, ventanas, lucernarios, etc. En nuestro caso se omitirá estos elementos ya que el no colocar no afecta a los resultados de la instalación. Finalmente, las plantas en donde se colocará el sistema quedan de la siguiente manera:

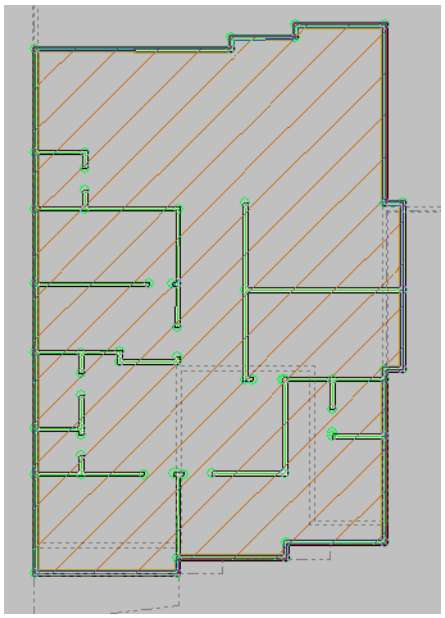


Ilustración 60: Planta 1 y 2

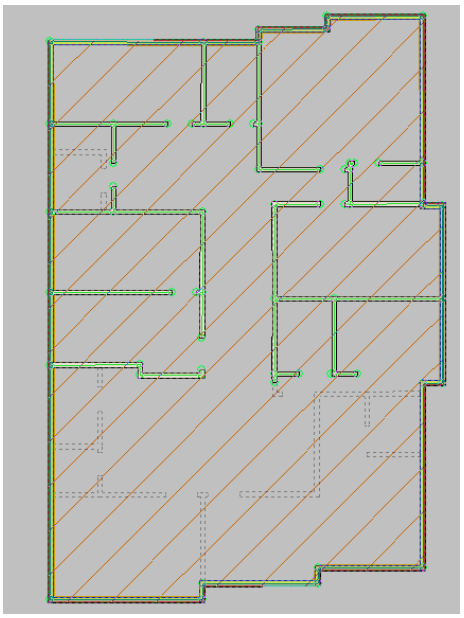


Ilustración 61: Plantas 3 y 4

La implementación de muros y otros elementos en las plantas de planta baja y terraza se omitirán ya que el sistema al no estar instalado en ninguna de estas plantas, no es imprescindible el modelamiento completo de las mismas, exceptuando los muros exteriores. Se ha planeado colocar los elementos de calentamiento en la cubierta de la edificación, es decir la/s bomba/s de calor y los paneles solares. Una vez colocado los elementos constructivos se debe definir recintos en los pisos, es en este paso en donde se define la instalación de suelo radiante, además de los elementos de piso y techo:

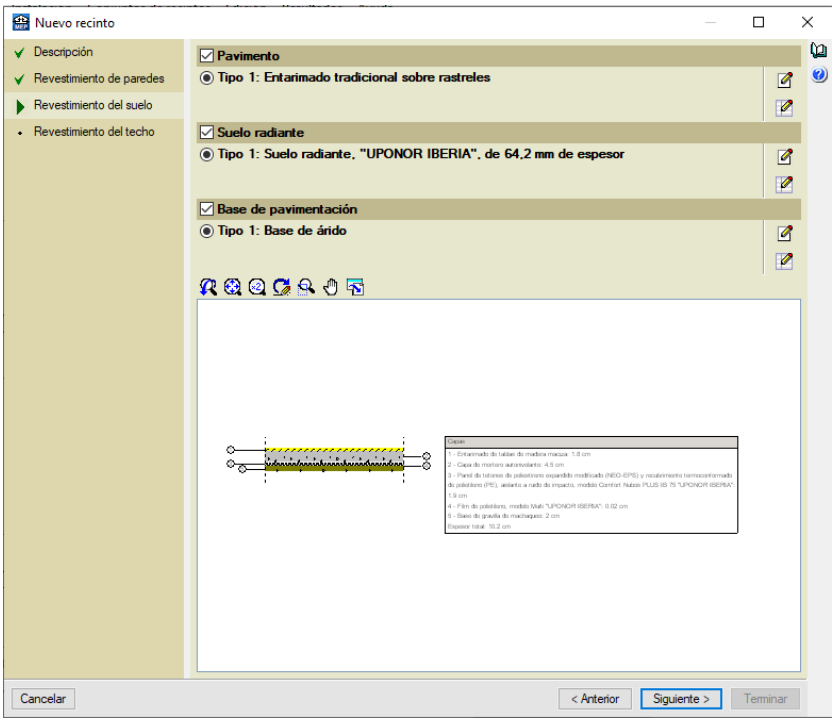


Ilustración 62: Revestimiento del suelo en el recinto

En este apartado es donde se define el tipo de instalación que se colocará, empezando desde la marca de los materiales, paneles aislantes, tubería, hasta la capa de mortero.

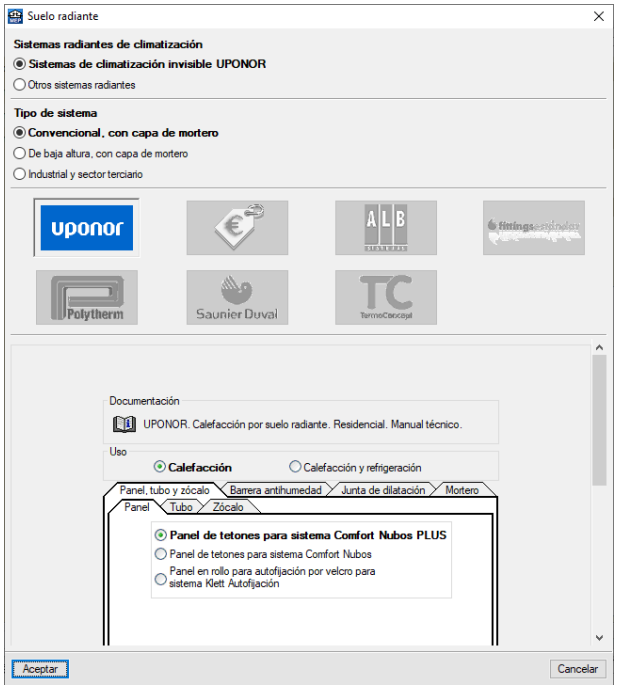


Ilustración 63: Definición de la instalación de suelo radiante

Posteriormente se delimitará las áreas previamente definidas para los circuitos de suelo radiante, en donde con la ayuda del software se colocará los circuitos:

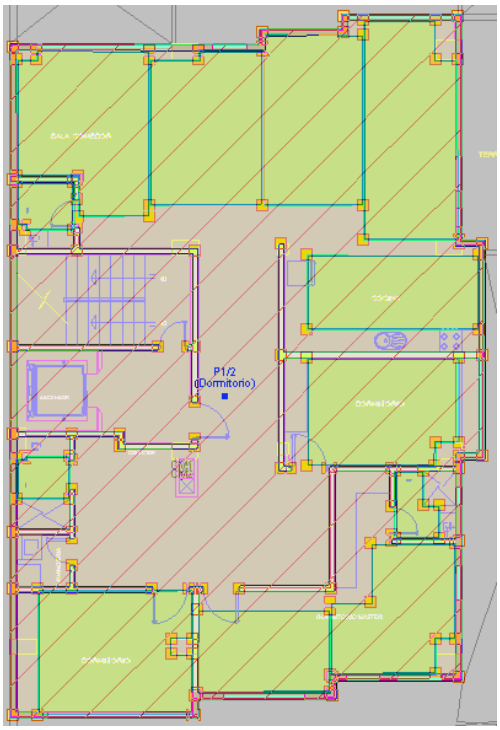


Ilustración 64: Áreas de circuitos en piso 1 y 2

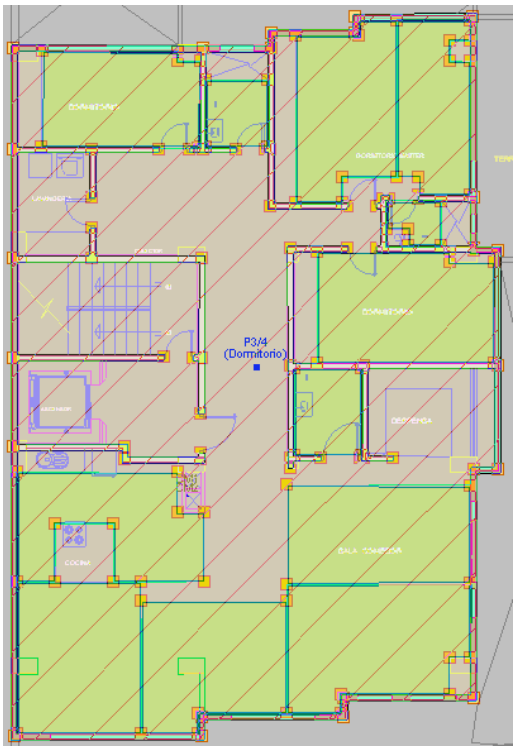


Ilustración 66: Áreas de circuitos en piso 3 y 4

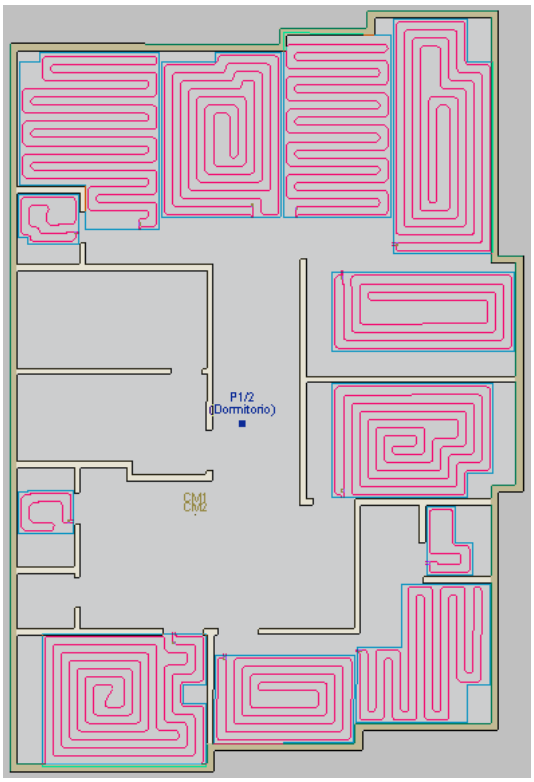


Ilustración 65: Trazado de los circuitos en piso 1 y 2

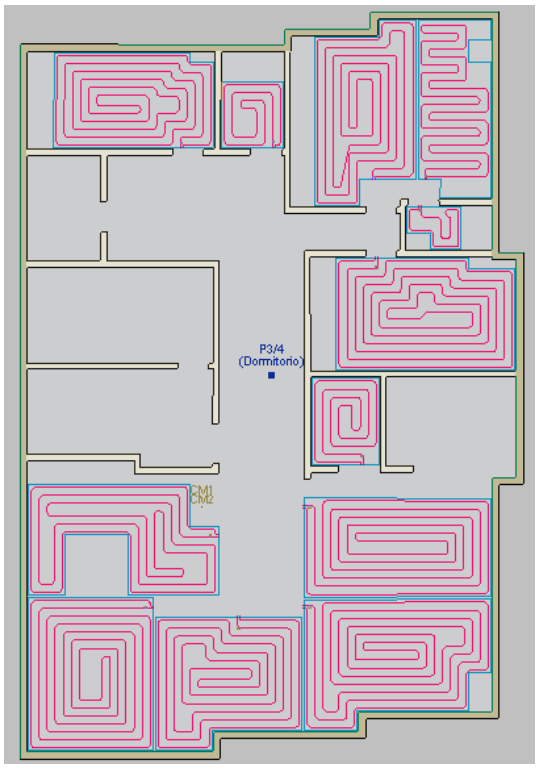


Ilustración 67: Trazado de los circuitos en piso 3 y 4

Se colocará los colectores correspondientes a cada piso, seleccionando la marca del colector, el tipo, al igual que los elementos que se deben colocar en conjunto. Igualmente

debemos escoger un equipo de regulación y control. Especificaremos el número de circuitos de la instalación, en este caso 12.

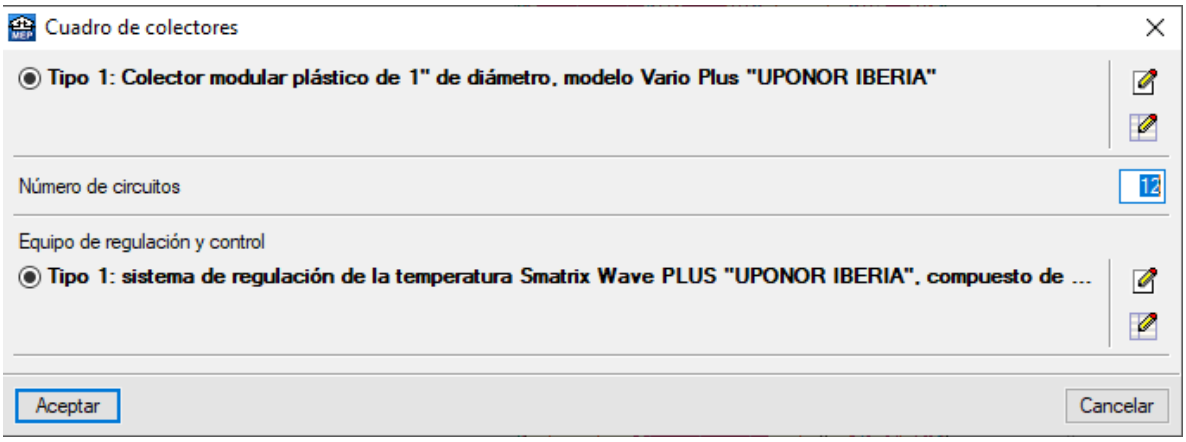


Ilustración 68: Cuadro de colectores

Una vez colocados los colectores se debe conectar mediante tuberías a los circuitos.

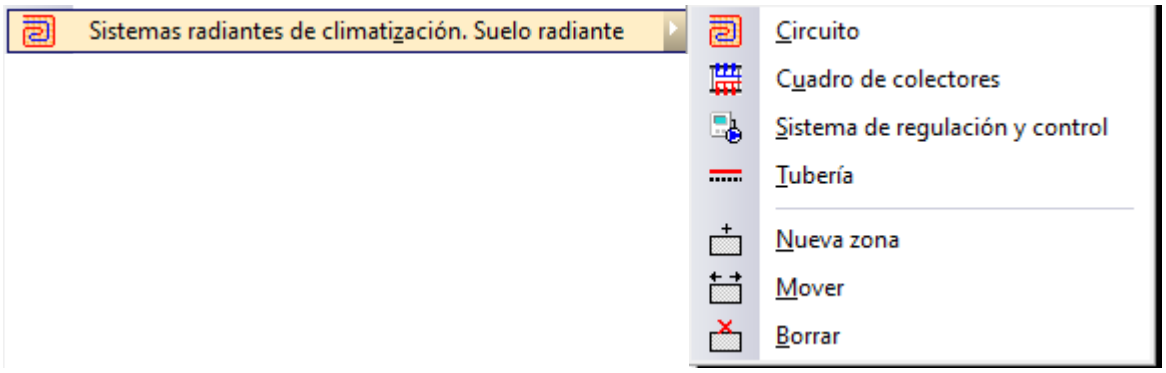


Ilustración 69: Pestaña del sistema de climatización de suelo radiante

El modelo de los pisos queda de la siguiente manera:

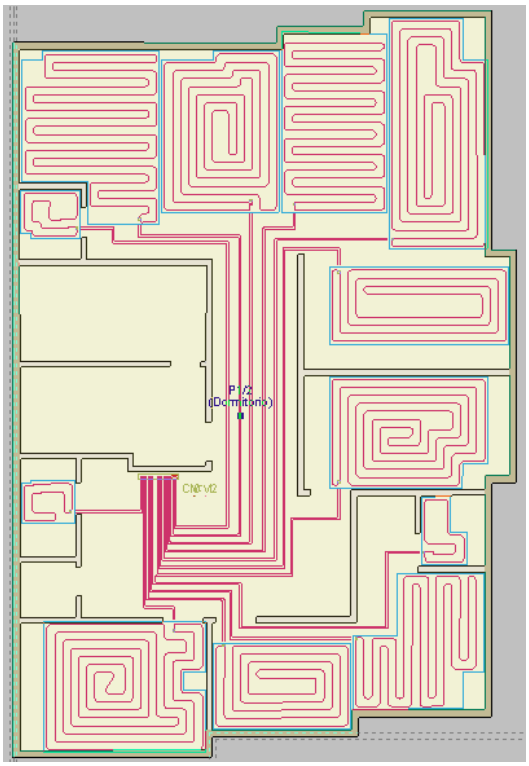


Ilustración 70: Sistema de suelo radiante en piso 1 y 2

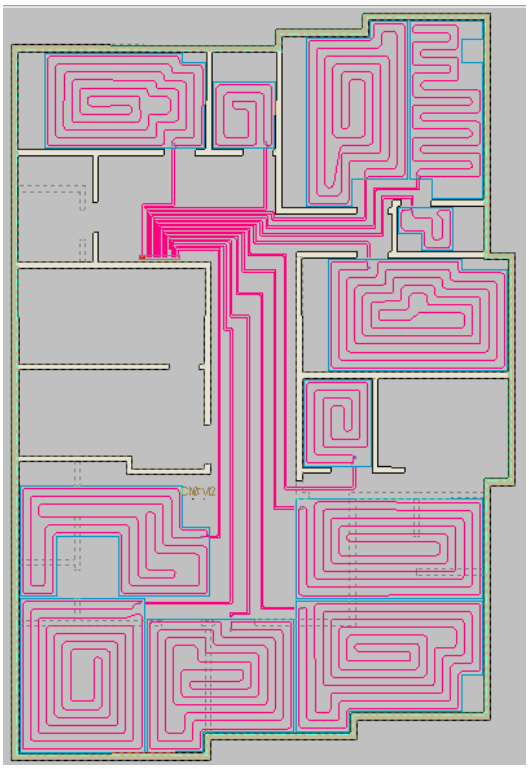


Ilustración 71: Sistema de suelo radiante en piso 3 y 4

Siguiente se deberá colocar la fuente de calor para el sistema, en este caso se colocará en el modelo una sola bomba de calor, se puede escoger la potencia de la misma, inicialmente se seleccionará una de 44,1 kW, lo que es más de lo necesario calculado previamente, tomando en cuenta igualmente que estos equipos disponen de un grupo hidráulico de impulsión, que deben satisfacer la presión de agua que el sistema requiere. La ventaja de Cype es que, al realizar el cálculo, este nos dirá si el modelamiento del sistema está correctamente realizado, y en el caso de no estarlo, mensajes de error (en rojo) o de advertencia (en amarillo) nos indicaran de cambios o necesidades que requiera el modelo.

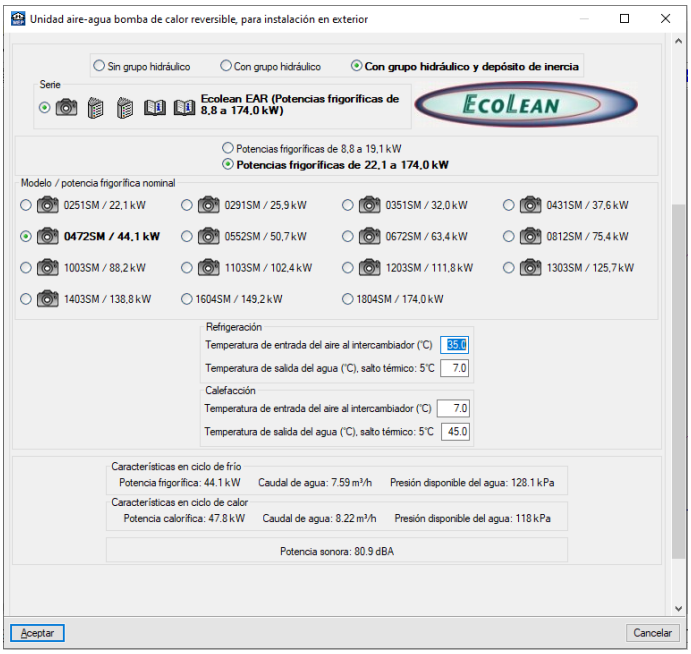


Ilustración 72: Ventana para escoger el tipo de bomba de calor

Escogido el tipo de bomba de calor se debe conectar hacia los colectores, esto es mediante las tuberías verticales o montantes colocadas previamente, una para impulsión y otra para retorno del agua del sistema.

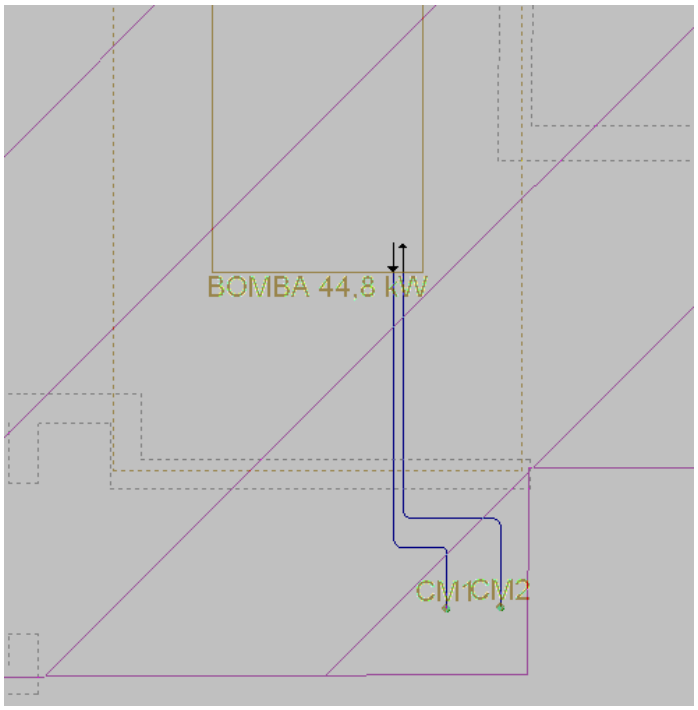


Ilustración 73: Conexión desde la bomba de calor hacia los montantes

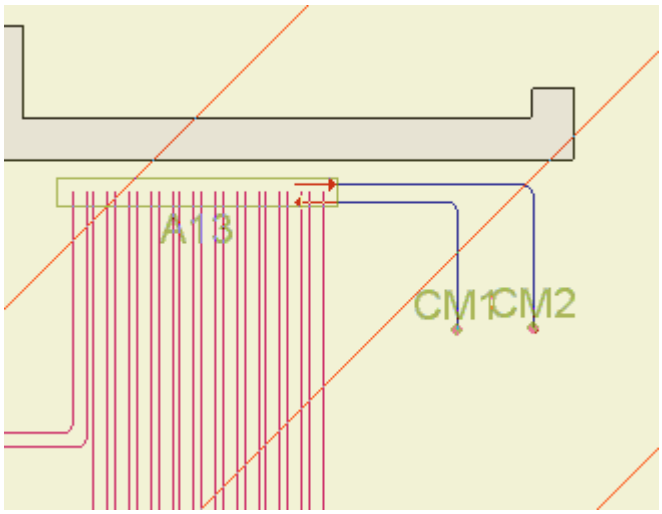


Ilustración 74: Conexión desde montantes hacia colector piso 1 y 2

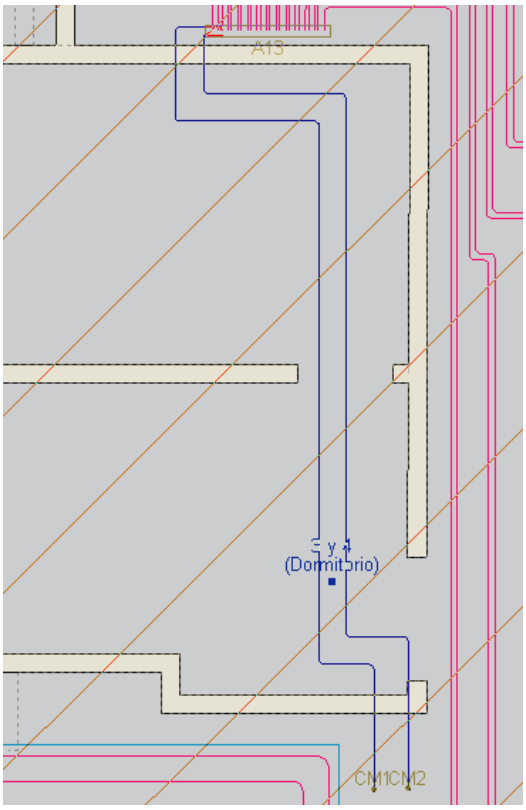


Ilustración 75: Conexión desde montantes hacia colector piso 3 y 4

Al verificar que todos los elementos del sistema hayan sido correctamente colocados se debe proceder al cálculo de la instalación, en donde se puede dar resultados como dimensionamiento o cargas térmicas.

En el diseño realizado nos surge un error, referente a la bomba de calor:

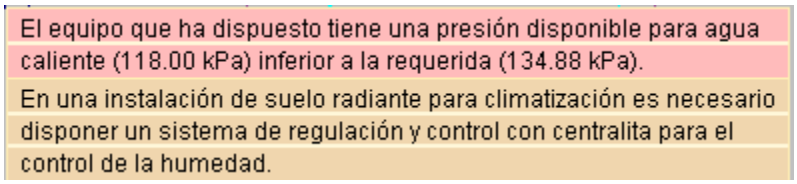


Ilustración 76: Error en el modelamiento

Indicando que el sistema de impulsión hidráulico de la bomba de calor no es suficiente para las pérdidas totales. Por lo que se colocará dos bombas de calor de 22 kW en paralelo para abastecer las necesidades requeridas:

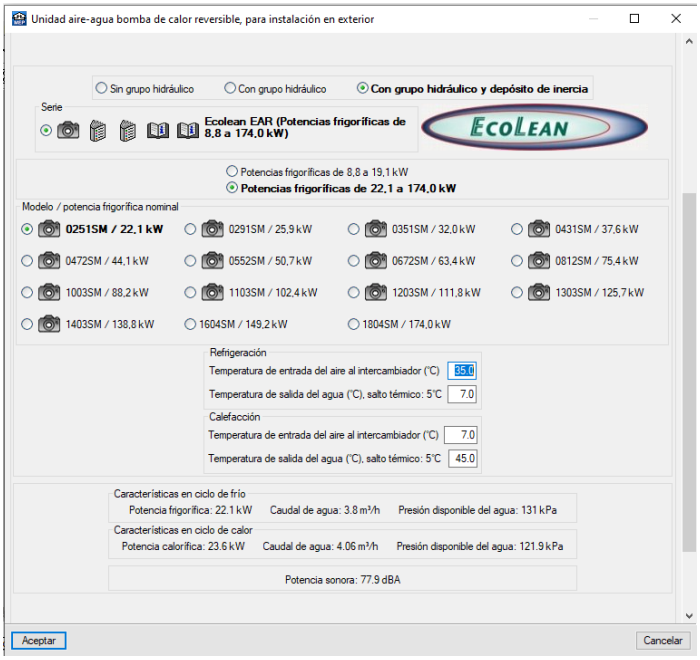


Ilustración 77: Especificaciones bomba de calor de 22,1 kW

Con la potencia de la bomba determinada en el sistema se procede a revisar los circuitos en cada planta, verificando de la misma manera que no existan errores en el modelamiento. En el caso de los circuitos, si existen errores, estos se pueden corregir mediante la siguiente ventana:

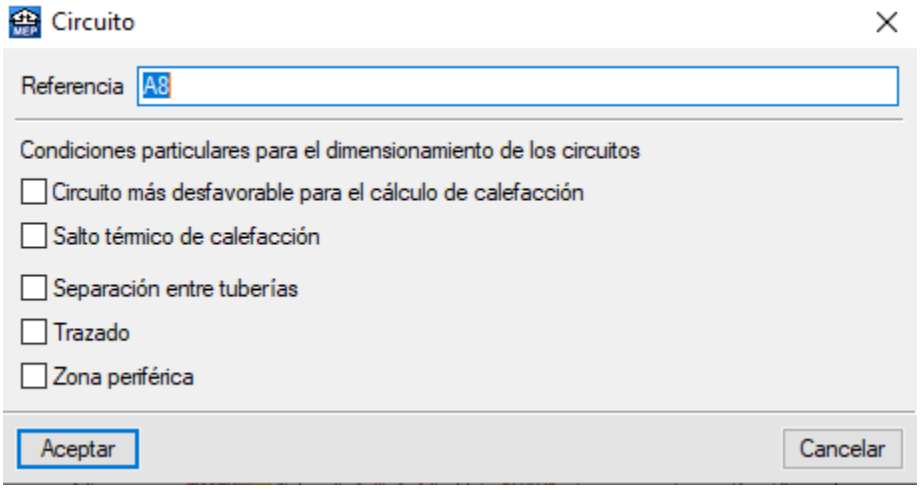


Ilustración 78: Ventana para editar circuitos

En donde la principal solución suele ser la selección de la separación entre tuberías, que por defecto el software establece que es de 10 cm, sin embargo, se debe escoger la separación designada en el diseño, de **15 cm.**

Como podemos comprobar no existen errores en las plantas donde se encuentra instalado el sistema de calefacción, de forma que el modelo queda de la siguiente manera:

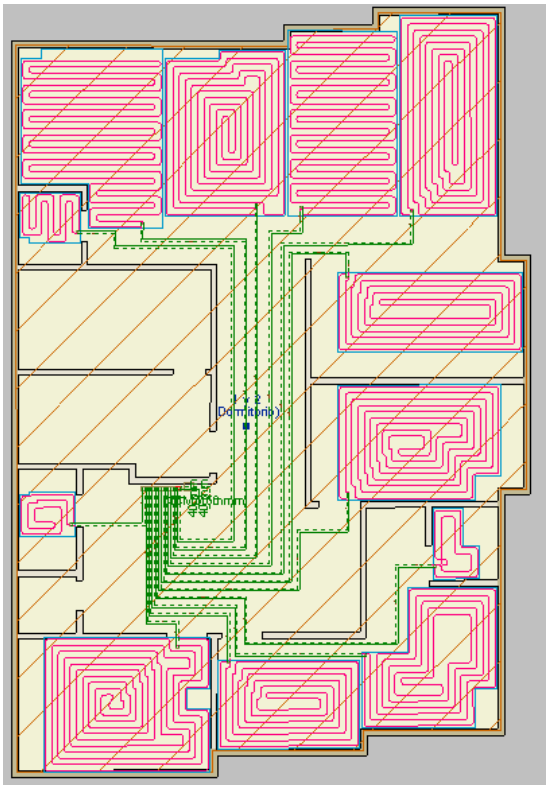


Ilustración 79: Vista final del modelo piso 1 y 2

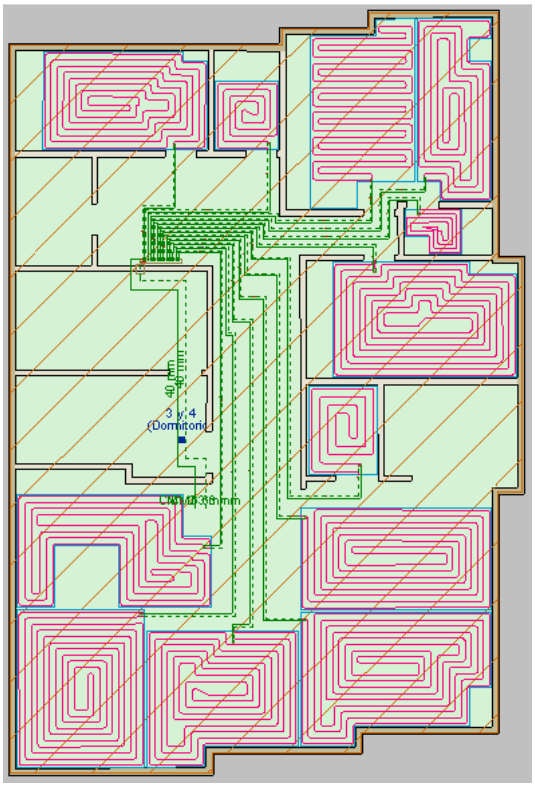


Ilustración 80: Vista final del modelo piso 3 y 4

Igualmente, Cype dimensiona las tuberías de conexión entre la fuente de calor y los colectores, resultados que se podrán visualizar en los planos en los anexos, que de igual manera presenta las longitudes de tubería.

6.1. Análisis de resultados

6.1.1. Longitudes de tubería en circuitos

ESTANCIA	CIRCUITO (CYPE)	ÁREA	LONGITUD (m)	Long. CYPE (m)
BAÑO 1	C6	1,98	46,52	41,43
SALA 1	C7	13,72	117,91	118,85
SALA 2	C8	12,34	105,87	106
COMEDOR 1	C9	12,06	107,10	109,71
COMEDOR 2	C12	12,87	116,94	114,71
COCINA	C10	9,05	89,97	91,83
DORMITORIO 1	C11	11,07	91,38	93,81
BAÑO M	C5	1,82	42,32	42,91
DORMITORIO M1	C4	9,47	81,01	81,61
DORMITORIO M2	C3	7,79	64,01	64,37
DORMITORIO 2	C1	13	96,03	95,97
BAÑO C	C2	1,62	20,20	21,77

Tabla 43: Comparación de longitudes de tuberías de circuitos en piso 1 y 2

ESTANCIA	CIRCUITO (CYPE)	ÁREA	LONGITUD (m)	Long. CYPE (m)
DORMITORIO 1	C1	10,11	74,94	73,67
BAÑO C	C2	2,89	40,04	40,12
DORMITORIO M1	C5	10,74	86,98	87,21
DORMITORIO M2	C4	8,07	72,22	72,33
BAÑO M	C3	1,74	34,84	32,76
DORMITORIO 2	C6	12,8	98,99	100,02
BAÑO 1	C7	3,96	64,40	65,11
SALA 1	C8	12,1	102,55	102,92
SALA 2	C9	13,78	117,75	118,32
COMEDOR 1	C10	11,23	97,35	103,07
COMEDOR 2	C12	12,32	107,29	109,62

COCINA	C11	10,78	88,85	89,82

Tabla 44: Comparación de longitudes de tuberías de circuitos en piso 3 y 4

Las longitudes de las tuberías en los circuitos del suelo radiante se realizan con la misma expresión en los diferentes métodos de cálculo, razón por la cual son semejantes.

6.1.2. Caudales de circuitos

ESTANCIA	CIRCUITO (CYPE)	CAUDAL (l/h)	Q UPONOR (l/h)	Q CYPE (l/h)
BAÑO 1	C6	26,978	44,19	70
SALA 1	C7	186,940	170,16	276,305
SALA 2	C8	168,137	152,79	245,12
COMEDOR 1	C9	164,322	154,57	247,385
COMEDOR 2	C12	175,359	168,77	129,025
COCINA	C10	123,310	129,85	183,605
DORMITORIO 1	C11	150,833	131,88	225,77
BAÑO M	C5	24,798	40,2	72,115
DORMITORIO M1	C4	129,032	116,92	189,7
DORMITORIO M2	C3	106,142	92,38	156,03
DORMITORIO 2	C1	177,130	138,59	261,58
BAÑO C	C2	22,073	19,19	19,92

Tabla 45: Comparación de caudales en piso 1 y 2

ESTANCIA	CIRCUITO (CYPE)	CAUDAL (l/h)	Q UPONOR (l/h)	Q CYPE (l/h)
DORMITORIO 1	C1	137,753	108,15	178,96
BAÑO C	C2	39,377	38,03	32,49
DORMITORIO M1	C5	146,337	125,53	193,48
DORMITORIO M2	C4	109,957	104,23	144,85
BAÑO M	C3	23,708	33,09	52,855
DORMITORIO 2	C6	174,405	142,95	231,385
BAÑO 1	C7	53,957	61,17	45,535
SALA 1	C8	164,867	148,01	218,69
SALA 2	C9	187,758	169,93	248,495
COMEDOR 1	C10	153,013	140,49	210,345
COMEDOR 2	C12	167,865	154,85	225,575

COCINA	C11	146,882	128,23	193,935

Tabla 46: Comparación de caudales en piso 3 y 4

6.1.3. Pérdidas de carga en circuitos

El cálculo del caudal de los circuitos, como explicado en el capítulo 4, depende de varias variables que tienen que ver tanto con la parte hidráulica como la parte térmica que irradia el circuito, razón por la cual se evidencia una diferencia al cálculo realizado por el software, ya que en los distintos métodos se debe de establecer los diferentes parámetros, además que el software considera para el cálculo del caudal la longitud desde la fuente de calor.

ESTANCIA	CIRCUITO (CYPE)	Perdidas (kPa)	Perd. UPONOR (kPa)	Perd. CYPE (kPa)
BAÑO 1	C6	0,91	1,07	2,55
SALA 1	C7	34,31	28,62	77,1
SALA 2	C8	24,84	21,28	55,85
COMEDOR 1	C9	25,72	21,97	58,75
COMEDOR 2	C12	33,48	27,98	20,1
COCINA	C10	15,25	13,6	29,4
DORMITORIO 1	C11	15,97	14,2	42,9
BAÑO M	C5	0,69	0,82	2,8
DORMITORIO M1	C4	11,13	10,2	27,65
DORMITORIO M2	C3	5,49	5,33	15,6
DORMITORIO 2	C1	18,54	16,27	56,65
BAÑO C	C2	0,07	0,11	0,2

Tabla 47: Comparación de pérdidas en piso 1 y 2

ESTANCIA	CIRCUITO (CYPE)	Perdidas (kPa)	Perd. UPONOR (kPa)	Perd. CYPE (kPa)
DORMITORIO 1	C1	8,81	8,23	22,6
BAÑO C	C2	0,58	0,71	0,7
DORMITORIO M1	C5	13,78	12,4	30,55
DORMITORIO M2	C4	7,89	7,43	15,45
BAÑO M	C3	0,38	0,48	1,25
DORMITORIO 2	C6	20,33	17,72	47,7
BAÑO 1	C7	2,42	2,61	1,95
SALA 1	C8	22,58	19,49	44,55

SALA 2	C9	34,17	28,51	63,9
COMEDOR 1	C10	19,31	16,9	41,7
COMEDOR 2	C12	25,86	22,08	50,05
COCINA	C11	14,68	13,14	31,6

Tabla 48: Comparación de pérdidas de pisos 3 y 4

Una de las principales comprobaciones para el correcto funcionamiento del sistema es las pérdidas de carga, en este caso como se puede comprobar, los resultados son más semejantes unos a otros, esto es debido a que las pérdidas son el resultado del cálculo de las longitudes y caudales, siempre tomando en cuenta que se cumpla el máximo establecido por la norma

7. Capítulo 7: Desinfección contra la Legionelosis

El Decreto Real (D.R.) 865 del año 2003 determina tres tipos de instalaciones en las cuales la legionela se puede presentar, las cuales tienen un rango de probabilidad de proliferación y dispersión de la bacteria. En la categoría con mayor probabilidad se encuentra las instalaciones de sistemas de agua caliente sanitaria con acumulación y circuito de retorno, que precisamente contempla la del diseño presentado, motivo por el cual se debe presentar soluciones para la desinfección de este padecimiento.

Según el D.R. 865 nos indica que se debe llevar a cabo un plan de mantenimiento higiénico – sanitario, cuyos pasos son los siguientes:

1. Establecer la ubicación de cada componente de la instalación y registrar si existe un cambio. Esto incluye puntos críticos en donde se pueda facilitar la toma de muestras de agua, como: fuentes de calor, acumuladores, puntos finales en la red, y en los puntos más cercanos y lejanos desde los depósitos.
2. Examinación y comprobación del correcto funcionamiento de los componentes de la instalación.
3. Plan de limpieza y desinfección para la instalación, estableciendo procedimientos, artículos a emplear, precauciones y frecuencia en la que se debe ejecutar

7.1. Métodos de desinfección

El D.R. establece los siguientes métodos:

a) Mantener el tanque acumulador de agua caliente a más de 60°C. l
   Lo cual cumple con el reglamento, pero disminuye el ahorro de energía hasta un 50%.
b) Periódicamente elevar la temperatura de la fuente de energía a más de 70°C por más de dos horas.
   Posteriormente abrir grifos y duchas alternativamente verificando que la temperatura sea de 60°C o mayor. Esta alternativa ayuda al ahorro energético, siendo suficiente para la desinfección en la mayoría de ocasiones.

c) Separación de circuitos
El ACS se caliente mediante un intercambiador de calor, lo cual evita la recirculación constante de agua hacia la generación y los demás sistemas. Tiene un ahorro de energía considerable, pero implica una mayor inversión en la instalación.

En nuestro caso se ha optado por la tercera opción en donde se han separado los diferentes sistemas de calentamiento uno del otro, evitando así la recirculación del agua dentro del mismo sistema y entre sistemas.

8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

- La mayor demanda de caudal de diseño, es por la red de agua fría, al ir acumulando caudal en el total de la distribución de las redes por cada piso. Como podemos evidenciar en el Capítulo 3, sección 3.3.3., "*Estimación de caudales,"* precisamente en las tablas 8, 9 y 10 de los caudales en los distintos montantes de agua. Esto es debido principalmente al caudal que requiere los inodoros y urinarios para el correcto funcionamiento de los mismos, al tener unidades de gasto mayores a los demás aparatos sanitarios que se encuentran en una instalación.
- Los paneles solares en el sistema de calefacción ayudan a la reducción del consumo energético por parte de las bombas de calor, como se explica en el Capítulo 5. Razón por la cual en la generación se deben colocar sensores los cuales determinen cuando, y si la producción de agua caliente por parte de los paneles solares es suficiente para generar la cantidad de calor necesario, que en el caso de no ser así las bombas de calor deberán ser suficientes para generar la demanda exigida.
- Este tipo de instalación en conjunto, de agua potable y suelo radiante depende principalmente de dos aspectos; el suministro de agua y la potencia necesaria para el calentamiento de los sistemas. Como pudimos comprobar, tanto en el Capítulo 3: Diseño de la red de agua potable, como en el Capítulo 4: Diseño del sistema de calefacción por suelo radiante, el sistema de agua potable demanda el suministro de agua en la instalación, mientras el sistema de calefacción es el que rige en la generación de calor del sistema en conjunto.
- La enfermedad causada por la Legionela no se contagia de persona a persona, el contagio es por medio del agua. El agua es el medio en el cual la bacteria vive y se

reproduce, dependiendo de la temperatura de la misma. Comúnmente se encuentra en la red de agua caliente, sin embargo, la bacteria se puede eliminar si el agua se encuentra a más de 60°C. Para evitar la aparición de esta bacteria en la red de agua potable se debe seguir las recomendaciones expuestas en el Capítulo 7.

- Mediante la instalación de este sistema de calentamiento, con fuente de energía de bomba de calor y paneles solares, se puede tener ahorros de consumos energéticos de hasta un 40% y reducir el gasto en hasta 70%, frente a otros sistemas de calentamiento, aparte de que se reduce la emisión de CO2 hasta en 30%.
- Los coeficientes de transmisión térmica comparados con los límites máximos (Ilustración 28) que impone la norma CTE: Documento Básico de Ahorro de Energía, nos permiten comprobar que el calor generado por el sistema de suelo radiante no sufra de pérdidas en los cerramientos. Indistintamente podemos notar que el valor del coeficiente correspondiente a la losa, calculado en el Capítulo 4, sección 4.3.2. "Coeficientes de transmisión de calor," es cercano al límite máximo, esto es debido a que al estar embebido el sistema de suelo radiante en la losa, se busca transferir la mayor cantidad de calor posible hacia el ambiente calentado.
- Comparando los resultados para el diseño del sistema de suelo radiante, expuestos en la sección 6.1. (Análisis de resultados) realizado por los tres diferentes métodos; cálculo manual, Herramienta de Cálculo Uponor y mediante el software Cype, se pudo comprobar que se tiene datos semejantes, dando a resaltar que el diseño del sistema ha sido calculado y realizado correctamente.
- Para la instalación del sistema de calefacción por suelo radiante, uno de los aspectos más importantes al momento de realizar el diseño, es la separación entre tuberías colocadas en la instalación (también llamado paso), ya que se debe considerar que una menor separación resulta en una mayor longitud de recorrido de tuberías, implicando en mayores pérdidas de carga y de calor. Así mismo se tiene que tomar en cuenta que a mayor separación implica un menor costo de la instalación por el mismo aspecto de la longitud del circuito. Lo cual podemos comprobar en el Capítulo 5 sección 4.3.5., "*Cálculo de longitudes de la tubería de los circuitos,"* al igual que en

el Capítulo 6, en donde se debe cambiar el paso que el software impone, con el objetivo de cumplir con los parámetros establecidos de diseño.

- El sistema de calefacción por suelo no expulsa corrientes de aire al ambiente, y dentro de la situación actual que el mundo está atravesando, por la pandemia del COVID-19, al no existir intercambios de aire o viento, esto implica una mejor alternativa en el aspecto de sanidad, siento este sistema de calentamiento óptimo frente a otros existentes.
- En el sistema de calefacción no se tomó en cuenta el cálculo de las pérdidas de calor debido a que, al realizar el cálculo de la temperatura de impulsión, se determinó que se tendría una diferencia entre temperatura de impulsión y retorno de 5°C, que la norma impone para este tipo de sistema.

8.2. Recomendaciones

- Las redes de agua potable en los recorridos horizontales largos se deben separar al menos 30 centímetros de las tuberías de las redes de aguas servidas y/o lluvias, con el objetivo de evitar contaminaciones en el caso de fugas. De igual manera evitar la instalación de tuberías hidráulicas sobre redes o equipos eléctricos, o en lugares donde implique un peligro para el personal que realice las labores de mantenimiento.
- En el caso de una falla en la bomba de circulación del sistema de agua potable, en edificios siempre se recomienda instalar dos bombas de la misma potencia en paralelo, como expuesto en los detalles de construcción, en caso de que una sufra daños, la otra pueda seguir suministrando el caudal y presión necesarios hacia el edificio.
- En el software Cype se realizó exclusivamente el modelado del sistema de calentamiento por suelo radiante, sin embargo, el software permite modelar de igual manera la red de suministro de agua, por lo que se recomienda añadir al modelo el sistema de agua, que permitirá estimar con mayor exactitud tanto resultados de la instalación como la distribución de tuberías instaladas.

- Los sistemas propuestos, tanto de calentamiento centralizado como de suelo radiante, al ser redes cerradas, antes de poner a prueba y posteriormente en uso, se debe asegurar que el llenado de las tuberías se haya realizado correctamente, a su vez de verificar que no existan bolsas de aire, que pueden afectar al funcionamiento del sistema y afectar a los equipos instalados.
- Posterior al dimensionamiento y selección, tanto de las bombas de calor como de los dispositivos que requieren de energía eléctrica en el sistema de suelo radiante, se recomienda realizar un diseño eléctrico – mecánico de los componentes que requieren la instalación con el objetivo de asegurar un correcto funcionamiento de todo el sistema en conjunto.
- Para el sistema de suelo radiante se recomienda realizar un estudio de cargas térmicas de calefacción para cada ambiente a ser climatizado. Este estudio depende de varios aspectos como acabado de pisos, paredes y techos, ocupación, muebles de la estancia, ventilación, etc. Este estudio posteriormente se verá reflejado en la densidad de flujo para el cálculo de la potencia necesaria, ya que en el diseño presentado se usa la máxima recomendada según norma de $100\ W/m^2$.
- Los materiales y equipos necesarios para la instalación de suelo radiante no se encuentran en el mercado ecuatoriano, por lo que, si se opta por este tipo de sistema de calentamiento para una edificación, se recomienda realizar la planificación previa, ya que los materiales deberán ser importados al país, que igualmente se debe considerar este rubro en el presupuesto.
- La norma UNE – EN 1264 establece que la suma caudal total que se suministra a cada colector para los circuitos es de hasta 2500 l/h, con lo que en ambos casos se cumple para las dos arquitecturas tipo que se dispone, siendo 1359,49 l/h y 1354,66 l/h para los pisos 1y 2, y pisos 3 y 4, respectivamente.
- A pesar de que la configuración optada para la edificación previene significativamente de que se presente la bacteria de la legionela, se recomienda elevar periódicamente la temperatura del agua en el sistema centralizado de

calentamiento a más de 70°C, con el objetivo de asegurar una desinfección completa en el sistema de ACS.

9. Bibliografía

Abele, C. (19 de Junio de 2019). *Historia de la Energía Solar Térmica*. Obtenido de sitio web de HOGAR SENSE: https://www.hogarsense.es/energia-solar/historia-energia-solar-termica

Amella Iglesias, D. (Julio de 2016). PROYECTO PARA LA INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE Y CAPTADORES SOLARES PARA ACS EN UN PISO. Lérida, España.

Caleffi S.p.A. - Hydronic Solutions . (2019). *Interfáz compacto de pared.* Obtenido de sitio web de Caleffi - Hydronic Solutions : https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/01209-19-es.pdf

EMPRESA METROPOLITANA DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE. (2009). NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PARA LA EMAAP-Q. Quito, Pichincha, Ecuador: EMAAP - QUITO.

Faires, V., & Simmang, C. (1983). *Termodinámica.* Ciudad de México: Unión Tipográfica Editorial.

Giles, R. V. (1991). *Mecánica de Fluidos e Hidráulica (Schaum).* México: McGraw-Hill.

Hernández, A. (1999). *NTP 538: Legionelosis: medidas de prevención y control en.* Obtenido de sitio web del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo: https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_538.pdf/4f52d14a-744b-46ee-ac49-ea8619dd00e9

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2014). *Anuario Meterorológico .* Obtenido de sitio web del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/

López Perez, D. C. (2015). *Hidráulica*. Obtenido de sitio web de la Universidad Autónoma de Nuevo León: http://fic.uanl.mx/hidraulica/

MOLECOR. (2018). *Pérdidas de Carga*. Obtenido de sitio web de molecor.ocm: http://molecor.com/es/perdidas-carga

Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos .* México: Pearson Educación .

NBE CT-79: Normas básicas de la edificación, condiciones térmicas de los edificios. (6 de Julio de 1979). Madrid, España.

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (06 de Abril de 2011). NEC - 11 . *Norma Hidrosanitaria NHE Agua*. Quito, Pichincha, Ecuador.

Organización Mundial de la Salud. (2019). *Legionelosis*. Obtenido de sitio web de la OMS: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/legionellosis

Ortiz, J. (2004). *Instalaciones Sanitarias.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería .

Pérez Carmona, R. (2010). *Instalaciones hidrosanitarias y de Gas para Edificios (I).* Bogota: ECOE Ediciones.

Pérez Carmona, R. (2010). *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones.* Bogota: Ecoe Ediciones.

Ponce, L. d. (2014). *Instalaciones eficientes de suministro de agua y saneamiento en.* Bogota: Ediciones de la U.

Reglas técnicas de Arquitectura y Urbanizmo. (2018). Quito.

Remica. (28 de Octubre de 2018). *¿Cómo funcionan las placas solares para producir agua caliente?* Obtenido de sitio web de remicaserviciosenergeticos.es: https://remicaserviciosenergeticos.es/blog/placas-solares-para-producir-agua-caliente/

Rivas, P. (2019). *CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE: CONFORT Y AHORRO ENERGÉTICO*. Obtenido de sitio web de instalacionesyeficienciaenergetica.com: https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/calefaccion-suelo-radiante/

Sánchez-Juny, M., Bladé, E., & Puertas, J. (2005). *Hidraulica.* Catalunya: Edicions de la Universitat Politécnica de Catalunya.

Sistema de Información Ambiental de Colombia. (2016). *Demanda y uso*. Obtenido de sitio web de siac.gov.ec: http://www.siac.gov.co/demandaagua

Toshiba . (2020). *¿Qué es Aerotermia?* Obtenido de sitio web de Toshiba-aire.es: https://www.toshiba-aire.es/que-es-aerotermia/#:~:text=AEROTERMIA%20es%20una%20tecnolog%C3%ADa%20limpia,agua%20caliente%20todo%20el%20a%C3%B1o.

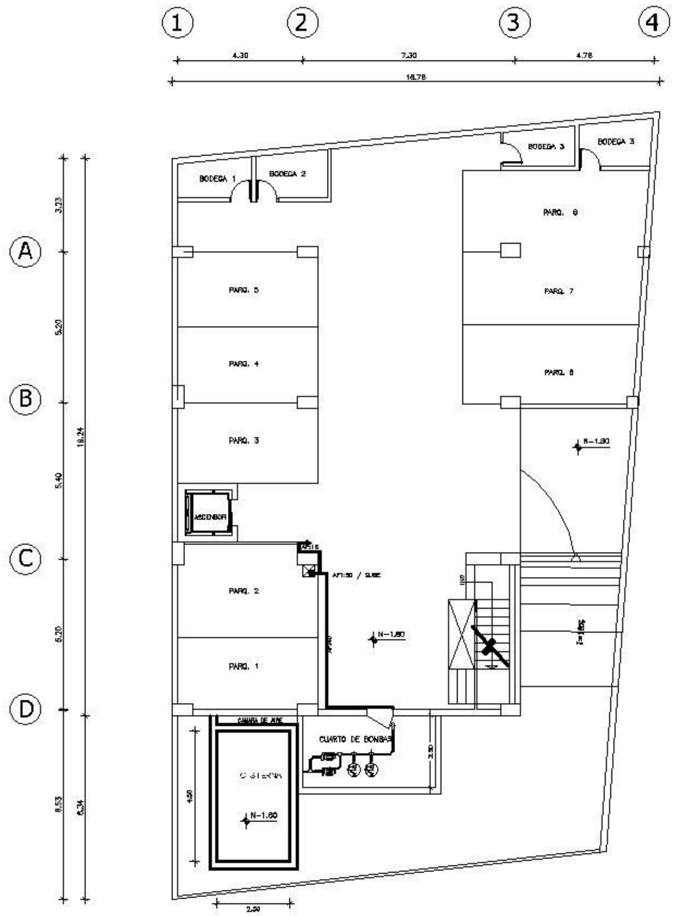
UNE - Normalización española . (2006). *ISO 7730 - Ergonomía del ambiente térmico.* Obtenido de sitio web de UNE: https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0037517

Uponor Hispania, S.A.U. (Noviembre de 2015). *Manual técnico de Instalaciones de fontanería y calefacción.* Obtenido de sitio web de Uponor S.A.: https://www.uponor.es/UponorInternet/DirectDownload?did=ACE6F5BE0AF640F386C3CD6948F1C3E3&v=9dff2ffe-928f-496e-a4c9-12bc867ff846

Uponor S.A.U. (2019). *Uponor Fluvia Move grupo impulsión PPG-30-A-W*. Obtenido de Sitio web de Uponor.es: https://www.uponor.es/catalogue/climatizacion-invisible/suministro/uponor-fluvia-movemove-plus/uponor-fluvia-move-grupo-impulsion-ppg30aw

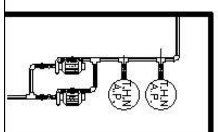
10. Anexos

10.1. Planos de las instalaciones de agua potable

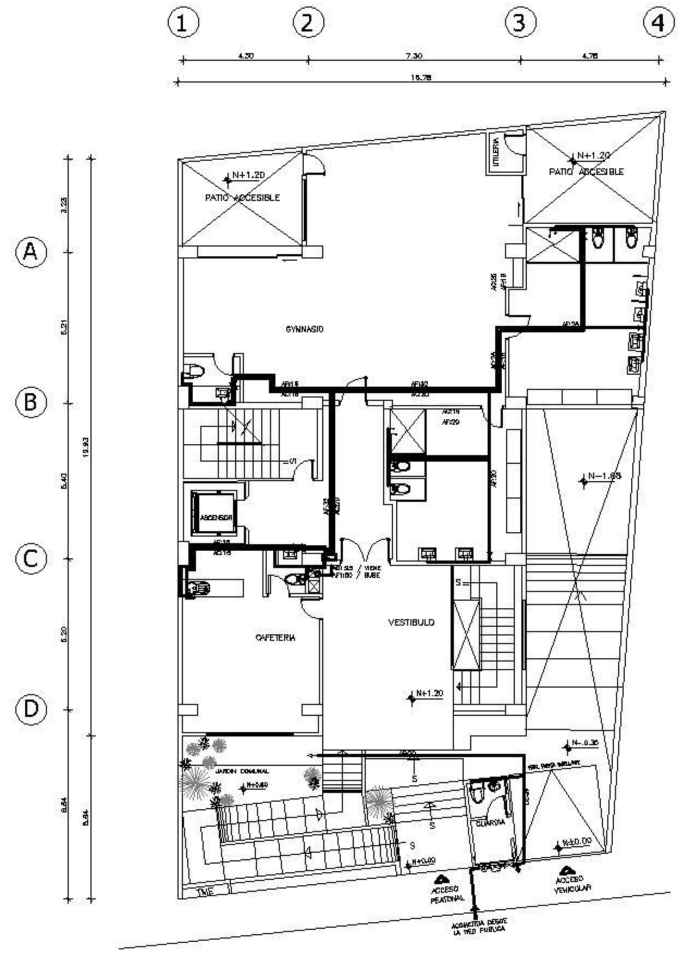


SUBSUELO 1 N-1.80

ESCALA 1:100



DETALLE SISTEMA DE BOMBEO



DE AGUA POTABLE

PLANTA BAJA N+1.20

ESCALA 1:100

SIMBOLOGIA	
	TUBERIA PARA AGUA FRIA (Ø INDICADO)
	TUBERIA PARA AGUA CALIENTE (Ø INDICADO)
	MONTANTE DE AGUA FRIA (Ø INDICADO)
	MONTANTE DE AGUA CALIENTE (Ø INDICADO)
	MONTANTE AGUA DE RECIRCULACION (Ø INDICADO)
	PUNTO DE AGUA POTABLE
	LLAVE DE MANGUERA
	VALVULA DE CONTROL DE COMPUERTA
	VALVULA CHECK
	MEDIDOR GENERAL
	TABLERO DE MEDIDORES
	SENTIDO DE FLUJO

EQUIVALENCIA DE DIAMETROS EN TUBERIAS	
MILIMETROS	INTERNO
18 mm	12.4 mm
20 mm	16.2 mm
25 mm	20.4 mm
32 mm	26.2 mm
40 mm	32.8 mm
50 mm	40.8 mm

PROYECTO:

TESIS DE GRADO · DIEGO BORJA

DISEÑO HIDROSANITARIO:

DIEGO BORJA RIVADENEIRA

UBICACION: SECTOR PINAR ALTO

ESCALA:

FECHA:

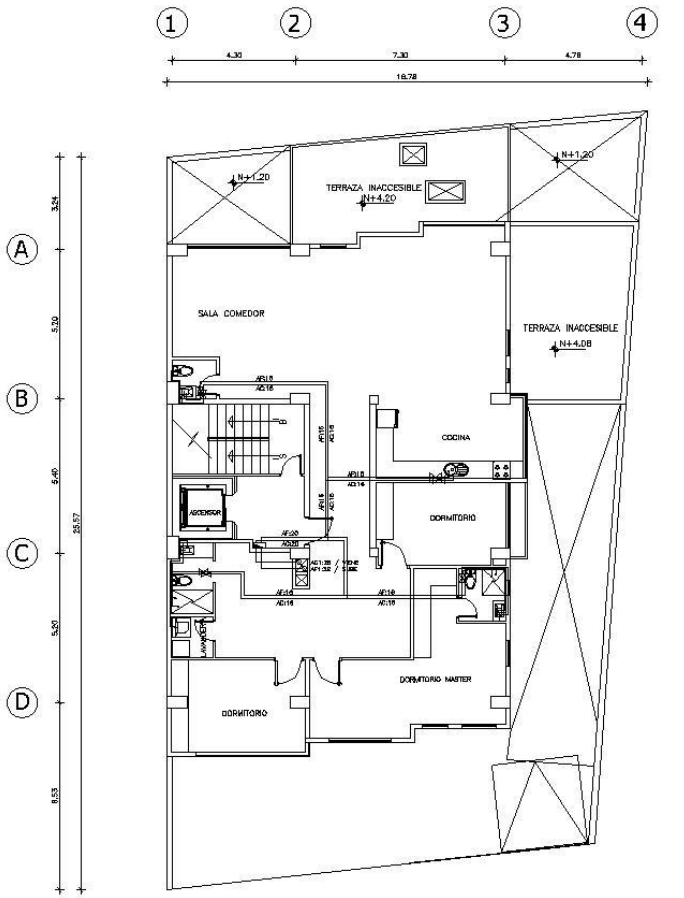
FIRMA:

CLAVE CATASTRAL:

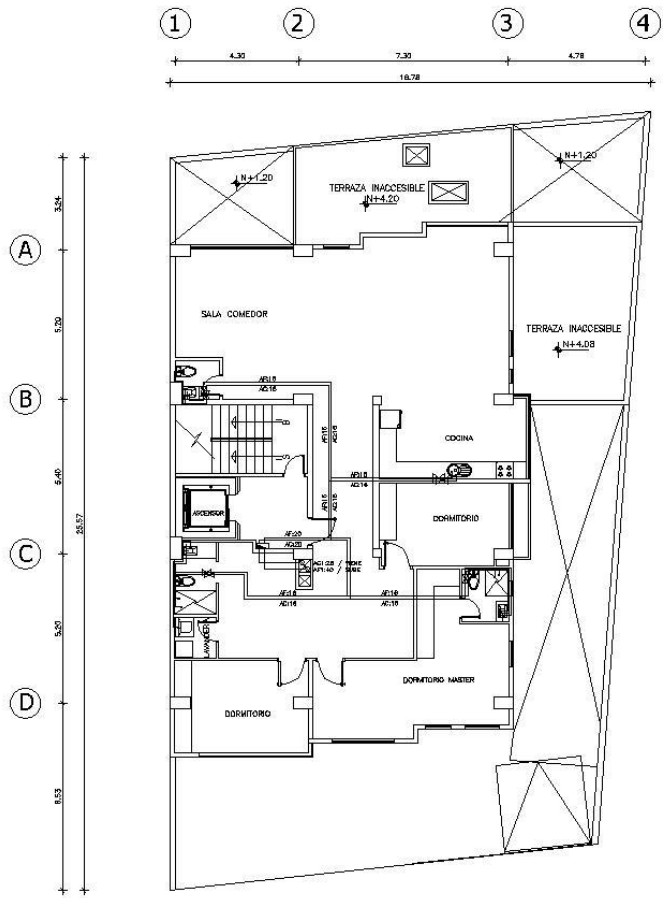
CONTIENE:

RED DE AGUA POTABLE
PLANTA SUBSUELO, PLANTA BAJA

LAMINAS: **IS:1** DE 4



PRIMER PISO +4.20



SEGUNDO PISO +7.20

SIMBOLOGIA

AFm	TUBERIA PARA AGUA FRIA (Ø INDICADO)
ACm	TUBERIA PARA AGUA CALIENTE (Ø INDICADO)
AF16Ø20	MEDIDOR DE AGUA FRIA (Ø INDICADO)
AC16Ø20	MEDIDOR DE AGUA CALIENTE (Ø INDICADO)
AC16Ø20	MEDIDOR AGUA DE RECIRCULACION (Ø INDICADO)
	PUNTO DE AGUA POTABLE
	LLAVE DE MANGUERA
	VALVULA DE CONTROL DE COMPUERTA
	VALVULA CHECK
	MEDIDOR GENERAL
	TABLERO DE MEDIDORES
	SENTIDO DE FLUJO

EQUIVALENCIA DE DIAMETROS EN TUBERIAS

MILIMETROS	INTERNO
16 mm	13.4 mm
20 mm	16.2 mm
25 mm	20.4 mm
32 mm	26.2 mm
40 mm	32.8 mm
50 mm	40.8 mm

PROYECTO:
TESIS DE GRADO - DIEGO BORJA

DISEÑO HIDROSANITARIO:
DIEGO BORJA RIVADENEIRA

UBICACION: SECTOR PINAR ALTO

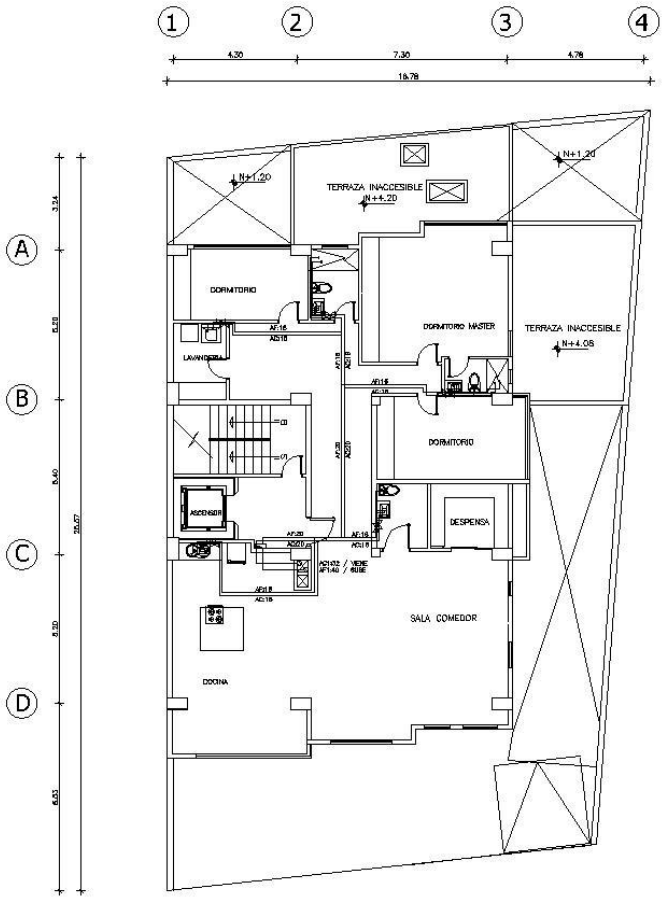
ESCALA:

FECHA:

CLAVE CATASTRAL:

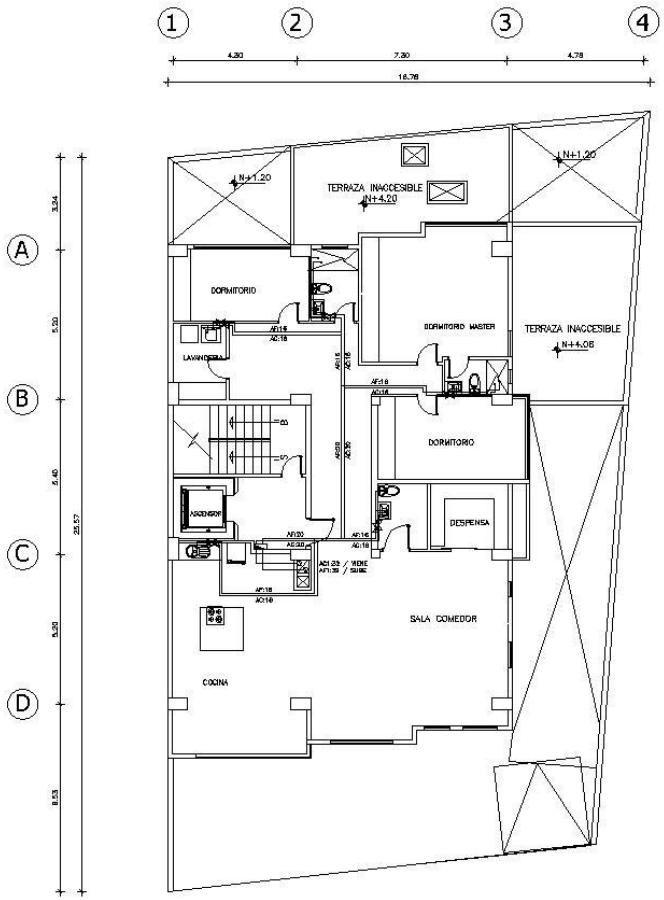
LAMINA: IS:2 DE 4

CONTIENE:
RED DE AGUA POTABLE
PIMER PISO, SEGUNDO PISO



TERCER PISO +10.20

ESCALA 1:100



CUARTO PISO +13.20

ESCALA 1:100

SIMBOLOGIA	
Ahe	TUBERIA PARA AGUA FRIA (Ø INDICADO)
Ahf	TUBERIA PARA AGUA CALIENTE (Ø INDICADO)
○ AF(Ø)	MEDIANTE DE AGUA FRIA (Ø INDICADO)
○ AH(Ø)	MEDIANTE DE AGUA CALIENTE (Ø INDICADO)
○ AR(Ø)	MEDIANTE AGUA DE RECIRCULACION (Ø INDICADO)
	PUNTO DE AGUA POTABLE
	LLAVE DE MANGUERA
	VALVULA DE CONTROL DE COMPUERTA
	VALVULA CHECK
	MEDIDOR GENERAL
	TABLERO DE MEDIDORES
	SENTIDO DE FLUJO

EQUIVALENCIA DE DIAMETROS EN TUBERIAS	
MILIMETROS	INTERNO
16 mm	13.4 mm
20 mm	16.2 mm
25 mm	20.4 mm
32 mm	26.2 mm
40 mm	32.6 mm
50 mm	40.8 mm

PROYECTO:
TESIS DE GRADO · DIEGO BORJA

DISEÑO HIDROSANITARIO:
DIEGO BORJA RIVADENEIRA

UBICACION:
SECTOR PINAR ALTO

ESCALA:

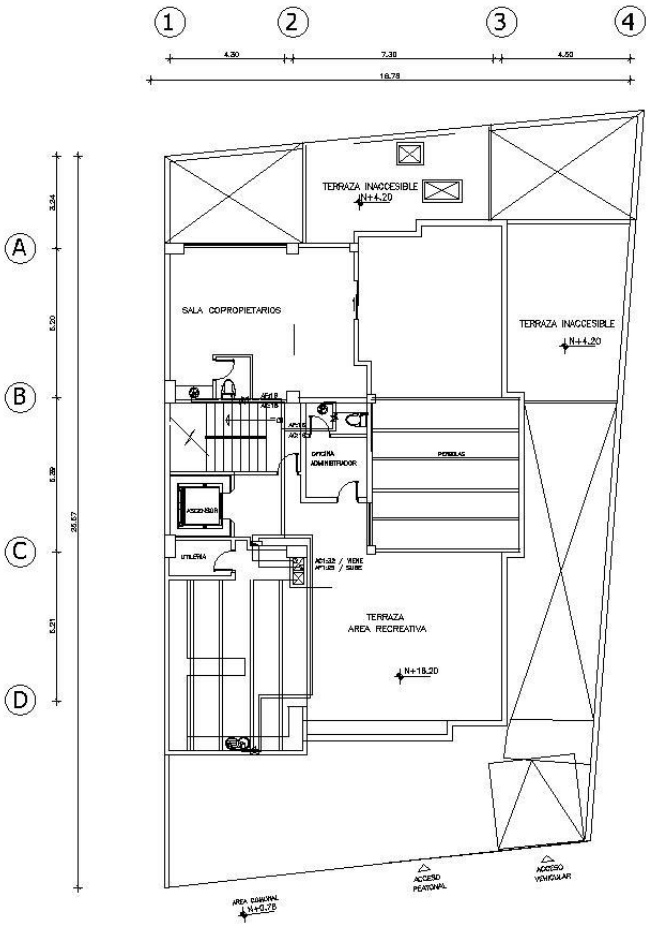
FECHA:

PRUEBA:

CLAVE CATASTRAL:

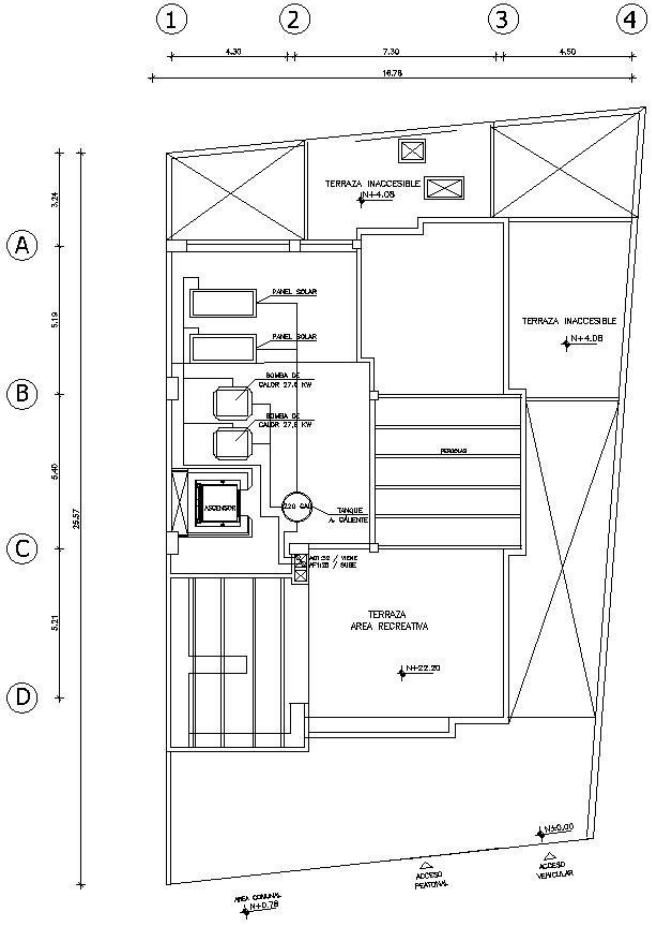
LAMINA:
IS:3
DE
4

CONTENIDO:
RED DE AGUA POTABLE
TERCER PISO, CUARTO PISO



TERRAZA ACCESIBLE N + 16.20

ESCALA 1:100



CUBIERTA + 19.20

ESCALA 1:100

SIMBOLOGÍA	
AFA	TUBERÍA PARA AGUA FRÍA (Ø INDICADO)
AAC	TUBERÍA PARA AGUA CALIENTE (Ø INDICADO)
○ AFA/AAC	MEDIDOR DE AGUA FRÍA (Ø INDICADO)
○ AAC/AAC	MEDIDOR DE AGUA CALIENTE (Ø INDICADO)
○ AAC/AAC	MEDIDOR AGUA DE RECIRCULACIÓN (Ø INDICADO)
	PUNTO DE AGUA POTABLE
T	LLAVE DE MANGUERA
	VALVULA DE CONTROL DE COMPUERTA
	VALVULA CHECK
M	MEDIDOR GENERAL
MED	TABLERO DE MEDIDORES
	SENTIDO DE FLUJO

EQUIVALENCIA DE DIÁMETROS EN TUBERÍAS	
MILIMETROS	INTERNO
16 mm	13.4 mm
20 mm	16.2 mm
25 mm	20.4 mm
32 mm	26.2 mm
40 mm	32.8 mm
50 mm	40.8 mm

PROYECTO:
TESIS DE GRADO - DIEGO BORJA

DISEÑO HIDROSANITARIO:
DIEGO BORJA RIVADENEIRA

UBICACIÓN: SECTOR PINAR ALTO

ESCALA:

REVISA:

FECHA:

CLAVE CATASTRAL:

CONTIENE:
RED DE AGUA POTABLE
TERRAZA, CUBIERTA

LÁMINA: **IS:4** DE 4

10.2. Planos del sistema de suelo radiante

