

Trabajo de Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

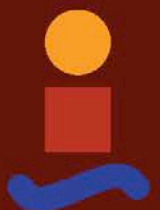
Estudio de viabilidad de un sistema de calefacción en
Estaciones ITV mediante suelo radiante

Autor: Miguel Ángel Fernández Ruiz

Tutor: Hermenegildo Sanz Daza

Dep. Ingeniería de la Construcción y
Proyectos de Ingeniería
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio de viabilidad de un sistema de calefacción en Estaciones ITV mediante suelo radiante

Autor:

Miguel Ángel Fernández Ruiz

Tutor:

Hermenegildo Sanz Daza

Dep. de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016

Trabajo Fin de Grado: Estudio de viabilidad de un sistema de calefacción en Estaciones ITV mediante suelo radiante

Autor: Miguel Ángel Fernández Ruiz

Tutor: Hermenegildo Sanz Daza

El tribunal nombrado para juzgar el Trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A Estefanía

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres que siempre me hayan dado las orientaciones para avanzar en la vida, y a mis hermanos, mis referentes y predecesores en la ingeniería, que son las mejores y más actualizadas enciclopedias sobre cualquier tema y siempre dan un buen consejo. Agradecer a Estefanía su infinita paciencia, porque ha sufrido los daños colaterales de esta carrera.

Agradezco a Hermenegildo Sanz Daza que me diera la posibilidad de realizar mi Trabajo Fin de Grado desde la Unidad de Ingeniería de la empresa, porque se ha convertido además en una experiencia laboral. Muy agradecido a los compañeros que he tenido en VEIASA estos meses, a Carmen y Eva por sus tutoriales de AutoCAD. Le agradezco al profesor Luis Pérez-Lombard Martín de Oliva que me orientara con sus conocimientos en ciertos momentos de oscuridad de este Trabajo. También a mis compañeros de la Escuela por la ayuda prestada para haber podido llegar a la etapa final.

Gracias por la ilusión que ha depositado en mí toda la familia, especialmente mis abuelos, pero también mis tíos y primos. Le agradezco a mis amigos, y a todos cuantos se han interesado alguna vez por el avance de esta carrera.

El viaje llega a su fin.

Miguel Ángel Fernández Ruiz

Sevilla, 2016

Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado trata de estudiar un sistema de calefacción que pueda mejorar las condiciones climáticas que tienen en invierno los operarios de la Estación para la Inspección Técnica de Vehículos situada en la localidad granadina de Baza. El sistema de calefacción es el suelo radiante y se estudia la viabilidad de su instalación en una zona concreta de la nave de inspección.

Lo primero que se ha estudiado es hasta qué punto es capaz de modificar una instalación de calefacción de la dimensión que se ha planteado las condiciones del ambiente que ocupará el trabajador. El principal efecto que tiene esta calefacción es el radiante, pero también convectivo; ambos se han cuantificado y, como suponen una mejoría respecto de la situación inicial, se ha procedido al diseño de la instalación.

El suelo radiante puede ser tanto de agua como eléctrico. Para el diseño se ha partido de la tecnología actual, basándose en Normas Europeas y Manuales Técnicos, y se han dado indicaciones sobre la selección y distribución de los equipos necesarios, sus costes y una comparación entre los dos tipos de instalaciones.

En cuanto a los costes, una instalación de suelo radiante por agua es algo más cara que una de suelo eléctrico debido a que se necesitan equipos adicionales como una fuente de calor. Sin embargo, los costes de funcionamiento son superiores en el caso del suelo eléctrico, por lo que se ha podido plantear un horizonte temporal para ver cómo se va reduciendo la diferencia inicial y acaba superando el coste total de una instalación de suelo eléctrico a una de suelo por agua.

Abstract

This End-of-Degree Project consists in a heating system study which could palliate the adverse weather conditions that operators from the Station for Technical Vehicle Inspection, located in Baza (Granada, Spain), suffer. The heating system is underfloor and its installation is studied in a specific area of inspection ship.

The first thing that has been studied is how far is this heating plant, of the dimension that has been raised, able to modify the environmental conditions that will occupy the workers. The main effect is the radiant heat, but also the convective; both have been quantified and as they are an improvement over the initial situation, it has proceeded to design the installation.

The underfloor heat can be made from water or Joule effect. For the design, it has started from the current technology based on European Standards and Technical Manuals, and it has given indications over the selection and distribution of the necessary equipments, their costs and a comparison between both types of facilities.

As for costs, a water underfloor installation is a bit more expensive than an electric floor due to the need for additional equipments as a heat source. However, operation&maintenance costs are higher in the case of electrical floor, so a temporal skyline can be devise to see how it will reduce the initial difference and, last, an electric floor overcomes the total cost facing a water underfloor installation.

... -translation by Estefanía Marcos-

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
Notación	xxiii
1 Justificación del Estudio	1
2 Caracterización del Problema	3
2.1 <i>Características de la estación</i>	3
2.1.1 <i>Características constructivas</i>	4
2.2 <i>Clima</i>	9
2.3 <i>Horarios</i>	10
2.4 <i>Pérdidas del edificio</i>	11
3 Planteamiento de una solución: Suelo Radiante	13
3.1 <i>¿Qué es el suelo radiante?</i>	14
3.2 <i>Historia</i>	14
3.3 <i>Ventajas del suelo radiante</i>	16
3.4 <i>Tipos de suelos radiante</i>	17
3.4.1 <i>Suelo radiante por agua</i>	17
3.4.2 <i>Suelo radiante eléctrico</i>	19
4 Estudio de Viabilidad Técnica	21
4.1 <i>Mecanismos de transferencia de calor</i>	21
4.2 <i>Confort</i>	21
4.3 <i>Renovación del ambiente</i>	26
4.4 <i>Pérdidas por infiltración</i>	27
4.5 <i>Modelos para el cálculo de T_m</i>	28
5 Solución con Suelo Radiante por agua	33
5.1 <i>Características de la instalación</i>	33
5.1.1 <i>Variables de optimización</i>	34
5.2 <i>Diseño</i>	34
5.3 <i>Simulación</i>	40

5.4	<i>Instalación</i>	43
5.4.1	Materiales y selección de equipos	43
5.4.2	Tratamiento del agua	45
5.4.3	Fuente de calor	46
5.4.4	Etapas del montaje	48
5.4.5	Regulación	52
5.4.6	Puesta en marcha	53
5.5	<i>Planos</i>	53
6	Solución con Suelo Radiante eléctrico	55
6.1	<i>Características de la instalación</i>	55
6.1.1	Variables de optimización	55
6.2	<i>Diseño</i>	55
6.3	<i>Simulación</i>	57
6.4	<i>Instalación</i>	58
6.4.1	Materiales y selección de equipos	59
6.4.2	Etapas de montaje	59
6.4.3	Protecciones	62
6.4.4	Puesta en marcha	64
6.5	<i>Planos</i>	64
7	Estudio de Viabilidad Económica	65
7.1	<i>Empresas del sector</i>	65
7.2	<i>Costes de instalación</i>	65
7.2.1	Suelo radiante por agua	66
7.2.2	Suelo radiante eléctrico	66
7.3	<i>Costes de operación y mantenimiento</i>	66
7.4	<i>Análisis de viabilidad</i>	67
8	Conclusiones	71
8.1	<i>Comparativa entre ambos sistemas</i>	71
8.2	<i>Posibles mejoras</i>	72
8.2.1	Puertas cerradas	72
8.2.2	Cortinas de plástico	73
8.2.3	Pasillos más anchos	73
8.2.4	Cortinas de aire	73
Anexo I: Planos		75
Anexo II: Cálculos		81
Anexo III: Datos de la Instalación de agua		93
Anexo IV: Presupuestos		97
Referencias		105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Día típico de invierno en Baza	10
Tabla 4-1: Percepción subjetiva del ambiente	24
Tabla 4-2: Valores PMV y PPD en función de parámetros	26
Tabla 4-3: Valores PMV y PPD posibles con las especificaciones del problema	30
Tabla 5-1: Valores mensuales sacados de la Guía Técnica	40
Tabla 7-1: Resumen del presupuesto del suelo radiante por agua	66
Tabla 7-2: Resumen del presupuesto del suelo radiante eléctrico	66
Tabla 7-3: Costes O&M del suelo radiante por agua	67
Tabla 7-4: Costes O&M del suelo radiante eléctrico	67
Tabla 7-5: Actualización de los costes de la instalación	69
Tabla 8-1: Resumen de costes	72
Tabla III-1	94
Tabla III-2	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1-1: Infograma de la Estación de Baza	1
Ilustración 2-1: Localización de la Estación	3
Ilustración 2-2: Distribución de la parcela	4
Ilustración 2-3: Detalle del muro de la fachada sur	4
Ilustración 2-4: Detalles de las fachadas este y oeste	5
Ilustración 2-5: Puerta de acceso a la nave	5
Ilustración 2-6: Detalle muro oficina	6
Ilustración 2-7: Detalle ventanas oficina	6
Ilustración 2-8: Fotografía de la cubierta	7
Ilustración 2-9: Interior de la nave	8
Ilustración 2-10: Detalle arqueta de registro	8
Ilustración 2-11: Diagrama de temperaturas	9
Ilustración 2-12: Variación diaria de la temperatura	10
Ilustración 3-1: Sección de un suelo radiante	14
Ilustración 3-2: Conducción de calor unidimensional	14
Ilustración 3-3: Recreación de un hipocausto	15
Ilustración 3-4: Ruinas de un hipocausto	15
Ilustración 3-5: Recreación de una terma	15
Ilustración 3-6: Distribución de temperaturas según sistema de calefacción	16
Ilustración 3-7: Distribución en serpentín	18
Ilustración 3-8: Distribución en doble serpentín	18
Ilustración 3-9: Distribución en espiral	18
Ilustración 3-10: Cable calefactor	19
Ilustración 3-11: Malla calefactora	20
Ilustración 3-12: Folio radiante	20
Ilustración 4-1: Balance de flujos de calor sobre una persona	22
Ilustración 4-2: Diagrama PPD	24
Ilustración 4-3: Línea de inspección, suelo radiante y aire de infiltración	27

Ilustración 4-4: Descomposición de la radiación	28
Ilustración 4-5: Modelo para el cálculo de Q_1^{RD}	29
Ilustración 4-6: Modelo para el cálculo de $T_{rm,eq}$	30
Ilustración 4-7: Gráfico del estudio paramétrico	31
Ilustración 5-1: Variables de optimización	34
Ilustración 5-2: Instalación de tipo A	35
Ilustración 5-3: Distancia mínima en la línea de motos	36
Ilustración 5-4: Distancia mínima en la línea 1	36
Ilustración 5-5: Distancia mínima en la línea 2	37
Ilustración 5-6: Distribución de los tubos del suelo radiante	39
Ilustración 5-7: Calentamiento de una losa de hormigón	41
Ilustración 5-8: Calentamiento de la losa de 5 cm de espesor	42
Ilustración 5-9: Enfriamiento de la losa de 5 cm	42
Ilustración 5-10: Zanjas para el recorrido de los tubos	43
Ilustración 5-11: Colectores	45
Ilustración 5-12: Limpieza de la instalación	46
Ilustración 5-13: Caldera de condensación	47
Ilustración 5-14: Ubicación de la caldera y el depósito de combustible	48
Ilustración 5-15: Sistema de colectores	49
Ilustración 5-16: Banda perimetral	49
Ilustración 5-17: Colocación de paneles aislantes	50
Ilustración 5-18: Instalación de tubos emisores	50
Ilustración 5-19: Vertido del mortero	51
Ilustración 5-20: Cemento con tratamiento superficial de fratasado	52
Ilustración 6-1: Distribución del cable calefactor	57
Ilustración 6-2: Calentamiento de la losa de 4 cm	57
Ilustración 6-3: Enfriamiento losa 4 cm	58
Ilustración 6-4: Zanjas para el recorrido de los cables calefactores	59
Ilustración 6-5: Instalación de aislantes	59
Ilustración 6-6: Placas de fibra	60
Ilustración 6-7: Instalación guía de separación	60
Ilustración 6-8: Detalle del radio de curvatura	61
Ilustración 6-9: Suelo nivelado	61
Ilustración 6-10: Caja de conexiones y termostato	62
Ilustración 6-11: Líneas de campo y superposición de efectos	63
Ilustración 6-12: Suma de corrientes paralelas	63
Ilustración 6-13: Campo creado por corrientes paralelas	63
Ilustración 6-14: Suma de corrientes antiparalelas	64
Ilustración 6-15: Campo creado por corrientes antiparalelas	64

Ilustración 7-1: Gráfico comparación costes de instalación	68
Ilustración 7-2: Gráfico comparación costes O&M	68
Ilustración 7-3: Gráfico de actualización de costes totales	69
Ilustración 8-1: Puerta rápida en la Estación de El Pino (Sevilla)	73
Ilustración 8-2: Puerta batiente	73
Ilustración 8-3: Cortina de aire	74
Ilustración III-1: Diagrama de pérdida de carga en tuberías de polietileno reticulado	94

Notación

CTE	Código Técnico de la Edificación
ICP	Interruptor con control de potencia
ITV	Inspección Técnica de Vehículos
NHF	Número de horas de funcionamiento
NOx	Óxidos de nitrógeno
O&M	Operación y mantenimiento
PCI	Poder Calorífico Inferior
PEx	Polietileno reticulado
PMV	Voto Medio Previsto
PPD	Porcentaje de personas insatisfechas
RITE	Reglamento para Instalaciones Térmicas en la Edificación
T_{imp}	Temperatura de impulsión del agua
T_{max}	Temperatura máxima
T_{med}	Temperatura media
T_{min}	Temperatura mínima
T_{ret}	Temperatura de retorno del agua
T_{terr}	Temperatura del terreno
UNE	Una Norma Española
VEIASA	Verificaciones Industriales de Andalucía S.A.

1 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio sobre sistemas de calefacción nace de una necesidad real de la empresa. La red de estaciones para la inspección técnica de vehículos de Verificaciones Industriales de Andalucía S.A. (en adelante VEIASA) se extiende por toda la Comunidad Autónoma, contando hasta la fecha con 78 estaciones entre fijas y móviles. Las necesidades de climatización de cada una de ellas, por tanto, serán diferentes dependiendo de la zona donde se ubique. Este trabajo tratará de estudiar la viabilidad técnica y económica de un sistema de calefacción mediante suelo radiante en las naves de inspección.

Téngase en cuenta que la totalidad de la red de estaciones ITV de Andalucía no ha sido construida por VEIASA, puesto que la empresa cuenta actualmente con la concesión pública de este servicio, pero no siempre ha sido así, hace años era mixto. Aunque las pruebas para la inspección técnica de vehículos estaban y están reguladas, las estaciones en general eran muy diferentes. Tras un proceso de reversión en los años 90, las estaciones pasaron a manos de la empresa pública VEIASA, la cual depende de la Consejería de Empleo, Empresa y Comercio de la Junta de Andalucía. Del Área de Infraestructuras de VEIASA, que cuenta con las Unidades de Ingeniería, Obras, Proyectos y Mantenimiento, salen los proyectos de nuevas estaciones ITV y ampliaciones y mejoras de las ya existentes. Desde hace tiempo se han aunado criterios criterios y las ITV son prácticamente idénticas, aunque según el número de líneas de inspección varían su tamaño.



ITV DE BAZA

Ilustración 1-1: Infograma de la Estación de Baza

En una estación de Inspección Técnica de Vehículos se diferencian dos zonas: las oficinas y la nave de inspección. Las oficinas están destinadas a los trámites administrativos de los propietarios de los vehículos y cuentan con un despacho para el jefe de la estación, sala de espera, sala de formación, sala técnica, archivo, office para empleados y aseos para trabajadores y público en general. Estas dependencias están perfectamente acondicionadas y climatizadas para los regímenes de verano e invierno. La nave cuenta con los equipos y la maquinaria necesaria para la inspección de vehículos, los cuales son conducidos por sus propietarios a lo largo de la línea bajo la supervisión del inspector, que realiza las pruebas pertinentes. La nave no está climatizada porque en el Código Técnico de la Edificación no está considerada como local habitable.

Las inspecciones se hacen de manera ininterrumpida durante todo el día y las puertas de la nave están

permanentemente abiertas. El hecho de que las puertas estén abiertas y que cada línea cuente con sus puertas de entrada y de salida, enfrentadas entre sí, puede generar corrientes de aire en el interior de la nave que serán más o menos agradables según la época del año y de la localización de la estación.

Existe otro tipo de inspecciones, como son las de motocicletas, en las que es muy importante la insonorización para la prueba de nivel de ruidos, por lo que se dispone de un sistema de puertas, llamadas “rápidas”, que abren solamente para permitir el acceso y salida a la inspección de dichos vehículos. Por norma general siempre están cerradas. De estas puertas se hablará más adelante.

Se puede decir que las instalaciones se encuentran en una situación de permanente mejora, pues vistas las carencias o potenciales mejoras en ciertos aspectos, se busca una solución para corregirlas. La Unidad de Ingeniería permanece en constante búsqueda de situaciones mejorables tanto para el trabajador como para el cliente, aunque ello suponga importantes actuaciones estructurales.

Este estudio se halla inmerso dentro de un proyecto que pretende mejorar las condiciones laborales de los inspectores en su puesto de trabajo.

Recientemente se han elaborado proyectos para solucionar los problemas de calor en verano y se están implantando sistemas de hidroclimatización en algunas de las estaciones que más calor soportan.

El objetivo de este estudio es poner de manifiesto si la calefacción por suelo radiante es una solución planteable para el problema de frío en invierno. Se estudiará si este sistema es viable técnica y económicamente. No se trata de calefactar toda la nave, pues, además de su gran altura, no está ocupada por personas en la totalidad de su superficie. Lo que se pretende es que las personas que están expuestas a las condiciones climatológicas lleguen a encontrarse en condiciones de confort o lo más cerca posible de un rango de condiciones confortables. Bajo estas premisas, se ha adoptado el criterio de hacer el estudio con la instalación del suelo radiante únicamente en el recorrido de evacuación de cada línea (en el siguiente capítulo se explicará con más detalle la localización y dimensión de estos recorridos), que es la zona de trabajo de los inspectores.

Este estudio ha sido realizado durante una beca práctica en la Unidad de Ingeniería de VEIASA, lo que ha facilitado el contacto con proveedores, de manera que los costes que se mostrarán posteriormente son reales.

2 CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

La estación sobre la que se hará el estudio es la que se encuentra en la localidad de Baza, en Granada. Esta ITV se empezó a construir en 2014, y está en funcionamiento desde 2015. Cuenta con una línea para la inspección de vehículos ligeros, otra para pesados y otra para motos, y está preparada para ser ampliada en una línea para soportar también la inspección de vehículos ligeros.

2.1 Características de la estación

La estación está ubicada en el Polígono 3 del Sector U-15 “Dama de Baza” del término municipal de Baza. La parcela, de forma poligonal, tiene una superficie total de 4456.35 m², de la cual 322.40 m² corresponden al edificio de oficinas y 871.50 m² a la nave de inspección. Las oficinas están adosadas a la nave y el muro que las separa será descrito más adelante.

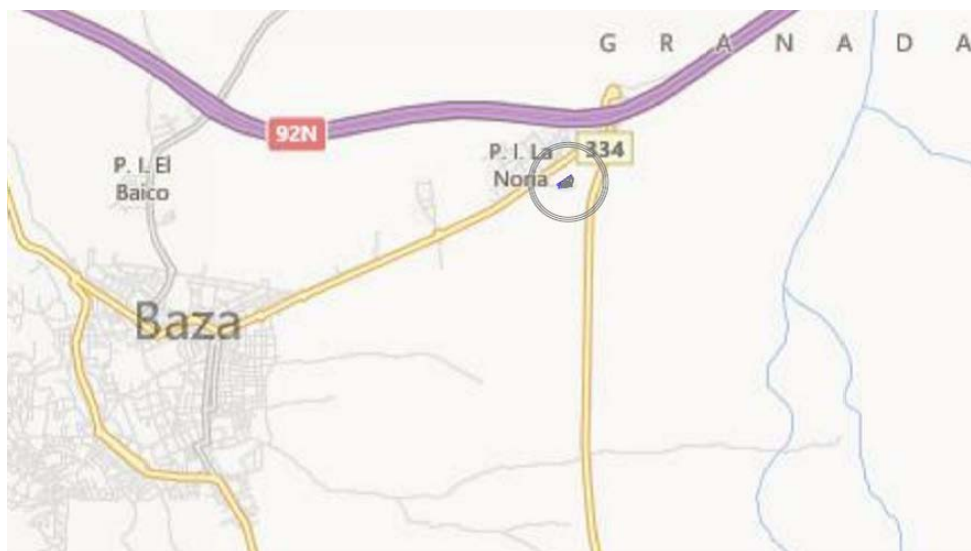


Ilustración 2-1: Localización de la Estación

El conjunto está orientado de tal manera que las oficinas corresponden a la fachada Norte y los vehículos entran a la nave por la fachada Este y salen por la Oeste. La cubierta es a dos aguas en la parte de la nave y se intercalan elementos opacos y translúcidos para un mejor aprovechamiento de la luz natural.

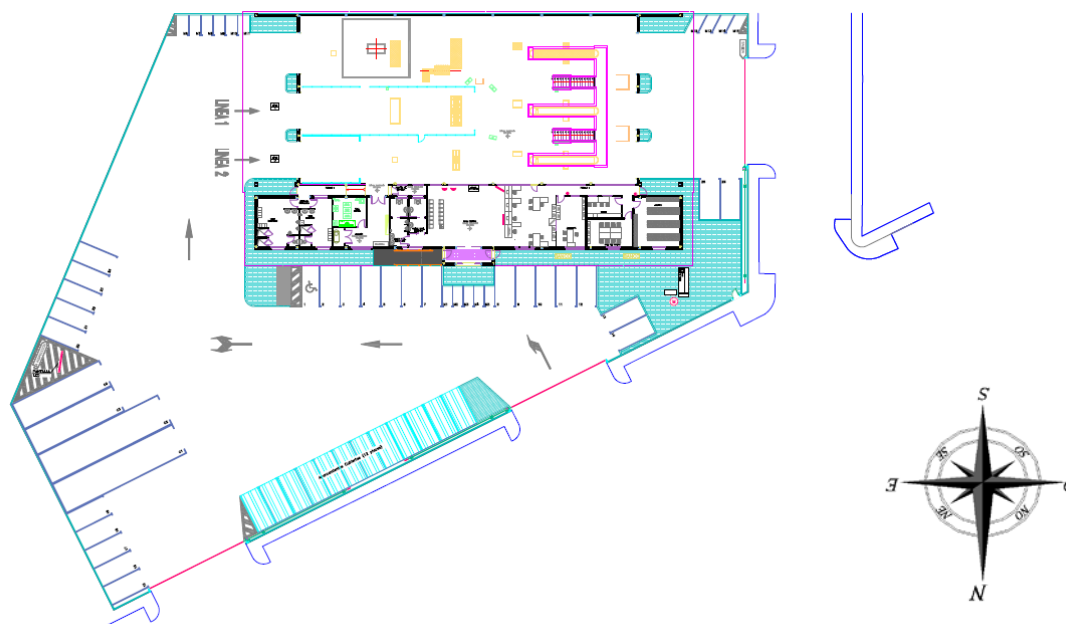


Ilustración 2-2: Distribución de la parcela

La dimensión de la nave es de 42x20.75 metros y la de cada línea es 42x6 metros. Cada línea de inspección cuenta en su lado izquierdo con un recorrido de evacuación, por donde el inspector camina acompañando al vehículo durante la inspección técnica. Estos pasillos, que no están delimitados constructivamente, tienen una anchura de 0.8 metros.

2.1.1 Características constructivas

Anteriormente se comentó que la nave no estaba aislada ni acondicionada para los regímenes de verano e invierno. A continuación se van a detallar las características constructivas de la nave, así como las de los cerramientos que la componen. Estos datos han sido tomados de la Memoria Constructiva del Proyecto de Construcción de la ITV y se muestran imágenes de los detalles de los planos de tabiquería y carpintería del citado Proyecto.

➤ Fachada Sur:

Esta fachada no aloja ningún hueco y está compuesta en su totalidad por placas alveolares de hormigón de 15 cm de espesor. Tiene unas dimensiones de 42 metros de longitud por 5.85 metros de altura.



Ilustración 2-3: Detalle del muro de la fachada sur

➤ Fachadas Este y Oeste:

Estas son las fachadas que albergan las puertas. Se ha comentado ya que durante el horario de inspecciones están abiertas, lo que implica que cada fachada tendrá tres grandes huecos que comunicarán directamente con el exterior. Las dimensiones correspondientes a estas fachadas son 21.2 metros de longitud por 6.9 de altura. Los huecos de las puertas son de 4.5x4.5 metros cada uno.

Están constituidas por placas alveolares similares a las de la fachada Sur y además un revestimiento de paneles fachada exterior, que son unos paneles sándwich compuestos por chapas de acero y núcleo aislante de espuma rígida de poliuretano inyectado.

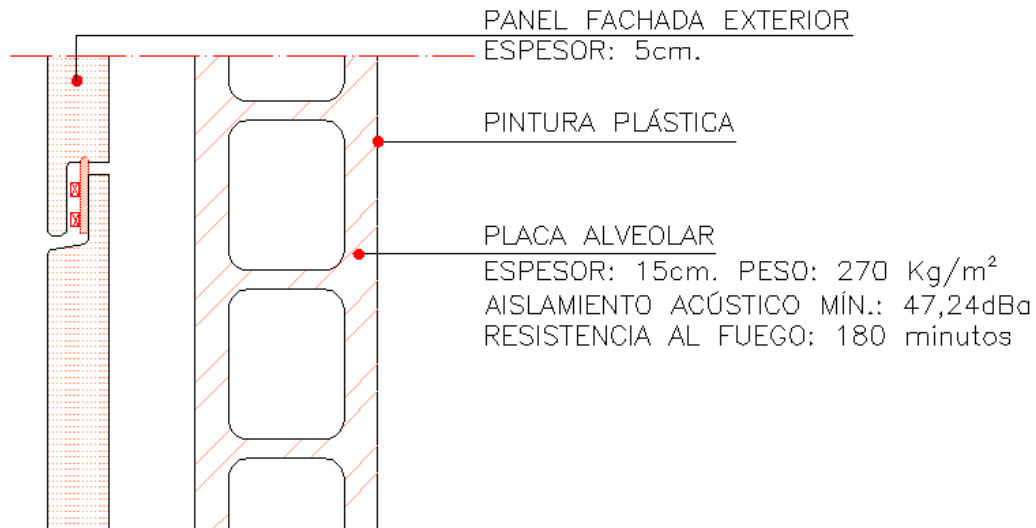


Ilustración 2-4: Detalles de las fachadas este y oeste

Aunque las puertas están abiertas y no influyen en los cálculos, se aporta información sobre ellas: son cuadradas, de 4.5 metros de lado, de acero galvanizado, y para su apertura y cierre cuentan con un motor capaz de hacer el recorrido en aproximadamente dos minutos.

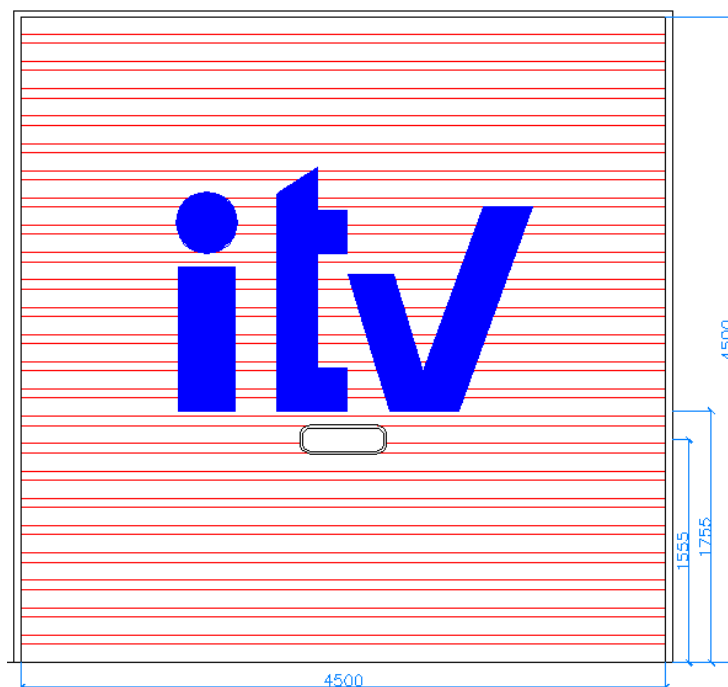


Ilustración 2-5: Puerta de acceso a la nave

➤ Fachada Norte:

Se corresponde con el muro que separa las oficinas de la nave. Tiene una serie de huecos para

ventanas, de manera que la nave y las inspecciones pueden verse desde el interior de las oficinas o la sala de espera.

Su dimensión es de 41.2 de largo y 5.7 de altura. Encima de las oficinas existe una entreplanta a la que se tiene acceso a través de una escalera escamoteable desde la sala de espera. La oficina tiene una altura de 3.6 metros y la parte de fachada norte que queda por encima de esta altura, linda con la mencionada entreplanta.

El muro tiene la siguiente composición:

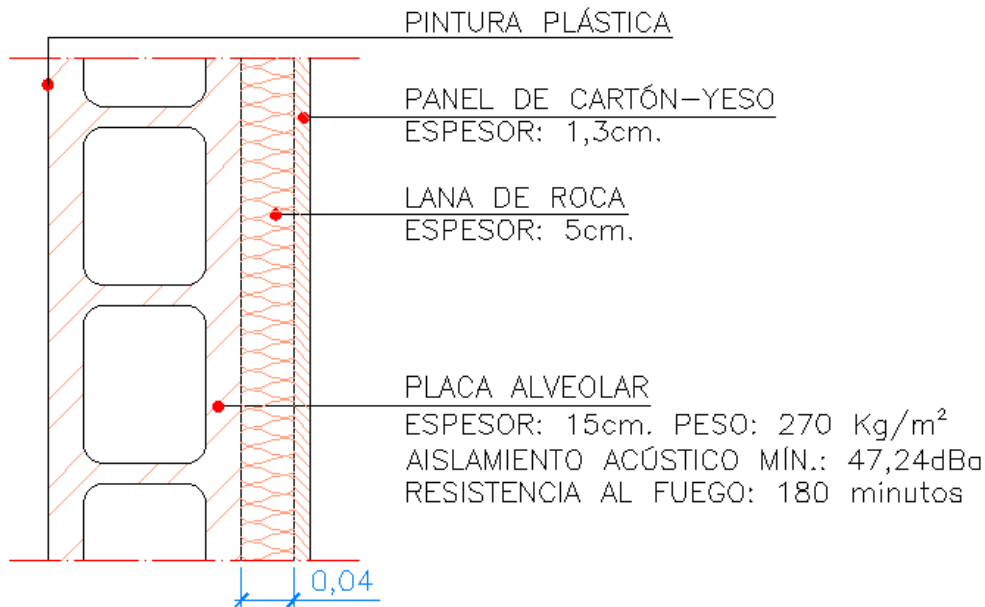


Ilustración 2-6: Detalle muro oficina

La superficie correspondiente al muro es de 197.4 metros cuadrados, estando el resto del cerramiento ocupado por ventanas cerradas y una puerta de cristal. Los ventanales de separación son como se muestran a continuación:

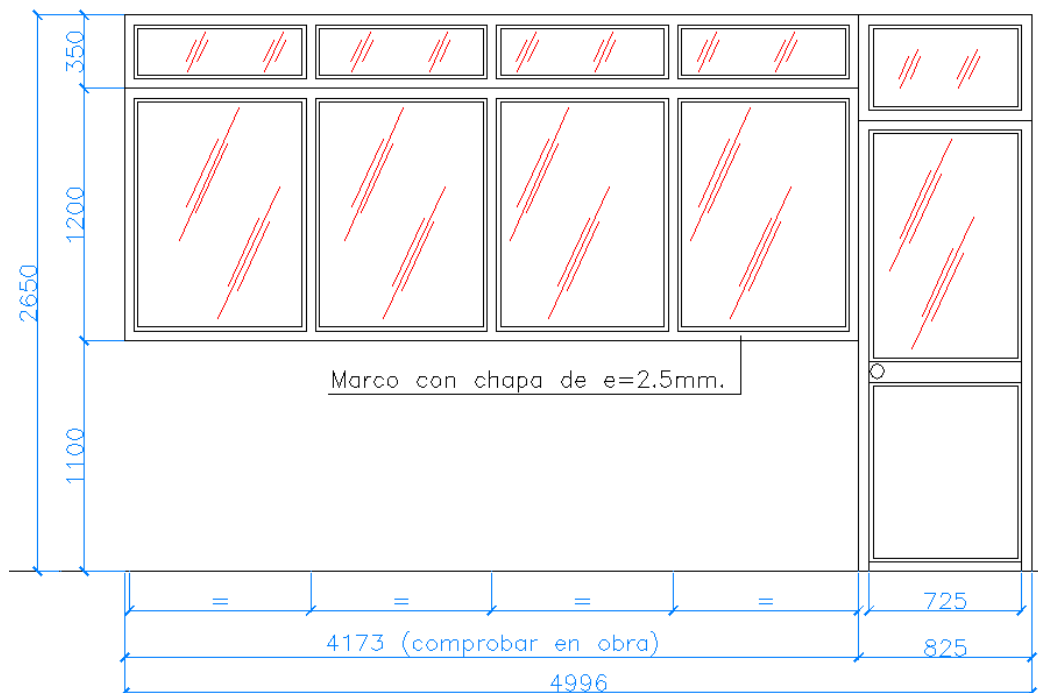


Ilustración 2-7: Detalle ventanas oficina

➤ Cubierta:

La cubierta es a dos aguas, como se ha comentado anteriormente. Construida mediante panel aislante tipo sándwich de 50 mm de espesor, formado por dos chapas conformadas de acero galvanizado de 0.5 mm de espesor y núcleo aislante de espuma de poliuretano inyectado. Están colocados con tornillería autotaladrante a las correas y montados de forma que se consigue una perfecta impermeabilización.

Con objeto de aprovechar al máximo la iluminación natural del día, se dispone de placas translúcidas de policarbonato celular incoloro, de 30 mm de espesor. Estas placas están dispuestas cada 5 metros y tienen una anchura de un metro, de manera que se tienen siete placas.



Ilustración 2-8: Fotografía de la cubierta

La cubierta aloja en su cara superior las unidades exteriores de los equipos para la refrigeración adiabática de la nave. También se distribuyen por toda la cubierta los ventiladores para la extracción de gases.

➤ Base:

En la planta de la nave se distribuyen las tres líneas de inspección con su correspondiente maquinaria. Las líneas de inspección de vehículos ligeros y pesados cuentan con una cabina a la entrada donde se analizan los gases y se mide la luz de los faros. La cabina de la línea de pesados es más larga debido a que tiene que alojar por completo a los camiones durante estas pruebas de la inspección. Tras estas pruebas, y ya fuera de la cabina, se realizan las de frenos y por último se revisan una serie de parámetros de la zona baja del coche desde el foso. Para alojar toda esta maquinaria a veces son necesarias unas bancadas de grandes dimensiones.



Ilustración 2-9: Interior de la nave

La base de la estación está ejecutada con un pavimento de hormigón armado de 20 cm de espesor, sobre el que se aplica un tratamiento de fratasado. Esto es un tratamiento superficial de acabado de suelos de hormigón para su pulido con áridos sílice, corindón y cuarzo y se ha pintado con una pintura a base de prepolimeros de poliuretano para obtener un suelo con clase de resbalamiento C2, según establece el CTE, y de alta resistencia a abrasión.

Por debajo de esta losa se tienen 60 cm de suelo adecuado sobre suelo tolerable. Este suelo adecuado está formado por zahorra artificial obtenida de las canteras de la zona, esparcida en tongadas de 20 cm y compactada hasta obtener una densidad del 98 % del ensayo Próctor Modificado. El suelo tolerable es ya el terreno natural.

Bajo la base no hay tuberías de agua pero sí que existe una distribución de la instalación eléctrica para abastecer a las máquinas que la necesitan. Cerca de cada máquina hay una arqueta de registro que contiene todo el cableado para su correcto funcionamiento. Estas arquetas llegan hasta la parte inferior de la losa de 20 cm. Es posible que solapen parte de los recorridos de evacuación, pero no representan ningún problema a la hora del diseño de la instalación del suelo radiante, aunque sí suponen algunas limitaciones como se verá más adelante.



Ilustración 2-10: Detalle arqueta de registro

2.2 Clima

La estación ITV de Baza reúne las características necesarias para ser considerada una de las estaciones más frías de Andalucía. La cota de la solera de la nave es de 787.30 metros sobre el nivel del mar. Por su localización en el polígono industrial, donde actualmente sólo hay una construcción en el lindero Este de la parcela, no hay obstáculos que puedan impedir la formación de corrientes de aire.

Para la caracterización del clima de la localidad se han tomado los datos históricos de una estación agroclimática de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Los datos de esta estación están recopilados desde 2004 y se han almacenado los valores de temperatura mínima, máxima y media, así como las horas a las que se han alcanzado las mínimas y máximas diarias; humedad relativa mínima, máxima y media; velocidad y dirección del viento; radiación solar y precipitaciones. Se ha asumido que el clima que se ha dado durante estos últimos años es representativo de lo que pueda pasar en un futuro.

Se adoptará como criterio para el funcionamiento de la calefacción que la temperatura media esté por debajo de 10 °C. Esto ocurre aproximadamente unos 130 días al año, los que corresponden a los meses de Noviembre a Marzo. En este periodo la temperatura media oscila entre los 3 y los 10 °C, la temperatura mínima entre -3 y 4 °C y la máxima entre 9 y 18 °C. En el siguiente gráfico se representa la media diaria de las temperaturas desde que se tienen registros:

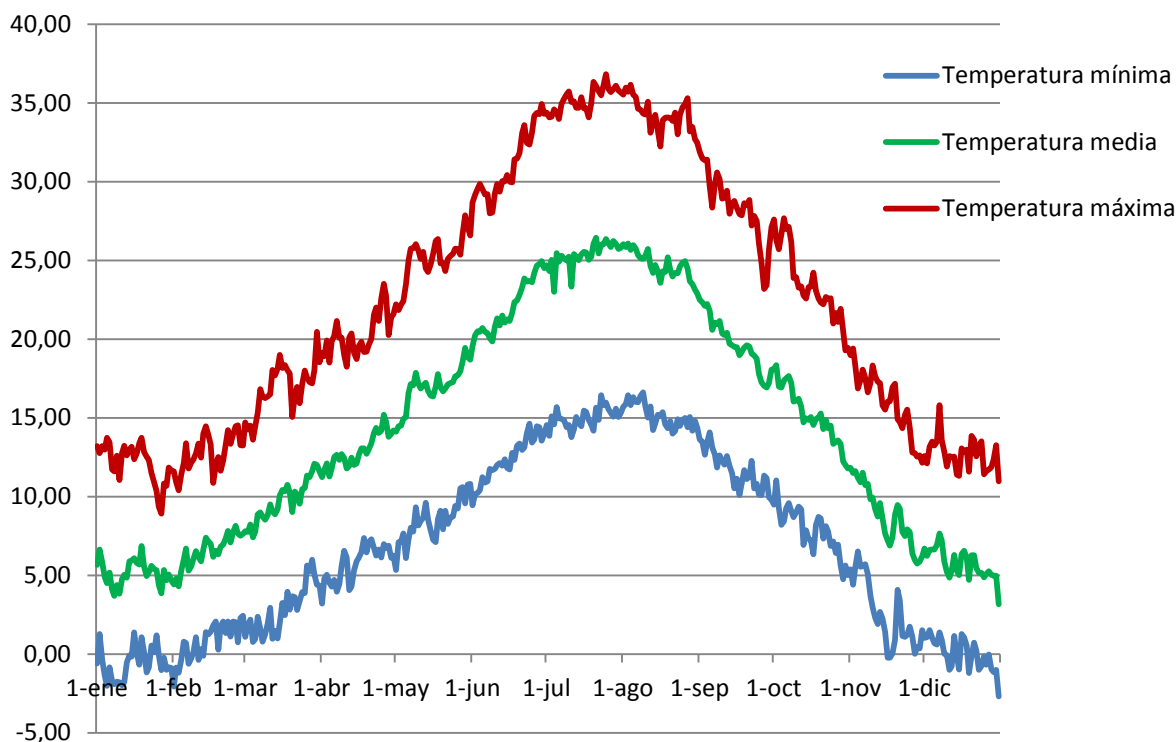


Ilustración 2-11: Diagrama de temperaturas

A efectos de cálculo se tomará como día más desfavorable el día 29 de enero pues, a pesar de no ser el día con la mínima de las temperaturas medias registradas, si reúne las condiciones de temperatura media baja y alta velocidad del viento y es representativo de un día de invierno en la localidad.

Día	29 – enero
Temperatura mínima	- 1 °C
Temperatura media	4.69 °C
Temperatura máxima	10.69 °C
Humedad relativa media	67.60 %
Velocidad del viento	2.42 m/s
Dirección del viento	278 °
Radiación	10.79 MJ/m ²
Precipitaciones	0.71 mm

Tabla 2-1: Día típico de invierno en Baza

2.3 Horarios

El horario de apertura de la estación al público de lunes a viernes es de 7.45 hasta 19.15, prestando servicio de manera ininterrumpida. Los sábados terminan las inspecciones a las 12.45 y los domingos no abre la estación.

Existe una serie de días en los que se trabaja con horario reducido (hasta las 14.45). Algunos de ellos se corresponden con el periodo de Navidad, pero no merece la pena tenerlos cuenta a efectos de cálculo de consumo porque se trata de cinco días de los ciento treinta que funcionaría el sistema de calefacción, porque no es representativo.

Se tomará como día tipo aquél que tiene un horario de apertura normal y se hará el estudio de manera que a la hora de comienzo de las inspecciones, el suelo radiante se encuentre a la temperatura de servicio, pues se entiende que debido a la temperatura ambiente, sobretodo nocturna, y al espesor que tendrá el pavimento por encima de la instalación, será necesaria su puesta en marcha tiempo antes de que abra la nave.

En la medida de lo posible, se tratará de calcular la instalación teniendo en cuenta que las temperaturas mínimas del día se darán durante la noche y hasta las primeras horas de la mañana, aproximadamente las 6-7 horas de la mañana, aumentando hacia la temperatura máxima en las horas centrales del día, 12-16 horas, disminuyendo nuevamente durante la tarde para llegar a la mínima de nuevo a la noche.

Se pretende simular las fluctuaciones de temperatura teniendo en cuenta los datos históricos de temperaturas en Baza y atendiendo a las horas a las que se dan las mínimas y las máximas.

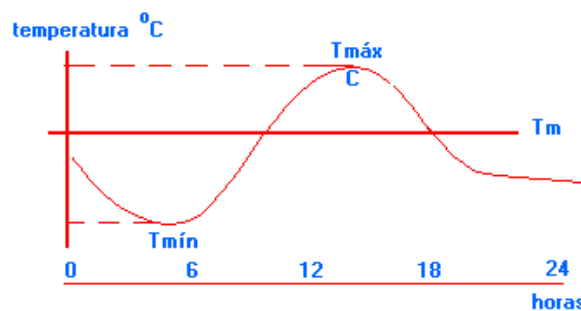


Ilustración 2-12: Variación diaria de la temperatura

2.4 Pérdidas del edificio

Como se ha dicho anteriormente, la nave no está aislada térmicamente. Sí que es cierto que en las fachadas Este y Oeste se cuenta con paneles sándwich con alma de poliuretano, que es un buen aislante térmico, pero se trata de áreas muy reducidas y además se intercalan con las puertas, por lo que el efecto aislante del poliuretano se puede despreciar.

La fachada norte de la nave está aislada solamente por la superficie que la separa con las oficinas, porque éstas están acondicionadas para los regímenes de verano e invierno. Cuenta con una capa de lana de roca de 4 cm de espesor como aislante. Por la parte del cerramiento que corresponde a los huecos para ventanas puede haber alguna ganancia en forma de calor hacia la nave, pero, igual que pasaba con el panel sandwich de las fachadas, será mínima. El resto de la fachada norte está compuesta únicamente de placas alveolares.

La fachada sur y la cubierta reciben radiación directa durante todas las horas de sol. Aunque la sur está compuesta en su totalidad por placas alveolares de cemento y los alveolos propiamente dichos son unas cámaras de aire que, en principio han sido practicadas para ahorrar material, ciertamente forman un aislamiento térmico porque la conductividad térmica del aire es menor que la del cemento (1.4 W/m·K del cemento frente a 0.024 del aire). Las placas translúcidas de la cubierta, que suponen el 27.47 % del área de la ésta y tienen la función de dejar pasar la luz solar pero también la radiación, lo que supone una ganancia sobre el ambiente de la nave. El resto de la superficie de la cubierta es de panel sándwich distinto a los de las fachadas porque no tienen que ser vistos, pero cuentan también con un alma de poliuretano.

Ambos cerramientos, al anochecer, se convierten en pérdidas de energía cuando con quien intercambian calor es con la bóveda celeste, la cual tiene una temperatura radiante media de unos 0 °C y un factor de forma cercano a la unidad, cediendo por tanto toda la energía que podría haber acumulada en el interior de la nave.

En cuanto al terreno en el que se encuentra la estación, existe una fluctuación del flujo de calor a lo largo del día debido a que la temperatura del terreno a la altura a la que está la localidad de Baza permanece prácticamente constante, unos 6.5 °C, como si de un reservorio de energía se tratara. Habrá momentos del día en los que este flujo sea considerado pérdida y otros en los que se considerará ganancia.

3 PLANTEAMIENTO DE UNA SOLUCIÓN: SUELO RADIANTE

Se ha planteado el estudio de un sistema de calefacción por suelo radiante porque no modifica la forma de trabajar de la empresa, cosa que, por otra parte, se sale del alcance del presente estudio.

Ya se comentó que no era la intención calefactar la nave, pues sería muy costoso al ser un edificio de grandes dimensiones, gran altura y gran ventilación, además de que la nave de inspección no se ha construido pensando en el aislamiento térmico y lo que se generara en el interior no encontraría resistencia para ser disipado al ambiente exterior.

La idea que se persigue es que la zona por la que se mueven los inspectores sea lo más confortable posible. Por este motivo y porque la estación ya está construida y en funcionamiento, se estudiará la instalación únicamente en los recorridos de evacuación, pues acometer una obra para levantar toda la solería y volverla a colocar tras la instalación del sistema de calefacción quizá no fuera operativo, además de que la temperatura que se llega a alcanzar en la superficie inferior de la losa de hormigón, podría ser incompatible con los equipos que se utilizan para las inspecciones por posibles dilataciones en algunos en los que se necesita gran precisión. Podría ser objeto de estudio en proyectos posteriores para estaciones de nueva construcción.

Existen algunos requisitos que la instalación deberá cumplir, como por ejemplo que el sistema de calefacción deberá ir totalmente empotrado en la solera para evitar desniveles en el firme que puedan causar algún incidente como por ejemplo tropiezos. El sistema de suelo radiante es una buena solución para los problemas de frío en hogares, donde pueden alcanzarse temperaturas ambiente del orden de 22 °C que resulta realmente confortable. En instalaciones industriales también se ha desarrollado este método de calefacción, por lo que para una estación ITV es perfectamente planteable. Otro requisito es que, aunque técnicamente pudiera conseguirse, no se busca alcanzar la misma temperatura que resulta confortable en una vivienda, pues en una ITV, el inspector a veces necesita salir al exterior de la nave y pasar de 22 °C a los 4 de temperatura exterior puede generar sobre él una sensación de shock térmico perjudicial para su salud.

En las soluciones que se aportan se ha tenido en cuenta que ciertas variables del problema pueden tomar valores con efectos contrapuestos sobre otras. alguna de esas variables puede ser el espesor de la losa de hormigón que habrá por encima de la instalación de calefacción, esto es la profundidad a la que irá empotrada, pues un espesor demasiado pequeño hará que se alcance antes la temperatura de diseño en la superficie pero penalizará la inercia térmica del sistema, lo que conllevaría un mayor número de horas de funcionamiento del generador de calor. Por el contrario, un espesor demasiado grande obligaría al generador de calor a empezar a trabajar horas antes de la apertura de la nave para que se alcance la temperatura de diseño a la hora a la que empieza a ser necesaria la calefacción pero, una vez alcanzada la temperatura y apagado el generador, tardará más tiempo en disiparse el calor generado. Las soluciones que se aportan se han tomado tratando de optimizar todas las variables del problema.

3.1 ¿Qué es el suelo radiante?

Este sistema de calefacción combina realmente dos mecanismos de transferencia de calor: conducción y radiación. El sistema consiste en la transferencia de calor por conducción desde una superficie caliente hasta la superficie inferior del suelo que realmente se ve. Por conducción también se transmite el calor a través de todo el volumen que forma el suelo. Lo que percibe el usuario es que la superficie del suelo está “caliente” y por radiación, se transmite el calor hasta las superficies que se encuentren a menor temperatura, entre otras, la del propio sujeto.

A nivel de suelo no se ve nada, pues toda la tecnología está empotrada debajo de él. A veces se le llama la “calefacción invisible”.

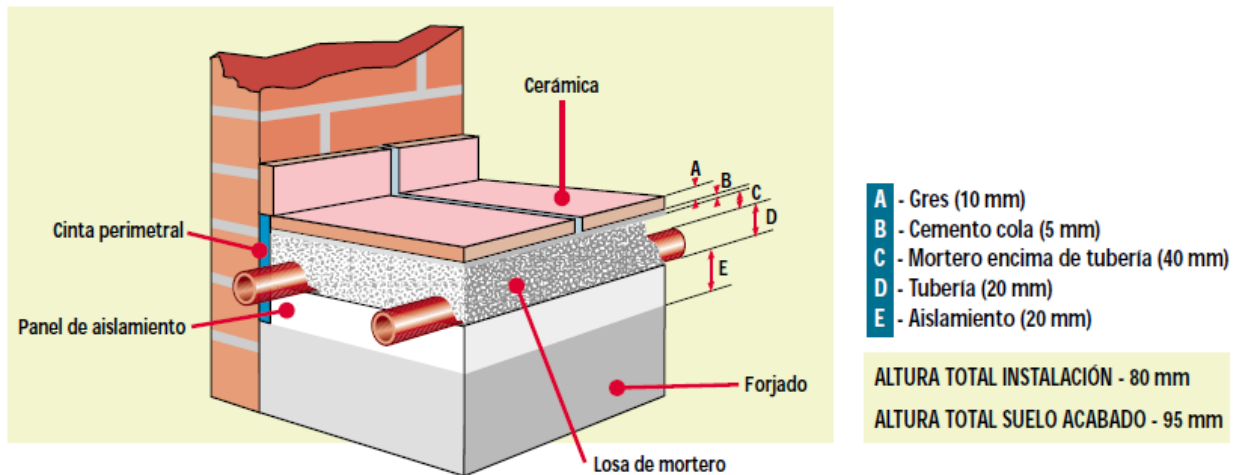


Ilustración 3-1: Sección de un suelo radiante

La generación de calor que se crea en la cara inferior de la losa de mortero se transforma en una conducción unidimensional hacia la cara superior y una vez que llega a la superficie el calor se disipa hacia el resto de superficies:

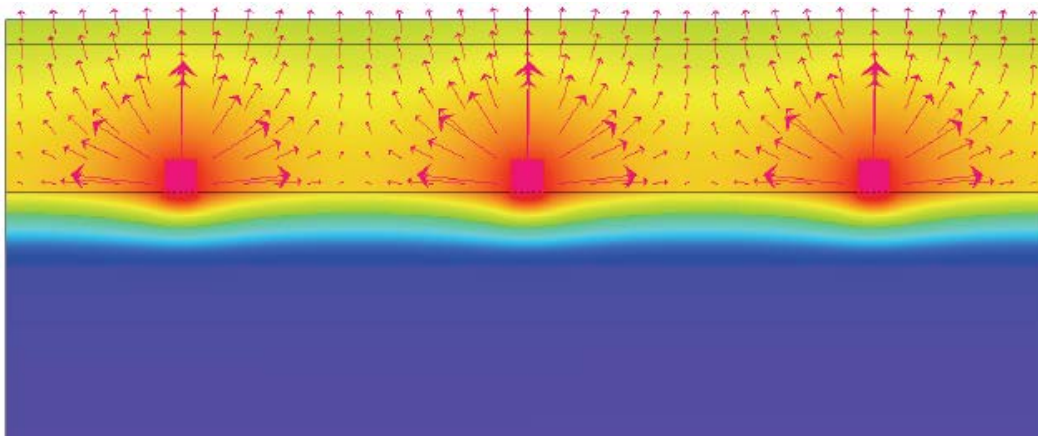


Ilustración 3-2: Conducción de calor unidimensional

3.2 Historia

El hipocausto era el sistema de calefacción del suelo, inventado o perfeccionado por el ingeniero romano Cayo Sergio Orata y utilizado sobre todo en las termas del Imperio romano. Los vestigios más antiguos se han hallado en Olimpia, fechados en el siglo I a.C.. En los siglos siguientes se perfeccionó el sistema con su utilización en el caldarium de las termas y también en las casas particulares más ricas.

En el exterior del edificio se construía un horno y los gases calientes producidos en la combustión se

llevaban por canalizaciones situadas bajo el suelo estaban en el centro de la casa, cuyas baldosas se sustentaban sobre pilas de ladrillos. La altura del espacio vacío por el que circulaba el aire era de unos 40 a 60 centímetros. Se calcula que la temperatura obtenida en las viviendas no pasaba de los 30 °C.



Ilustración 3-3: Recreación de un hipocausto



Ilustración 3-4: Ruinas de un hipocausto

En las termas, para obtener un calor más intenso, se integraban además en los muros tubos de barro cocido, que daban salida al humo del horno y al aire caliente que circulaba en el hipocausto. Dependiendo del grado de calor de éstas, se separaba el vapor del fuego.

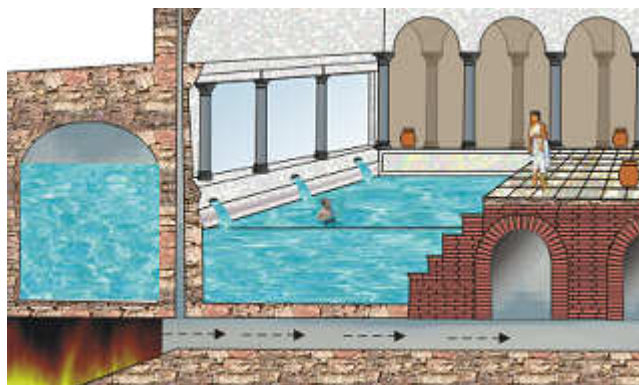


Ilustración 3-5: Recreación de una terma

La gloria es un sistema de calefacción, en el que la combustión se hace fuera del local a calentar, evitando el enfriamiento por el aire exterior y que además permite regular la potencia calorífica del fuego, tasando la entrada de aire. Utilizado sobre todo en Castilla desde la Edad Media, tiene como antecedente directo el hipocausto romano.

La gloria se construía bajo una estancia de la planta baja, elevando el solado de la misma apoyado en tabiques que permitían establecer los conductos calefactores. El hogar de la gloria se encontraba fuera de la habitación dando al zaguán o a un espacio de paso que podía estar en la propia vivienda o fuera, en el corral, donde se quemaba un combustible, la mayoría de las veces paja, y por los conductos se hacían pasar los humos calientes de la combustión, que luego salían al exterior por un humero vertical.

La efectividad de este sistema es mayor que la de la chimenea-hogar porque la combustión puede regularse tasando la entrada de aire en el hogar (lo que permite regular la potencia) y además el aire necesario para la combustión no enfría el local al no pasar por él. También permite, por su lenta combustión, el empleo de materiales combustibles sólidos en sustitución de la madera.

De la bondad del ingenio, da fe el propio nombre: gloria. El sistema proporcionaba un bienestar tal que se decía de la gente que lo disfrutaba que “estaba en la gloria”. Ahora se puede entender por qué este sistema se llamaba “las glorias”.

Aunque la gloria no solamente es más cómoda que el hogar tradicional, porque evita el ahumado del local que calienta y la excesiva ventilación, necesaria para evacuar los humos, y con un rendimiento más alto que los hogares con el fuego abierto, no es un sistema recomendable actualmente (en su versión tradicional) por los bajos rendimientos que se obtienen comparados con los sistemas modernos, incluso utilizando el mismo combustible. Quemando la misma cantidad de combustible en una caldera moderna y repartiendo el calor mediante agua por tuberías, se consiguen mayores rendimientos.

Se puede decir que hoy se están redescubriendo los beneficios del suelo radiante pues, lejos de ser una novedad, en España por ejemplo, se utilizaba un sistema rudimentario que consistía en hacer circular aire y gases calientes por unos conductos situados por debajo del pavimento. Estos gases emanaban de un hogar ubicado más abajo que el suelo. La paja era el combustible que se utilizaba generalmente.

Dos grandes factores han sido de suma importancia para que se desarrolle la calefacción por suelo radiante en toda Europa:

- La crisis del petróleo en los años 70 que obligó a buscar nuevas técnicas para un mayor ahorro energético (la calefacción es una de las actividades de mayor consumo energético).
- La tendencia de los arquitectos a diseñar unos grandes espacios despejados, acogedores y con muchos ventanales. La combinación perfecta para este tipo de construcción es, sin lugar a dudas, instalar un suelo radiante.

3.3 Ventajas del suelo radiante

Para las personas, existe una distribución ideal de la temperatura en un local. Se podría decir que el efecto “cabeza fría, pies calientes” es agradable normalmente.

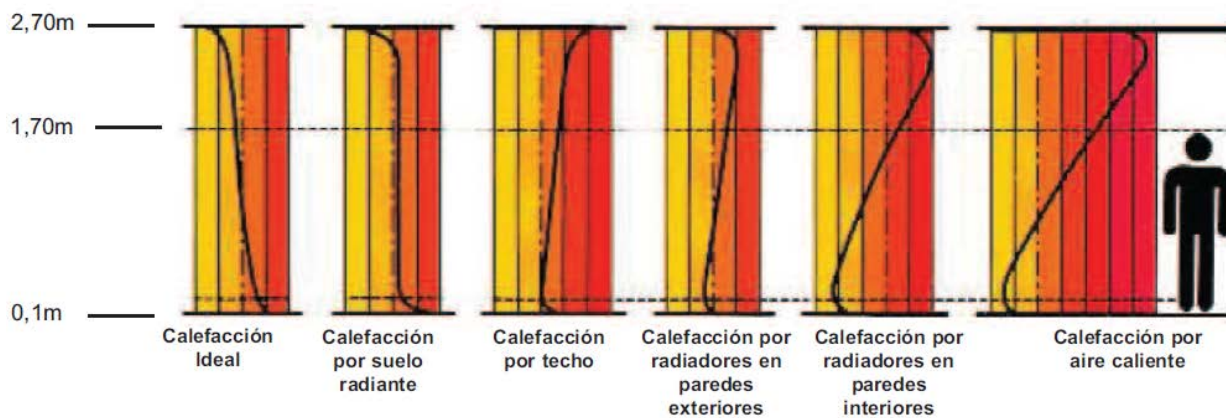


Ilustración 3-6: Distribución de temperaturas según sistema de calefacción

Si se interpretan las curvas, se observa que es conveniente conseguir una mayor temperatura en el suelo que en el techo, ya que el calor en los pies produce más bienestar mientras que un fuerte calor al nivel de la cabeza se traduce en malestar. De gráficos como este se aprecia que el de suelo radiante es el sistema que más

se acerca a la calefacción ideal. En los otros tipos de calefacción representados, la temperatura del suelo es inferior a la del techo, lo que provoca una acumulación del calor donde menos se necesita.

Dada la baja temperatura requerida, la instalación de suelo radiante se puede combinar con sistemas de paneles solares u otras energías alternativas.

Con la calefacción por suelo radiante se obtiene una temperatura uniforme en toda la superficie (unos 22 °C), desapareciendo así las zonas frías y calientes. Al ser menor la temperatura ambiente interior también son menores las pérdidas energéticas (pérdidas por cerramientos, por ventilación y por infiltración), ya que son proporcionales a la diferencia de temperaturas entre el exterior del local y el interior.

El suelo radiante mantiene el grado de humedad natural del ambiente.

Tras numerosos ensayos se ha demostrado que, para una persona, la sensación de calor depende tanto de la temperatura de las paredes como de la temperatura ambiente. Todo esto será considerado en el diseño de la instalación.

3.4 Tipos de suelos radiante

Actualmente existen dos tipos de suelo radiante si se atiende a la forma en que se genera el calor que se transmite a la losa de mortero.

3.4.1 Suelo radiante por agua

En este tipo de suelo radiante, la superficie caliente que transfiere su energía a la losa de hormigón está compuesta por tubos por los que circula agua caliente por su interior. Este agua caliente se consigue gracias a un generador de calor, que puede ser de cualquier tipo (combustión de combustible, energía solar, aerotermos...).

La normativa que regula este tipo de instalaciones es la UNE-EN 1264, la cual fija una temperatura máxima de impulsión del agua de 55 °C y una temperatura máxima en la superficie del suelo de 29 °C para viviendas, aunque en naves industriales se podrían alcanzar los 30 °C.

La aparición de las tuberías de polietileno reticulado ha revolucionado el mundo de la fontanería y de la calefacción en general, también el del suelo radiante.

Gracias a las tuberías plásticas, se ha reducido considerablemente el tiempo de montaje, optimizando a la vez la calidad y el rendimiento de la instalación. Hoy en día no es concebible una calefacción por suelo radiante sin las tuberías plásticas por sus grandes ventajas, tanto económicas como técnicas, respecto a las tuberías metálicas.

La altura total de un suelo radiante es variable dentro de unas tolerancias, pero bajo ningún concepto se instalará con una losa de mortero inferior a los 3 cm de espesor.

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

- Distribución en serpentín. La distribución del tubo empieza por un extremo del local y termina en el extremo opuesto avanzando en líneas paralelas equidistantes una de otra. Esta distribución es la más sencilla pero presenta un gran inconveniente: a pesar de tener una cantidad de tubo por metro cuadrado idéntica en cualquier punto del local, el reparto del calor no es igual ya que el agua se va enfriando a lo largo del circuito.



Ilustración 3-7: Distribución en serpentín

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



Ilustración 3-8: Distribución en doble serpentín

- Distribución en espiral. Como su nombre indica, se realiza en forma de espiral de forma cuadrada o rectangular empezando por un extremo y avanzando de fuera a dentro dejando huecos para volver al punto de partida al llegar al centro del local. Este sistema iguala perfectamente la temperatura del suelo ya que se alterna un tubo de ida con un tubo de retorno. Esta configuración es aconsejable en instalaciones cuya planta sea de forma geométrica sencilla; tiene como ventaja unas curvas menos pronunciadas, lo cual facilitaría la instalación.

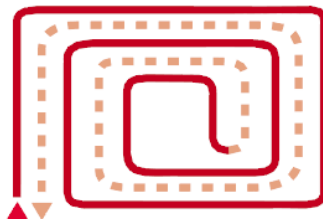


Ilustración 3-9: Distribución en espiral

Una instalación de suelo radiante por agua consta de los siguientes elementos, si se observa la instalación desde abajo hasta nivel de suelo:

- Panel aislante. Se colocan directamente sobre el forjado y sobre ellos se van colocando los circuitos de tubería. Tiene un espesor de unos 20 mm. La capa principal de poliestireno expandido es de alta densidad para poder así soportar el peso del mortero y del pavimento sin sufrir aplastamiento. Los paneles aislantes pueden quebrarse si se colocan sobre superficies irregulares, por ello el forjado donde se instalará irá correctamente nivelado. Justo por debajo de este panel se coloca un film de polietileno que tiene la función de evitar el ascenso de humedades por capilaridad.
- Aislamiento perimetral. Evita la generación de puentes térmicos. Permite la dilatación que sufrirá la losa de mortero por efecto del calentamiento. El material es poliestireno expandido en espuma o espuma de polietileno.
- Paneles moldeados. Son opcionales en la instalación, su función es la de ayudar al arrollado de los tubos; en caso de no utilizarse estos paneles habría que usar unas grapas especiales para fijar los tubos al panel aislante. El material de estos paneles es poliestireno expandido, con una densidad nominal de 20 kg/m^2 , lo que implica una resistencia máxima a compresión de 10 T/m^2 .
- Tuberías. La función de las tuberías es conducir el agua caliente generada por la fuente de calor

hacia los distintos circuitos, logrando transmitir el calor al pavimento. Las tuberías están fabricadas en un material plástico de alta tecnología denominado polietileno reticulado, que soporta con total garantía la circulación continua del agua caliente. Una capa de etilvinil-alcohol protege las tuberías de la difusión de oxígeno, lo que alarga la vida de la instalación, y le confiere alta resistencia a la erosión, y permite velocidades de circulación mayores. La red de tuberías termina en un sistema de colectores.

- Losa de mortero. Con esta losa se rellena la cavidad practicada para realizar la instalación hasta la cota que deseada, en este caso hasta la misma cota que el resto de la nave. Se añade un aditivo fluidificante y retardante a la mezcla de mortero, de manera que se requiere menor cantidad de agua para el amasado y se reduce la porosidad del mortero una vez fraguado, con lo que se optimizan las características del mortero haciéndolo más resistente a la compresión y más maleable. El retraso del fraguado evita que un fraguado excesivamente rápido genere fisuras, así el mortero envolverá perfectamente el tubo sin dejar celdillas de aire que dificultarían la transmisión de calor.
- Sistema de colectores. Los colectores distribuidores de suelo radiante se colocan en las correspondientes cajas o armarios, las cuales se empotran en pared. La localización debe ser lo más centrada posible dentro del área a calefactar, de este modo se minimizará la longitud de tubería desde el colector hasta el local a calefactar y se facilitará la instalación y el equilibrado hidráulico. Las cajas, dentro de las cuales se colocan los colectores, se empotrarán en un tabique o muro accesible. En este caso existen ciertas limitaciones que se solventarán más adelante.
- Fuente de calor. La moderada temperatura de impulsión de agua que necesita el sistema hace que éste sea compatible casi con cualquier fuente energética (electricidad, combustibles derivados del petróleo, energía solar, carbón, gas natural, etc.). En particular, es el único sistema de calefacción que puede ser alimentado energéticamente por paneles solares térmicos.

Este sistema cuenta además con unos equipos de regulación de la caída de presión para que la instalación tenga un buen funcionamiento y la distribución del fluido por los circuitos sea la correcta.

3.4.2 Suelo radiante eléctrico

Este tipo de suelo radiante ha aparecido recientemente en el mercado. Con él se busca reducir la gran inversión inicial que se tiene con el suelo por agua.

En este caso, la superficie caliente que transfiere su energía a la losa de hormigón será la de un elemento eléctrico, que pertenecerá a una de las tres familias de suelo radiante eléctrico que a día de hoy se comercializan y que se detallan a continuación:

- Cable calefactor. Se trata de un cable que se distribuye por el suelo, igual que se hace con las tuberías en el suelo por agua, por el que pasa una corriente eléctrica que por efecto Joule transmite calor a la losa de mortero.



Ilustración 3-10: Cable calefactor

- Malla calefactora. Se trata de una malla de fibra de vidrio que lleva alojados y fijados los cables calefactores para que su instalación sea más fácil. Equivale en el suelo radiante por agua a los paneles moldeados junto con las tuberías.

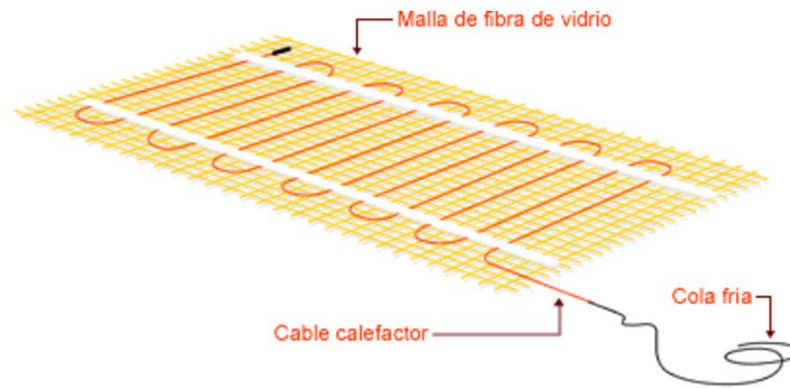


Ilustración 3-11: Malla calefactora

- Folio radiante. Consiste en una película flexible compuesta por dos hojas de poliéster, unidas por termo-sellado (doble aislamiento). Entre estas dos hojas, en los laterales, están incorporadas las cintas conductoras. Entre las cintas conductoras están colocadas transversalmente las tiras calefactoras (tiras de grafito homogeneizado). Estas tiras están separadas entre sí 1 cm.

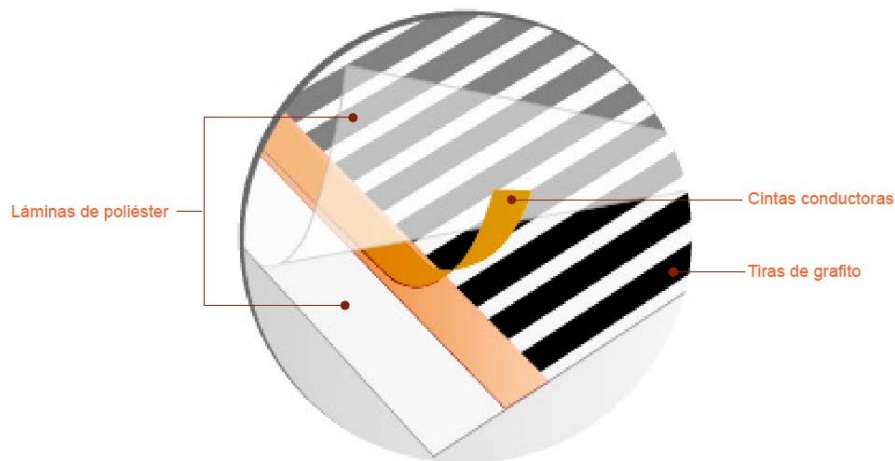


Ilustración 3-12: Folio radiante

Esta instalación tiene como ventaja un menor espesor total, debido a que trabaja a mayor temperatura por debajo de la losa, aunque es recomendable mejorar el aislamiento existente bajo el elemento calefactor.

Los elementos constitutivos de un suelo radiante eléctrico son:

- Aislamiento base. Se recomiendan 3 cm de espesor para mejorar el aislamiento de la instalación.
- Placa base. Placa de fibra de 0.8 cm resistente a las altas temperaturas de trabajo del cable. Tiene función aislante.
- Banda perimetral. Para aislar el perímetro de la instalación y asumir las dilataciones del suelo.
- Raíl de montaje. Para sujetar el cable al suelo y poder hacer la separación entre cables (mínima 8 cm) y garantizar que el cable queda bien estirado. Solo se usa en la instalación con cable calefactor.
- Elemento calefactor. Cable calefactor, malla calefactora o folio radiante.
- Losa de mortero. Mortero con aditivo como ocurría con el suelo por agua. Tiene un espesor de 4 cm.
- Sondos. Se instalan una serie de sondas bajo la superficie del suelo para controlar la temperatura.

4 ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA

En este capítulo se pretende demostrar con un fundamento teórico el alcance de la tecnología de suelo radiante, atendiendo a las condiciones en las que actualmente trabajan los inspectores de la estación de Baza y planteando hipotéticas situaciones que se darían si la instalación estuviera en funcionamiento, para ver el efecto que se consigue con este sistema de calefacción.

4.1 Mecanismos de transferencia de calor

El efecto de las puertas abiertas, sumado a las corrientes de aire que se pueden generar con las puertas enfrentadas, da como resultado una constante renovación del aire en el interior de la nave. Esto prácticamente supone descartar sistemas de calefacción por convección que basen su efecto en calentar el aire. Sí que podría ser objeto de estudio en aquellas estaciones en las que se garantice la ausencia permanente de estas corrientes de aire, aunque no sea éste el caso más común.

El mecanismo de conducción basa su efecto en la transferencia de calor entre dos sólidos en contacto. También puede considerarse descartado por el hecho de que si lo que se busca es que el inspector reciba el calor y éste está en constante movimiento por la línea de inspección, sólo se garantiza el contacto permanente con el suelo y siempre a través de un calzado de seguridad con una suela de un espesor considerable (del orden de 2 cm).

El mecanismo de radiación se da entre superficies vistas y a distinta temperatura, a través de un medio participativo como puede ser el aire; sin embargo el medio no absorbe la energía que va de una superficie a otra. En este sentido, puede pensarse que éste será el mecanismo más apropiado, pero la realidad es que una corriente de aire frío, si es fuerte, puede hacer disminuir la temperatura de una superficie, disminuyendo por tanto la cantidad de energía que es capaz de transmitir una superficie caliente a una fría.

4.2 Confort

La sensación térmica experimentada por un ser humano está relacionada, principalmente, con el equilibrio térmico global de su cuerpo. Este equilibrio depende de la actividad física y de la vestimenta del sujeto, así como de los parámetros ambientales: temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad y humedad del aire. A continuación se hablará de cada una de ellas. Con todas estas variables se puede plantear un balance sobre el ser humano en el interior del local.

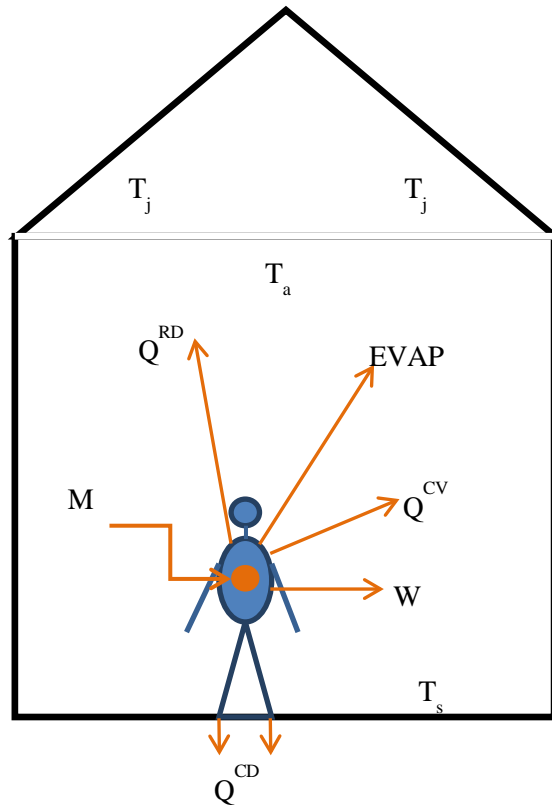


Ilustración 4-1: Balance de flujos de calor sobre una persona

$$DT = (M - W) = Q^{RD} + Q^{CV} + Q^{CD} + Q^{EVAP} \quad 4-1$$

$$DT = 0 \Rightarrow \text{CONFORT} \quad 4-2$$

$$Q^{RD} = \sum hr_{ij}k_{ij}(T_i - T_j) \quad 4-3$$

$$Q^{CV} = hA_p(T_i - T_a) \quad 4-4$$

$$Q^{CD} = k/e A_c(T_i - T_s) \quad 4-5$$

donde

- DT: desequilibrio térmico
- M: tasa metabólica del sujeto
- W: energía por desplazamiento
- Q^{RD} : calor cedido por radiación
- Q^{CV} : calor cedido por convección
- Q^{CD} : calor cedido por conducción
- Q^{EVAP} : calor cedido por evaporación
- hr_{ij} : coeficiente de radiación entre las superficies del individuo y cada una de las paredes
- k_{ij} : factor de geometría entre las superficies del sujeto y cada una de las superficies
- h: coeficiente de convección
- k: conductividad térmica del suelo

- e : espesor del suelo
- A_p : superficie de la piel
- A_c : superficie del calzado
- T_i : temperatura del sujeto
- T_a : temperatura del ambiente
- T_j : temperatura de la superficie j
- T_s : temperatura del suelo

Nótese que se ha simplificado la radiación porque se entiende que la diferencia de temperaturas entre el individuo y cada una de las paredes es inferior a 100 K. Aun se puede simplificar más si se introduce el término de temperatura radiante media.

La temperatura radiante media representa el calor emitido en forma de radiación por los elementos del entorno, generalmente en espacios interiores. Técnicamente se define como la temperatura radiante uniforme de un recinto negro ideal que produciría, en las personas, las mismas pérdidas o ganancias de calor que el recinto real. El término "media" indica el promedio de calor radiante emitido por todas y cada una de las superficies que conforman el recinto. Cuando este parámetro se calcula como parte de las condiciones ambientales generalmente se asume como referencia el punto central del recinto.

Esta temperatura depende de factores geométricos y factores físicos. Los factores geométricos son básicamente la manera en la que se "ven" las superficies entre ellas, esto se cuantifica con lo que se denominan factores de forma, en los que se tiene en cuenta la geometría, distancia y ángulos que forman todas las superficies del local. Entre los factores físicos se encuentran las propiedades de los materiales, entre ellas la emisividad.

El viento es un factor ponderante en la percepción de la temperatura, influye en lo que se llama sensación térmica, que no es más que un conjunto de condiciones subjetivas de confort, pues, aunque la temperatura sí es una medida exacta, la percepción que tienen de ella los seres humanos no lo es, dependerá de lo que cada individuo considere como bienestar.

Es frecuente que una corriente de aire a alta velocidad provoque malestar en las personas, ya se trate de aire a baja o alta temperatura. De igual modo, una corriente de aire casi imperceptible puede provocar que se atenúe la sensación de frío o que se aumente la de calor.

La tasa metabólica también influye en la sensación de confort, pues cuantifica en forma de energía la generación interna que tienen las personas debido a la realización de una actividad física. Una persona que se encuentre realizando un ejercicio físico tendrá una generación interna mayor que una que se encuentre en reposo.

La vestimenta utilizada es ciertamente el aislamiento térmico de las personas. Las capas de ropa forman una serie de resistencias térmicas para el flujo de calor. En invierno se suele usar más ropa por este motivo, se pretende evitar que el calor interno de las personas se disipe hacia el ambiente.

Aunque se ha comentado que el confort es subjetivo, es probable que varios sujetos coincidan en las sensaciones de bienestar o malestar. El estudio de esta probabilidad se ha reflejado en la Norma UNE-EN 7730:2006, donde se pretende establecer ciertas condiciones a tener en cuenta a la hora de diseñar o construir edificios de forma que el mayor número de personas que los ocupen encuentren bienestar.

El voto medio previsto (PMV) es un índice que refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto a una escala de sensación térmica de siete niveles, basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano. El equilibrio térmico se obtiene cuando la generación interna es igual a su pérdida hacia el ambiente. En un sistema moderado, el sistema termorregulador tratará de modificar automáticamente la temperatura de la piel y la secreción de sudor para mantener el equilibrio térmico. El valor de estos votos se recoge en la siguiente tabla:

+ 3	Muy caluroso
+ 2	Caluroso
+ 1	Ligeramente caluroso
0	Neutro
- 1	Ligeramente fresco
- 2	Fresco
- 3	Frío

Tabla 4-1: Percepción subjetiva del ambiente

El PMV predice el valor medio de los votos sobre la sensación térmica que emitiría un grupo numeroso de personas sometidas al mismo ambiente. No obstante, los votos individuales están dispersos alrededor del valor medio, siendo útil el poder estimar el número de personas que, probablemente sentirán incomodidad al calor o al frío.

El porcentaje de personas insatisfechas (PPD) es un índice que establece una predicción cuantitativa del porcentaje de personas que se sentirán insatisfechas por notas demasiado frío o demasiado calor. Típicamente se distribuye como se muestra a continuación:

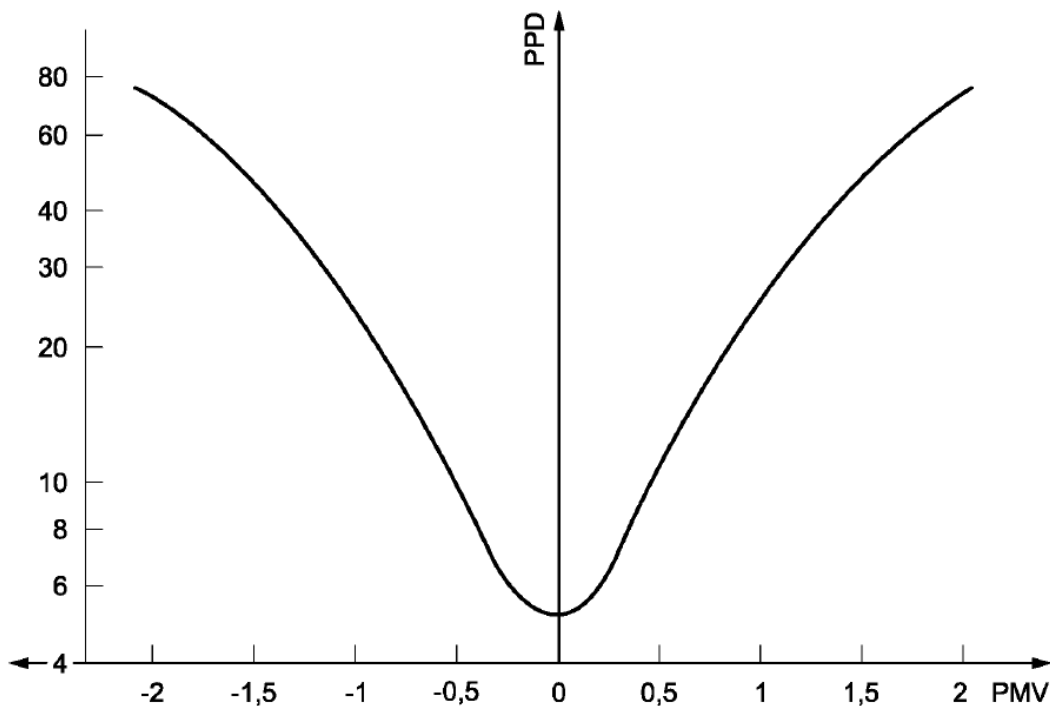


Ilustración 4-2: Diagrama PPD

El PMV también puede ser calculado para diferentes combinaciones de tasa metabólica, aislamiento de la ropa, temperatura del aire, temperatura radiante media y humedad del aire a partir de la siguiente ecuación.

$$PMV = [0.303 \exp(-0.036M + 0.028)]\{(M - W) - 3.05 \cdot 10^{-3}[5733 - 6.99(M - W) - p_a] - 0.42[(M - W) - 58.15] - 1.7 \cdot 10^{-5}M(5867 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \cdot 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl} - 273)^4 - (\bar{t}_r - 273)^4] - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)\} \quad 4-6$$

donde

- M es la tasa metabólica ($1 \text{ met} = 58.2 \text{ W/m}^2$)
- W es la potencia media efectiva (W/m^2)
- I_{cl} es el aislamiento de la ropa ($1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- t_a es la temperatura del aire
- \bar{t}_r es la temperatura radiante media
- v_{ar} es la velocidad del aire (m/s)
- p_a es la presión parcial del vapor de agua (Pa)
- h_c es el coeficiente de transmisión de calor por convección ($\text{W/m}^2\text{K}$)
- t_{cl} es la temperatura de la superficie de la ropa

El índice sólo debería ser usado para valores de PMV comprendido entre -2 y +2, estando los valores de los seis parámetros fundamentales comprendidos en los intervalos siguientes:

- M entre 0.8 y 4 met
- I_{cl} entre 0 y 2 clo
- t_a entre 10 y 30 °C
- \bar{t}_r entre 10 y 40 °C
- v_{ar} entre 0 y 1 m/s
- p_a entre 0 y 2700 Pa

Para el caso que se quiere resolver pueden establecerse ciertos datos de partida. El uniforme de invierno de los inspectores de VEIASA tiene un aislamiento térmico de 2.5 clo, esto es $0.39 \text{ m}^2\text{K/W}$. Puede considerarse un buen aislamiento pero, teniendo en cuenta que los inspectores no siempre se encuentran en movimiento realizando actividad física, por las condiciones de las corrientes de aire que se tienen en la nave realmente pasan frío.

La tasa metabólica puede caracterizarse como actividad ligera, según Norma, y está estimada en unos 1.5 met, que son 87 W/m^2 .

La temperatura del aire se tomará próxima a la temperatura media exterior. La temperatura radiante media, al encontrarse las puertas abiertas y existir una constante renovación del aire interior, no será mucho mayor que la del aire.

El viento y la humedad relativa habituales en invierno en Baza son 2 m/s y 70 % respectivamente, como se dijo en el apartado anterior.

La Universidad de Berkeley, en California, ha desarrollado una serie de herramientas que serán de utilidad para el cálculo de las condiciones de confort de este estudio. Concretamente se trata de una función de Excel en el que, introduciendo el valor de los parámetros temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa, nivel de ropa y tasa metabólica, devuelve los valores de PMV y PPD.

Según esta herramienta, una hipotética situación que tuviera los parámetros especificados anteriormente tendría unos valores de voto medio previsto y porcentaje de personas insatisfechas de -0.72 y 16.0 respectivamente, lo que colocaría al ambiente, según esta fuente, en una zona próxima a la "ligeramente

fresca”:

Temperatura del aire	Temperatura Radiante Media	Velocidad del aire	Humedad relativa	Nivel de ropa	Tasa Metabólica	PMV	PPD
[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]		[%]
4	8.3	2	70	2.5	1.5	- 0.72	16.0
4	9	2	70	2.5	1.5	- 0.71	15.6
4	10	2	70	2.5	1.5	- 0.69	15.2
4	11	2	70	2.5	1.5	- 0.68	14.7
4	12	2	70	2.5	1.5	- 0.66	14.3
4	13	2	70	2.5	1.5	- 0.64	13.7

Tabla 4-2: Valores PMV y PPD en función de parámetros

No es cierto que las condiciones de trabajo en la Estación sean “ligeramente frescas”. Se asume que existe un error al encontrarse los parámetros del problema fuera del rango de validez, pero la herramienta ayuda a comprender mejor el efecto de las temperaturas y el viento. Es fácil pensar que, si para un rango de validez de temperaturas y viento aceptables, la situación es “ligeramente fresca”, con unos parámetros algo más extremos como son los de Baza, la sensación de frío estaría calificada como una situación mucho más desfavorable. Si se pidiera a los inspectores que actualmente trabajan en la Estación de Baza que expresaran su voto en las condiciones de invierno, seguramente el PMV se encontraría por debajo de -1 y el PPD sería mucho mayor que el 14.3 %.

Quede de manifiesto que el nivel de ropa no es insuficiente, que consta además de varias prendas. La tasa metabólica de 1.5 met es una buena aproximación. Ni la humedad relativa, ni el nivel de ropa, ni la tasa metabólica pueden variar en un estudio paramétrico que se realice.

La temperatura del aire depende estrechamente de la velocidad del viento. La primera no podrá modificar su valor si la segunda se mantiene en el entorno de los 2 m/s, que es una corriente considerable.

El único grado de libertad que queda en el problema es la temperatura radiante media. En la tabla 4.2 se observa que un aumento de esta temperatura tiende a aumentar el PMV y a disminuir el PPD si el resto de parámetros permanece constante, y en ello se profundizará.

Con este estudio de viabilidad técnica, se verá hasta dónde es capaz de llegar la tecnología de suelo radiante en la estación para combatir las condiciones climáticas.

4.3 Renovación del ambiente

El efecto de ganancia o pérdida por conducción que pueda tener la nave está muy por debajo del efecto que tiene sobre la nave las pérdidas por ventilación e infiltraciones de aire no controladas. Las puertas están abiertas durante las 12 horas de apertura del recinto para las inspecciones a los vehículos pero la corriente de aire que entra por ellas cada día es variable. Es común que en invierno, en los días de más frío, sea elevada.

Por cuantificarlo de alguna manera, en un día con una velocidad del viento promedio, unos 2 m/s, y teniendo en cuenta que la corriente solo entraría por una de las fachadas, la oeste por ser ésta la dirección predominante, se tendría lo siguiente:

$$\dot{V}_{AIRE} = 3 \times A_{puerta} \times v_{viento} = 3 \times 16 \times 2 = 96 \text{ m}^3/\text{s} \quad 4-7$$

$$renv = \frac{\dot{V}_{AIRE}}{V_{NAVE}} = \frac{96 \text{ m}^3/\text{s}}{42 \times 22 \times 7 \text{ m}^3} = 0.015 \text{ s}^{-1} = 53.5 \text{ h}^{-1} \quad 4-8$$

Estos resultados constatan la dificultad para aumentar la temperatura de la nave si se renueva el aire

53.5 veces a la hora y si el aire de renovación se encuentra alrededor de los 4 °C. Una frecuencia tan alta de renovación elimina cualquier situación de régimen permanente que se quisiera conseguir con un sistema de calefacción basado en el calentamiento del aire del interior de la nave.

4.4 Pérdidas por infiltración

El siguiente modelo representa el suelo radiante instalado en un pasillo contiguo a una línea de inspección.

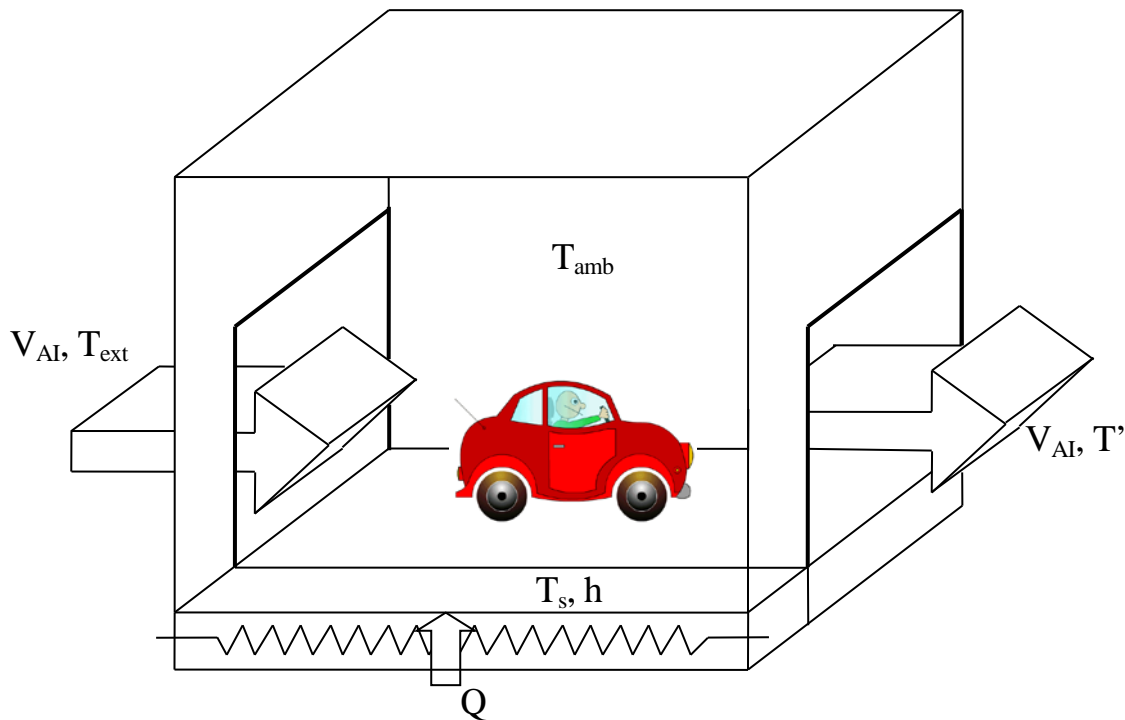


Ilustración 4-3: Línea de inspección, suelo radiante y aire de infiltración

El hecho de que el suelo se encuentre a una temperatura mayor que la del ambiente crea una convección que se puede cuantificar de manera aproximada como:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_{amb}) = 4.2 \text{ kW} \quad 4-9$$

$$h \sim 5 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (convección libre)}$$

$$A \sim 42 \times 1 = 42 \text{ m}^2$$

$$T_s \sim 30^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} \sim 10^\circ\text{C}$$

El calor generado por el suelo es todo calor sensible, pues no interfiere en la humedad del ambiente. El calor tendría componente latente si afectara a la humedad del ambiente.

Por otro lado se tiene que el calor sensible en el balance local debido a las infiltraciones de aire es:

$$Q_s \left(\frac{f}{h} \right) = 0.288 \times V_{Ai} \left(\frac{\text{m}^3}{h} \right) \times \Delta T (^\circ\text{C}) \quad 4-10$$

$$V_{AI} = 2 \frac{m}{s} \times 16 m^2 = 115200 \frac{m^3}{h} \quad 4-11$$

Igualando el calor obtenido por el suelo radiante al calor sensible del aire de infiltración se puede calcular el aumento de la temperatura ambiente que se consigue con este sistema de calefacción:

$$Q = Q_s \xrightarrow{4.10} \Delta T \sim 0.08 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Con lo que se concluye que el efecto convectivo es prácticamente nulo.

4.5 Modelos para el cálculo de T_{rm}

A continuación se va a cuantificar el efecto conseguido por la calefacción en el mecanismo de radiación.

En este modelo se va a calcular el flujo de calor sobre un individuo situado sobre uno de los pasillos que alojaría el suelo radiante. Se asume que todas las superficies son grises y difusas y que todos los elementos constructivos son cuerpos negros, esto es, que se consideran absorbedores perfectos y emisores perfectos ($\varepsilon = 1$). El ser humano tiene una emisividad de 0.9, por lo que recibe radiación pero también la emite.

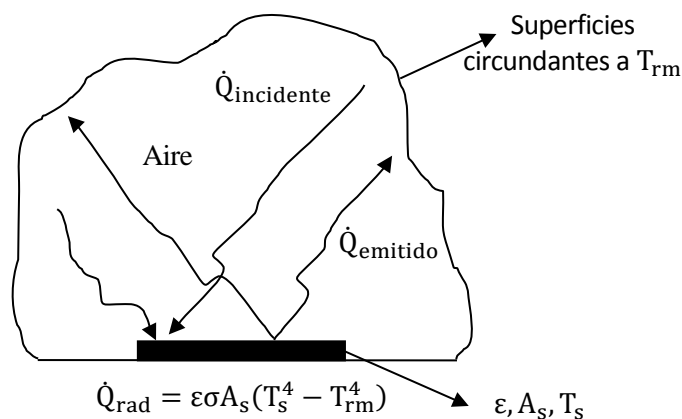
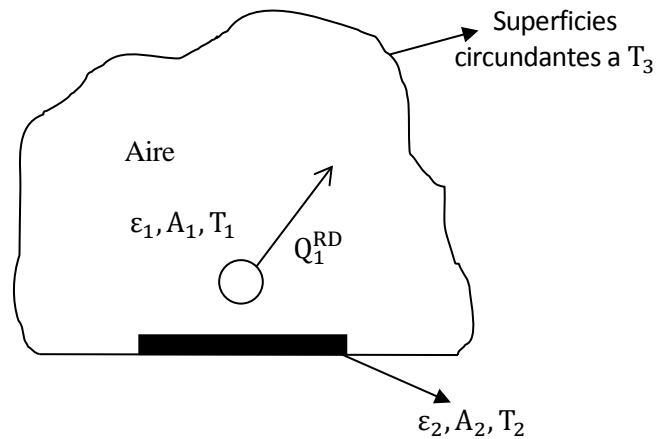


Ilustración 4-4: Descomposición de la radiación

Si se considera que la temperatura de cada pared es constante y uniforme, se puede eliminar la tercera dimensión en el problema, pues cada sección será idéntica a la siguiente, en lo que a radiación se refiere. Esto es válido para toda la longitud del pasillo salvo en las proximidades de las puertas.

La temperatura del trabajador se considera de unos $25 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Ilustración 4-5: Modelo para el cálculo de Q_1^{RD}

En el problema de transmisión de calor que se plantea es trivial el cálculo del factor de forma 1-2, que es el único que se necesita para su resolución.

Para el cálculo se hará uso de las ecuaciones de la emitancia y de la radiosidad:

$$Q_1^{RD} = \frac{M_1^0 - J_1}{\frac{1 - \varepsilon_1}{A_1 \varepsilon_1}} \quad 4-12$$

$$M_1^0 = \sigma T_1^4 \quad 4-13$$

$$J_1 = \varepsilon_1 \sigma T_1^4 + (1 - \varepsilon_1)[F_{11}J_1 + F_{12}J_2 + F_{13}J_3] \quad 4-14$$

$$J_2 = \varepsilon_2 \sigma T_2^4 \quad 4-15$$

$$J_3 = \varepsilon_3 \sigma T_3^4 \quad 4-16$$

Para la obtención de la temperatura de la superficie 3 se ha establecido una media ponderada de las temperaturas de todas las paredes que la componen, a saber:

- Resto del suelo sin calefacción de suelo radiante: 6.5 °C
- Cubierta: 10 °C
- Fachada Sur: 6 °C
- Fachada Norte: 10 °C
- Dos pasillos más de suelo radiante: 30 °C

De la resolución de estas ecuaciones se tiene que el flujo de calor es saliente (42.46 W), esto es que el individuo absorbe energía de las superficies que tienen una temperatura superior a la suya y que la cede a las de inferior, siendo mayor la cesión que la absorción.

Se plantea un siguiente modelo en el que sólo existen el individuo y una superficie equivalente, a una temperatura equivalente. Esta temperatura equivalente es la temperatura radiante media que se conseguiría con la instalación de tres pasillos de suelo radiante. Para calcularla habrá que imponer que el flujo de calor del individuo es el mismo que en el modelo anterior.

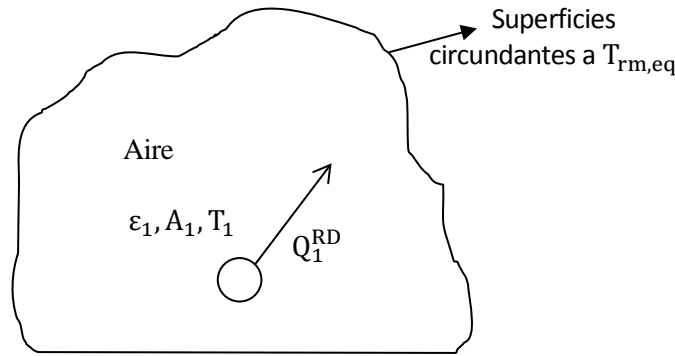


Ilustración 4-6: Modelo para el cálculo de $T_{rm,eq}$

Las ecuaciones para este nuevo modelo son las mismas que para el anterior. Ahora se tienen dos superficies y el factor de forma 1-2 es la unidad. En esta ocasión el flujo de calor es dato y la incógnita es la temperatura de la superficie equivalente.

$$Q_1^{RD} = \frac{M_1^0 - J_1}{\frac{1 - \epsilon_1}{A_1 \epsilon_1}} \tag{4-17}$$

$$M_1^0 = \sigma T_1^4 \tag{4-18}$$

$$J_1 = \epsilon_1 \sigma T_1^4 + (1 - \epsilon_1)[F_{11}J_1 + F_{12}J_2] \tag{4-19}$$

$$J_2 = \epsilon_2 \sigma T_{eq}^4 \tag{4-20}$$

La temperatura equivalente conseguida es de 11.21 °C, aproximadamente unos tres grados mayor a la temperatura radiante media que se da en la situación sin calefacción.

Con este nuevo valor de la temperatura radiante media se pueden obtener los nuevos valores del voto medio previsto y del porcentaje de personas insatisfechas.

Temperatura del aire	Temperatura Radiante Media	Velocidad del aire	Humedad relativa	Nivel de ropa	Tasa Metabólica	PMV	PPD
[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]		[%]
4	8.3	2	70	2.5	1.5	- 0.72	16.0
4	11.21	2	70	2.5	1.5	- 0.67	14.6

Tabla 4-3: Valores PMV y PPD posibles con las especificaciones del problema

Como conclusión se puede decir que, con este sistema de calefacción, el flujo de calor siempre es saliente del individuo, éste pierde energía hacia el ambiente. Lo que se consigue con la calefacción por suelo radiante es que el trabajador obtenga un aporte de energía para que su situación no sea tan desfavorable con el entorno. El estudio se ha hecho para una situación en la que el trabajador mantuviera el mismo uniforme como aislamiento térmico, por lo que no podría desprenderse de él ni reducir su resistencia térmica.

A la vista de los resultados, en los que se observa una leve mejoría de la situación inicial, así que se va proceder en los capítulos siguientes al diseño de una instalación de calefacción por los dos sistemas, por agua y eléctrico, a fin de estudiar su viabilidad económica.

El suelo radiante tiene una temperatura superficial máxima permitida por la Norma de 30 °C en naves industriales. Con la instalación del sistema de calefacción únicamente en los recorridos de evacuación, nunca se consigue un flujo de calor que sea una ganancia neta hacia el trabajador si la temperatura superficial fuera de 30 °C. Para que se consiguiera un aumento de la temperatura corporal por el hecho de situarse sobre un pasillo de suelo radiante de 80 cm de anchura, el flujo de calor por radiación de éste con el resto de superficies

tendría que pasar a ser negativo (convertirse en absorción). Para que se diera este caso, la temperatura superficial tendría que ser mayor que 109.5 °C:

$$Q_1^{RD} < 0 \Rightarrow T_2 > 109.5 \text{ °C}$$

Sería interesante abordar un estudio paramétrico, aprovechando las ecuaciones y los modelos que se han utilizado, para ver la variación que tendría la temperatura media radiante en función de la anchura de los pasillos que alojarían el suelo radiante.

En el siguiente gráfico se observa el valor que iría adquiriendo la temperatura radiante media equivalente (eje OY) si la anchura de los pasillos fuera en aumento (eje OX). La gráfica acaba en $W = 7$ m porque se siguen considerando tres pasillos y la anchura de la nave son 22 metros. Véase el gran margen de mejora, lo que se traduciría en una situación mucho más agradable.

$T_{rm,eq}$ [°C]

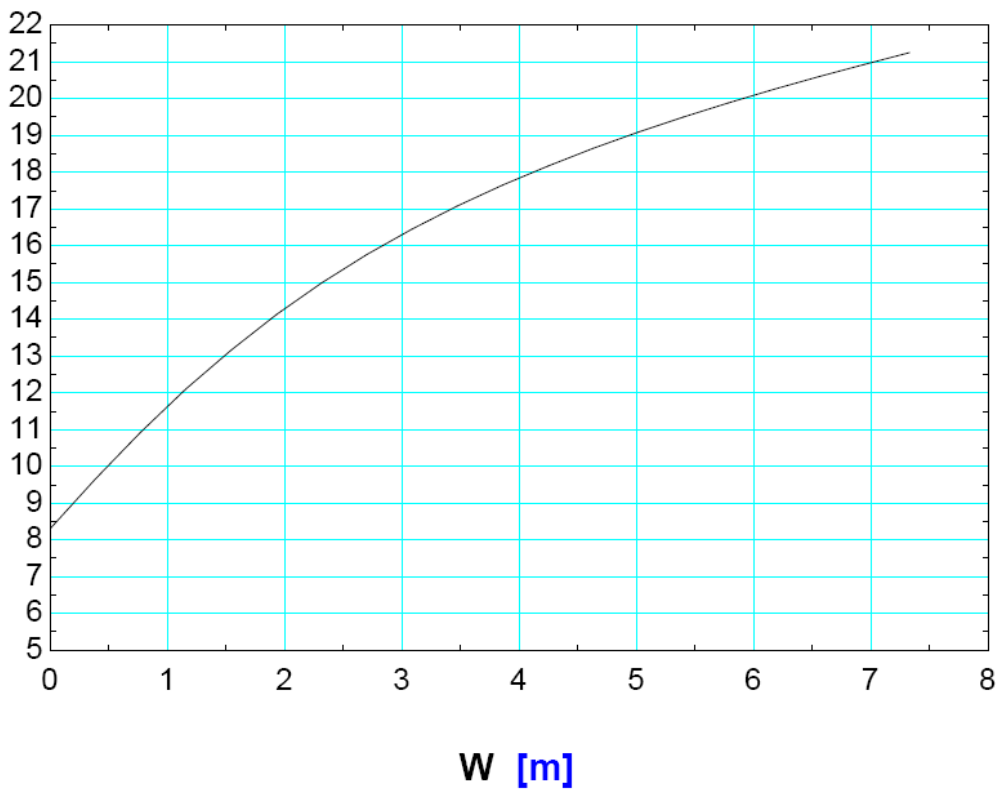


Ilustración 4-7: Gráfico del estudio paramétrico

5 SOLUCIÓN CON SUELO RADIANTE POR AGUA

Un suelo radiante por agua lleva asociadas las instalaciones del fluido caloportador y la de la propia fuente de calor. En este capítulo se detallarán todos los aspectos de una instalación de estas características.

5.1 Características de la instalación

La fuente de calor que se elija transmite el calor al agua por medio de un intercambiador de calor. No se necesita un depósito de acumulación de agua (depósito de inercia) puesto que éste está recomendado para instalaciones con una superficie mayor a 200 m², y la que se va a plantear ronda los 100. El agua llega al sistema de colectores y desde allí se distribuye para cada circuito según sus caídas de presión.

Al trabajar con un fluido en movimiento a través de unos conductos, se tendrán unas pérdidas de carga que habrá que considerar a la hora de la instalación de una bomba de recirculación en el circuito de colectores. Cada circuito tendrá una pérdida de carga distinta pues distinta será su longitud.

El mantenimiento de los tubos ha de ser mínimo ya que no estarán accesibles en la instalación, únicamente en los colectores y en las cercanías de la fuente de calor, donde se revisarán los parámetros del agua y se llevarán a cabo tareas de mantenimiento como el purgado del aire de la instalación o la renovación del fluido llegado el momento. Las tuberías metálicas que se utilizaban previamente al desarrollo de las tuberías de polietileno reticulado vertían al agua residuos en forma de óxido o cascarilla. Las tuberías plásticas han eliminado este tipo de residuos y sólo transportan las impurezas que pudiera contener el agua de abastecimiento.

Normalmente instalaciones de este tipo se realizan una vez colocada la base del edificio, por lo que, además de los requisitos típicos del sistema de calefacción se tienen los particulares para el caso de la estación donde se estudia su implantación. El primero es que no se pretende calefactar más allá de la zona ocupada por personas, lo que excluye las propias líneas de inspección y las zonas más alejadas de éstas. Las líneas quedan excluidas por simplicidad, ya que están llenas de maquinarias y bancadas que causarían gran número de obstáculos a la hora de instalar los tubos, además de que ciertos equipos pueden ser incompatibles con la temperatura de servicio del suelo radiante. Es posible que, en la construcción de nuevas estaciones, se considerara una distribución del suelo radiante por toda la planta en caso de ser el sistema de calefacción elegido.

Para evitar atravesar las líneas de inspección y que la obra cause mayores desperfectos en la solería de la nave, el colector de impulsión se colocará en la fachada norte, por el lado de la nave, y cerca de la puerta de entrada a la línea de vehículos ligeros, la puerta de la fachada este. Los tubos llegarán desde el colector hasta sus circuitos correspondientes por medio de una zanja que se practicará desde el colector hasta el recorrido de evacuación de la línea de motos. El colector de retorno estará también en la fachada norte pero en el lado de las puertas de salida, en la fachada oeste. Hasta aquí llegarán los tubos por una zanja paralela a la anterior pero en este lado de la nave. Desde la caldera hasta los colectores las tuberías podrían ser aéreas.

Toda la distribución de conductos y equipos quedará esquematizada en los planos que se anexarán al estudio.

5.1.1 Variables de optimización

Para el problema del diseño existen numerosas variables que influyen en mayor o menor medida sobre el diseño. Existen variables dependientes unas de otras y también variables independientes que tomarán un valor que no se podrá modificar. Es evidente que la temperatura del ambiente exterior no se puede modificar, pero sí que puede modificarse, por ejemplo, la temperatura de impulsión del agua.

Existen variables que están consideradas de optimización, pues, que tomen un valor u otro, afectará a otras variables y al resultado del estudio.

Sobre el tiempo que tarda en alcanzar la temperatura de servicio la superficie de la losa (29 °C), afectan la temperatura de impulsión del agua, que tiene un límite máximo de 55 °C y mínimo de 35 °C, y el espesor de la losa que recubrirá los tubos, cuyos límites mínimo y máximo son 4 y 17 cm respectivamente.

Sobre el tiempo de funcionamiento de la caldera, que implica coste de funcionamiento, influyen el espesor de la losa y la longitud de los circuitos, limitada en 120 metros.

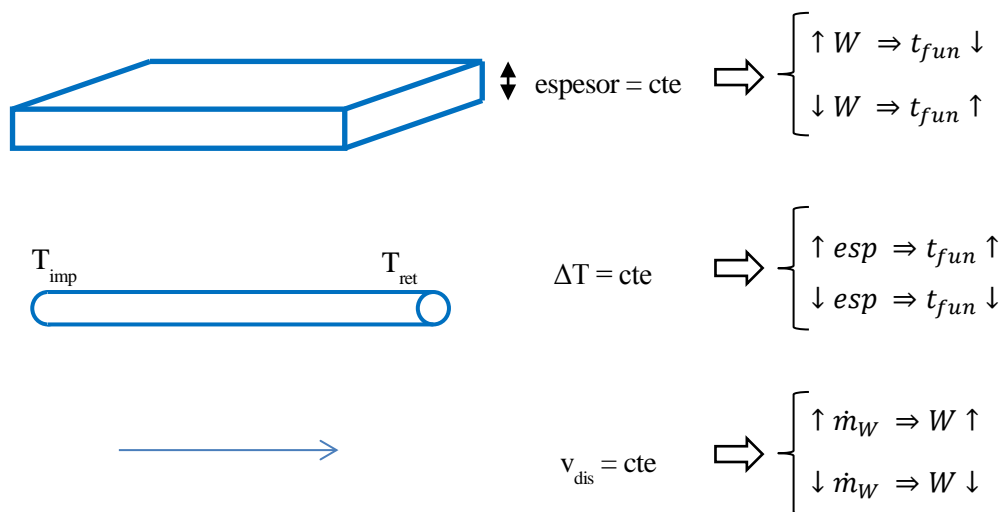


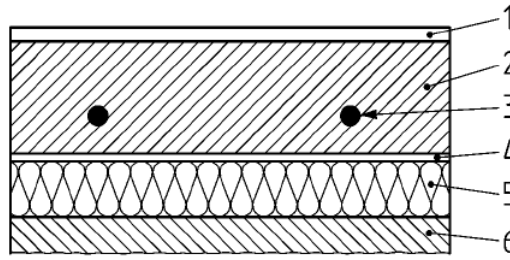
Ilustración 5-1: Variables de optimización

Como se vio anteriormente, el espesor de la losa tiene una estrecha relación con la inercia térmica del sistema. A medida que el espesor aumenta, se tiene un mayor volumen de material a una temperatura inferior a la de servicio, por lo que se tardará más en alcanzar la temperatura óptima. Una vez que se alcance también tardará más en enfriarse, lo que es beneficioso desde el punto de vista del ahorro energético, pues los períodos de funcionamiento de la caldera estarán más distanciados.

5.2 Diseño

En todo lo referente al diseño de la instalación se ha consultado la Norma UNE-EN 1264 para “Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies”, la cual consta de cinco tomos, a los que se ha tenido acceso como alumno de la Universidad de Sevilla.

En esta Norma, concretamente en su tomo segundo (9-11), se dan orientaciones para la determinación de la emisión térmica de los suelos radiantes y se establecen unos límites en función de los parámetros de diseño según la instalación sea de un tipo u otro. La que se corresponde con este problema es una instalación de tipo A: sistemas con tubos dentro del pavimento.



- 1 Recubrimiento del suelo
- 2 Capa de carga de peso y de difusión térmica (pavimento)
- 3 Tubo de calefacción/refrigeración
- 4 Capa protectora
- 5 Capa aislante
- 6 Base estructural

Ilustración 5-2: Instalación de tipo A

La densidad de flujo de calor viene dada por la siguiente ecuación:

$$q \left[\frac{W}{m^2} \right] = B \times a_B \times a_T^{m_T} \times a_u^{m_u} \times a_D^{m_D} \times \Delta T_{F-L} = K_H \times \Delta T_{F-L} \quad 5-1$$

donde K_H es el coeficiente de transmisión térmica equivalente, el cual depende de una serie de parámetros que tomarán unos valores u otros en función del paso de tubos, y ΔT_{F-L} es la diferencia de temperatura entre el fluido de calefacción y la sala, y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\Delta T_{F-L} = \frac{T_{imp} - T_{ret}}{\ln \left[\frac{T_{imp} - T_{amb}}{T_{ret} - T_{amb}} \right]} = 46.46 \text{ } ^\circ\text{C} \quad 5-2$$

donde

- T_{imp} es la temperatura de impulsión, registrada en el su colector, y es de 55 °C.
- T_{ret} es la temperatura de retorno y es de 50 °C.
- T_{amb} es la temperatura ambiente del interior de la nave y es de 4 °C.

Para el cálculo del paso de tubos es necesario conocer el número de ellos que habrá por pasillo, que vienen limitados por la zona más estrecha que haya en los recorridos de evacuación. Esta distancia mínima se da en la línea 1, entre la bancada de la báscula para camiones y una arqueta de registro, y es de 22.5 cm. Para calcular el número de tubos se utiliza la siguiente expresión:

$$\frac{\text{distancia}_{disponible} - 2 \times \text{espesor}_{bp} - D_{tubo}}{D_{tubo} + T_{min}} = n_{teórico} - 1 \quad 5-3$$

donde

- $\text{distancia}_{disponible}$ son los 22.5 cm de la mínima distancia,
- espesor_{bp} es el espesor de la banda perimetral que suele ser de unos 2.5 cm,
- D_{tubo} es el diámetro exterior de las tuberías de polietileno, que normalmente es de 2 cm para los circuitos de suelo radiante,
- T_{min} es el paso de tubos en esta zona más estrecha, que se considerará de 1 cm,
- $n_{teórico}$ es el número teórico de tubos por pasillo.

A continuación se muestra la ubicación exacta de las distancias mínimas para los tubos en cada línea.

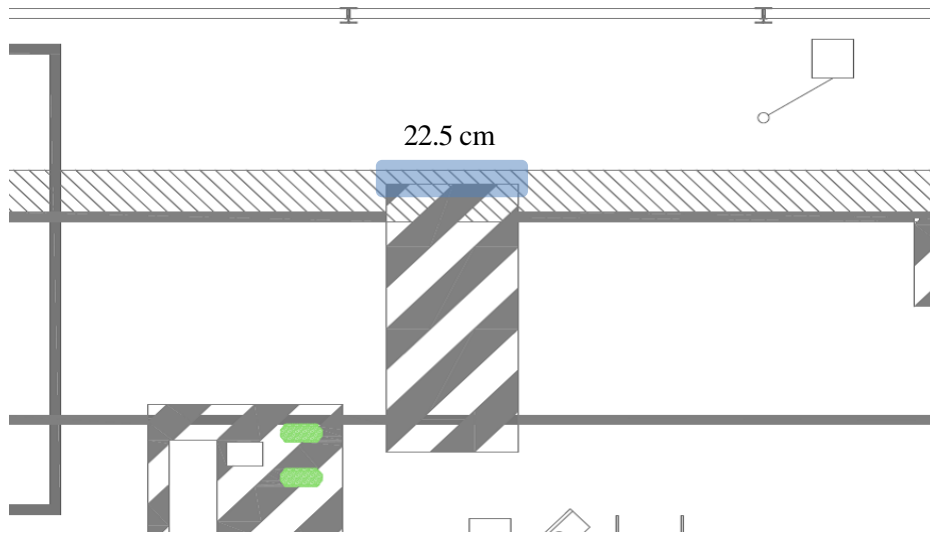


Ilustración 5-3: Distancia mínima en la línea de motos

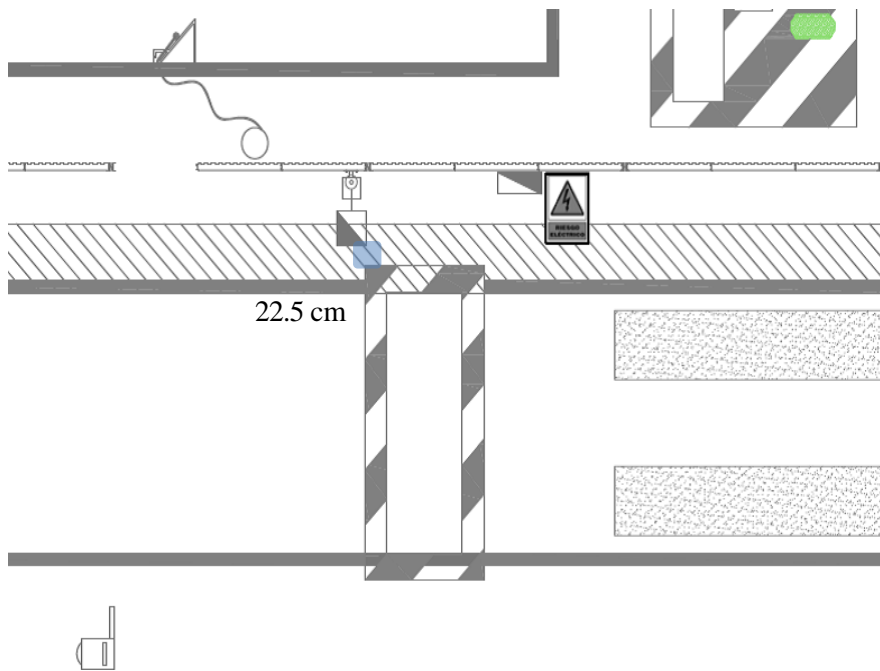


Ilustración 5-4: Distancia mínima en la línea 1

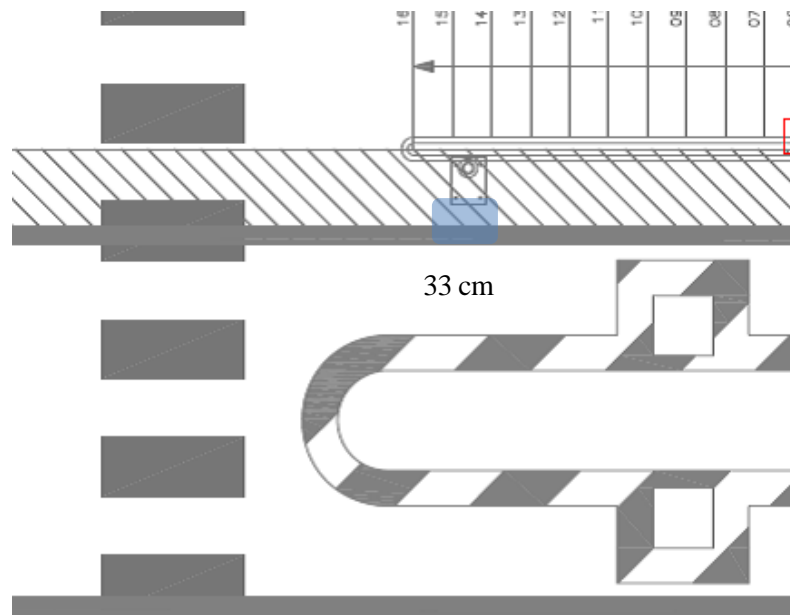


Ilustración 5-5: Distancia mínima en la línea 2

Resolviendo la ecuación 5.3 se tiene que $n_{teórico}$ es 6.16, que redondeando son 6 tubos por pasillo. Si se vuelve a resolver la ecuación 5.3 se obtiene el paso de tubos real en esta zona estrecha, que ahora es de 1.1 cm.

$$n_{teórico} = 6.16 \Rightarrow n_{tubos} = 6 \xrightarrow{(5.3)} T_{min} = 1.1 \text{ cm}$$

Para obtener el paso real de tubos en todo el pasillo, donde lo normal es que no haya obstáculos, se resuelve nuevamente la ecuación 5.3, siendo ahora la distancia disponible los 80 cm que tiene el recorrido de evacuación:

$$espacio_{disponible} = 80 \text{ cm} ; n_{tubos} = 6 \xrightarrow{(5.3)} T = 12.6 \text{ cm}$$

Ahora que se tiene el paso de tubos se puede obtener el valor de los parámetros para calcular la transmisión térmica equivalente y, por consiguiente, la emisión térmica del suelo radiante:

- B: coeficiente característico del sistema. $B = B_0 = 6.7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- a_B : factor de revestimiento del suelo. $a_B = \frac{\frac{1+s_{u,0}}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1+s_{u,0}}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}} = 0.8763$
- $\alpha = 10.8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $\lambda_{u,0} = 1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
- $s_{u,0} = 0.045 \text{ m}$
- $R_{\lambda,B}$: resistencia térmica del revestimiento del suelo. $R_{\lambda,B} = 0.03681 \text{ m}^2\text{K/W}$
- λ_E : conductividad térmica de la placa. $\lambda_E = 1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
- a_T : factor de paso de acuerdo a la tabla A.1 de la Norma UNE-EN 1264-2. $a_T = 1.148$
- a_u : factor de recubrimiento de acuerdo a la tabla A.2 de la Norma UNE-EN 1264-2. $a_u = 1.051$

- a_D : factor del diámetro exterior del tubo de acuerdo a la tabla A.3 de la Norma UNE – EN 1264-2. $a_D = 1.031$
- $m_T = 1 - \frac{T}{0.075} = -0.68$
- $m_u = 100(0.045 - s_u) = -1.5$
- $m_D = 250(D - 0.020) = 0$

Con todos estos valores se tiene

$$K_H = 4.962 \text{ W/m}^2\text{K} \xrightarrow{5.1} q = 230.5 \text{ W/m}^2$$

Este valor de la emisión térmica es orientativo, aunque la Norma también establece un límite para la densidad del flujo térmico y se puede calcular de la siguiente manera:

$$q_G = \varphi \times B_G \times \left[\frac{\Delta T_{F-L,G}}{\varphi} \right]^{n_G} \quad 5-4$$

Para determinar en valor de la emisión térmica de diseño se suele usar la siguiente expresión, que puede verse en la Norma UNE-EN 1264-3:

$$q_{dis} = \frac{Q_{N,f}}{A_F} \quad 5-5$$

donde $Q_{N,f}$ es la carga térmica nominal y A_F es la superficie de calefacción, Normalmente $Q_{N,f}$ se calcula de acuerdo con la Norma UNE-EN 12831 para “Sistemas de calefacción en edificios”. Dado que en esta ocasión no se quiere combatir mediante la calefacción por suelo radiante la totalidad de las pérdidas térmicas de la nave, sino que se busca mejorar las condiciones existentes, no se utilizará ese procedimiento para el cálculo de la carga térmica. Se tomará como valor de diseño para la generación del suelo radiante la cantidad obtenida anteriormente por la ecuación 5.1: 230.5 W/m^2 .

El caudal másico de diseño se calcula directamente de:

$$\dot{m}_H = \frac{A_F \times q_{dis}}{\sigma \times c_W} = 0.3706 \text{ kg/s} \quad 5-6$$

con

- $A_F = 42 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} = 33.6 \text{ m}^2$
- $\sigma = 5 \text{ K}$ (impuesto por Norma)
- $c_W = 4190 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ (calor específico del agua)

Como se tienen 6 tubos por pasillo, el caudal másico se reduce a la sexta parte:

$$\dot{m}_{dis} = \frac{\dot{m}_H}{6} = 0.06176 \text{ kg/s} \quad 5-7$$

El uso de tuberías de polietileno reticulado de 20 mm de diámetro y 2 mm de espesor para la distribución de los circuitos de suelo radiante es común en todos los fabricantes. A partir de estas características y del caudal másico de diseño se puede calcular la velocidad de circulación del agua, que es de:

$$\dot{m}_{dis} = v_{dis} \times A_{paso} = v_{dis} \times \pi \frac{D - 2 \times \text{espesor}_{tubo}}{4} \rightarrow v_{dis} = 0.3072 \text{ m/s} \quad 5-8$$

Los motivos por los que se hace una división del caudal en varios circuitos son para obtener un mejor aprovechamiento del área disponible para la distribución de tuberías que porten el fluido caliente y porque se reduce la velocidad de circulación de éste y la distancia que tiene que recorrer desde la impulsión hasta el retorno, por lo que se puede utilizar un equipo de bombeo que no requiera tanta potencia para su funcionamiento.

En el cálculo del número de circuitos se consideró la distancia mínima disponible en los recorridos de evacuación. Ésta se da entre dos obstáculos de la línea 1 y era de 22.5 cm. En la línea de motos la mínima distancia disponible es de 23.5 cm, por lo que el número de circuitos en ese pasillo sería el mismo que para la línea anterior. Sin embargo, para la línea 2, la distancia mínima es algo mayor, unos 33 cm, pero por simplicidad se ha asumido que tenga el mismo número de circuitos que las otras dos líneas.

En definitiva, la instalación se resuelve con una distribución de 6 tubos por pasillo. Se tienen en total 18 tubos que parten del colector de impulsión hasta el de retorno. El colector de impulsión se sitúa en la fachada norte, en las cercanías de la puerta de salida de emergencia de la nave, en la fachada este. El colector de retorno se sitúa en la fachada norte, cerca de las puertas de salida de vehículos de la nave. Desde los colectores hasta su pasillo correspondiente, los tubos irán alojados en dos zanjas que irán en paralelo a las fachadas este y oeste.

$$\dot{Q}_{pasillo} = q_{dis} \times A_F = 7744.8 \text{ W/pasillo} \quad 5-9$$

$$\dot{Q}_{TOTAL} = 3 \times \dot{Q}_{pasillo} = 23.23 \text{ kW} \quad 5-10$$

La siguiente ilustración muestra el recorrido de los circuitos desde su impulsión en el colector hasta el retorno en el otro:

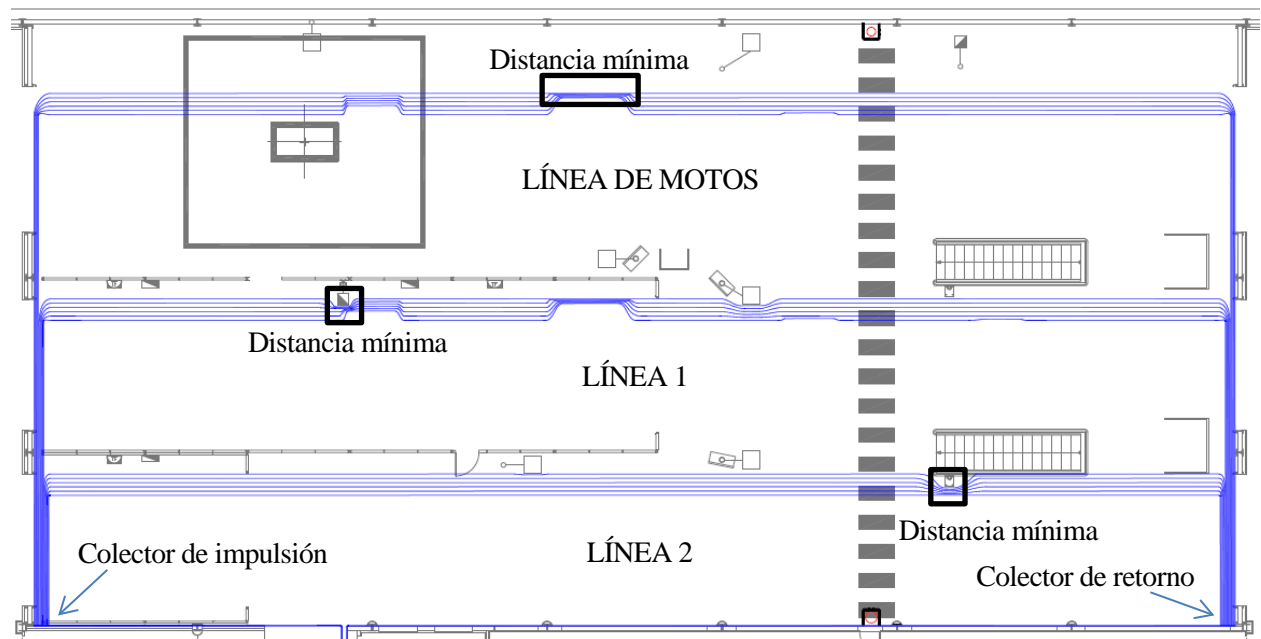


Ilustración 5-6: Distribución de los tubos del suelo radiante

La ilustración se ha tomado del plano 3, donde se muestra la planta de la nave y la propuesta de distribución de los tubos. El agua avanza en el mismo sentido que lo hace la línea de inspección (de izquierda a derecha). Se ha adoptado este criterio teniendo en cuenta que la caldera se encuentra más cerca del comienzo de las líneas que del final, y no tendría que recorrer mucha distancia hasta el principio del pasillo y se reduciría el intercambio de calor donde no interesa.

5.3 Simulación

Se ha planteado la ecuación diferencial del campo de temperaturas en la losa que recubrirá los tubos. Se pretende simular el calentamiento de la losa de mortero con el objetivo de tener una idea de las horas de funcionamiento de la fuente de calor.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 5-11$$

Se trata de una ecuación en derivadas parciales y se necesitan una condición inicial y dos condiciones de contorno para su resolución:

- Condición Inicial: La losa se encuentra inicialmente a la temperatura del terreno, que según la Guía Técnica de Condiciones Climáticas Exteriores de Proyectos del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio del Gobierno de España, se puede aproximar la temperatura del terreno en Baza como 1°C más fría que las registradas para el terreno de la base aérea de Granada, por encontrarse 100 metros más elevada la localidad de Baza con respecto a la mencionada base. Baza se encuentra a casi 800 metros sobre el nivel del mar, lo que hace que la temperatura del terreno sea aproximadamente de 6.5 °C durante el mes más frío en la localidad (enero).

$$T(0,0) = T_{terr} \quad 5-12$$

Mes	TA (°C)	TASOL (°C)	GD_15 (°C)	GD_20	GDR_20	RADH (kWh/m ² día)	TTERR (°C)
Enero	6,3	9,0	273	426	0	2,7	7,5
Febrero	8,2	10,9	200	335	0	3,6	10,5
Marzo	11,2	13,8	142	276	4	4,6	13,3
Abril	13,1	15,5	97	216	9	5,8	17,1
Mayo	17,5	19,9	43	127	48	6,6	22,6
Junio	23,7	26,6	3	29	139	7,7	28,2
Julio	26,0	28,8	0	11	196	7,7	33,8
Agosto	25,4	28,1	0	12	179	6,8	
Septiembre	21,1	24,0	5	50	81	5,4	28,3
Octubre	16,3	19,1	41	138	23	3,6	19,5
Noviembre	10,0	12,6	160	300	1	2,8	13,6
Diciembre	7,0	9,4	248	402	0	2,3	8,3

Tabla 5-1: Valores mensuales sacados de la Guía Técnica

- Condiciones de contorno: El origen del eje Z se tomará en la cara inferior de la losa, por lo que se necesitarán una condición en la cota $z = 0$ y en $z = L$, la cara superior de la misma. En la cara inferior se tiene la generación creada por el agua caliente. En la superior se tiene el intercambio convectivo y radiante de esta superficie con el aire y el resto de paredes. Se ha simplificado la radiación por ser la diferencia de temperaturas menor que 100 K.

$$\left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = -q_{dis}/k \quad 5-13$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=L} = -\frac{1}{k} [h_{CV}(T(L, t) - T_{int}) + h_{RD}(T(L, t) - T_{rm})] \quad 5-14$$

donde

- α es la difusividad del material: $\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$ (esta propiedad es diferente al parámetro α utilizado para el cálculo de la emisión térmica por Normativa).

- κ es la conductividad térmica del material.
- ρ es la densidad del material.
- c_p es el calor específico del material.
- h_{CV} es el coeficiente de convección entre la superficie de la losa y el aire.
- h_{RD} es el coeficiente de radiación entre la superficie de la losa y el resto de paredes.

La resolución de la ecuación diferencial del campo de temperaturas en la losa en función del tiempo y la altura por métodos finitos, con la ayuda de MatLab, permite representar la siguiente superficie:

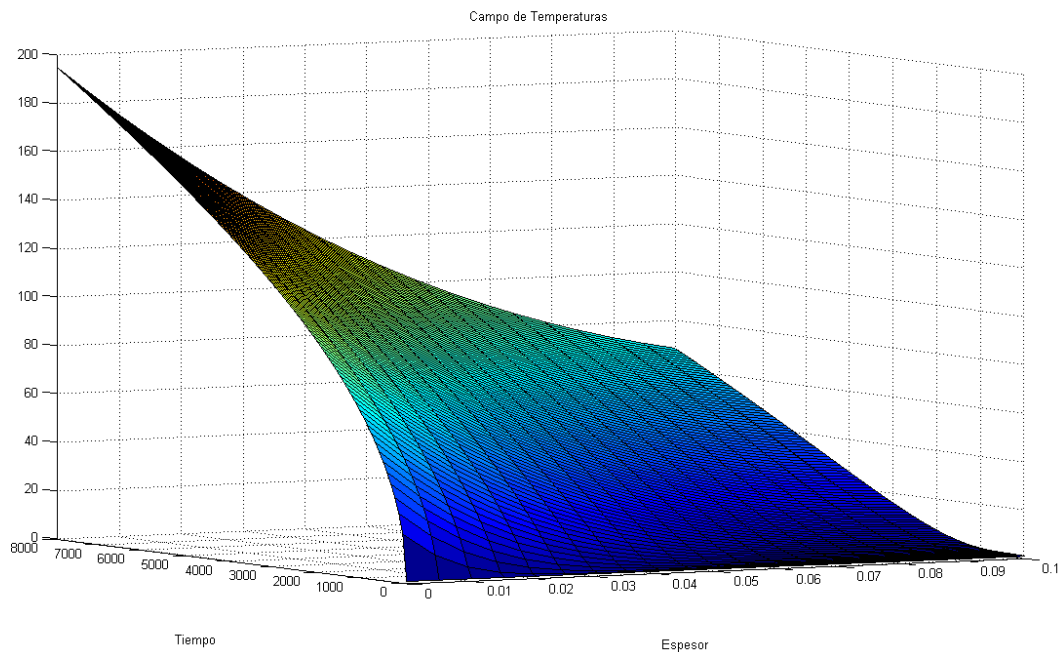


Ilustración 5-7: Calentamiento de una losa de hormigón

La curva se ha representado para una generación creada por el agua y un espesor de losa de mortero cualesquiera. El tiempo está expresado en segundos y el espesor en milímetros, siendo el punto 0 la base de la losa. Se puede observar que las curvas $T(t)$ tienen forma de raíz y las curvas $T(z)$, logarítmica. La pendiente de la superficie está estrechamente ligada con la generación de calor debajo del mortero.

Si la generación es muy grande, la temperatura en la base sería muy elevada cuando en la superficie no se ha alcanzado aún una temperatura de servicio aceptable, esto no ocurre si el espesor disminuye.

Una generación menor prolonga el tiempo de funcionamiento de la caldera pero consigue temperaturas más aceptables en ambas caras de la losa, con unos espesores cercanos al límite inferior permitido.

En este sentido, se ha realizado un estudio paramétrico sobre la evolución de la temperatura en la superficie y en la base de la losa para ciertos espesores y el dato ya conocido de la generación de diseño y se ha obtenido la siguiente simulación:

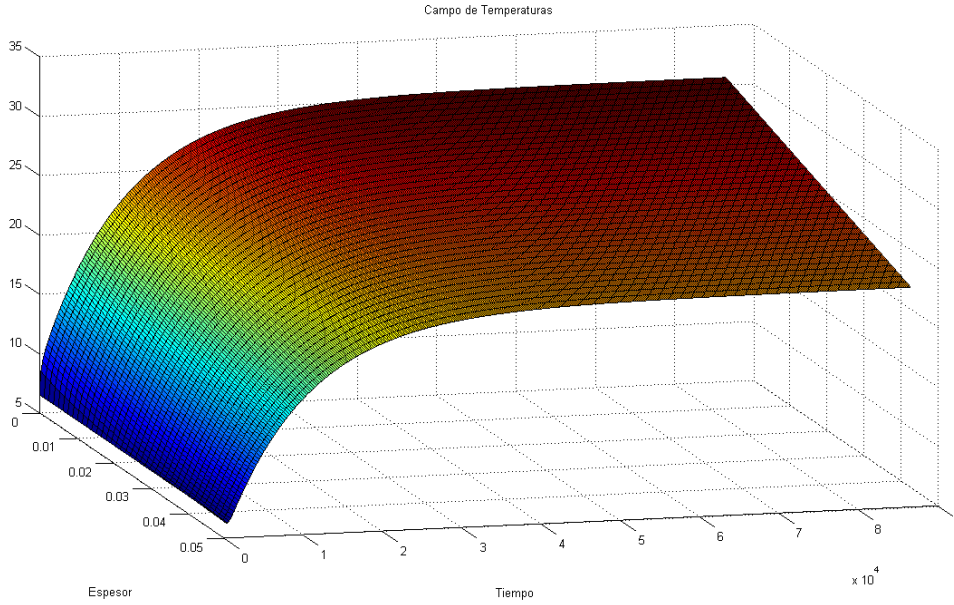


Ilustración 5-8: Calentamiento de la losa de 5 cm de espesor

En la ilustración se muestra el calentamiento progresivo de la losa de 5 cm de espesor. Se observa que la temperatura superficial que se alcanza no supera los 25 °C ni prolongando la generación de calor en la base de la losa durante las 12 horas que permanece abierta la estación, lo que reduce el efecto radiante que se calculó para el caso de una temperatura superficial de 30 °C.

Si se resolvieran nuevamente las ecuaciones del apartado 4.5 con el nuevo valor de T_2 , el resultado sería una temperatura equivalente menor que la teórica.

$$T'_2 = 23.5\text{ °C} \xrightarrow{(4.17 \text{ a } 4.20)} T'_{eq} = 10.32\text{ °C} \Rightarrow \begin{cases} PMV = -0.69 \\ PPD = 15.1\% \end{cases}$$

A la vista de la simulación, se alcanza una temperatura superficial de 15 °C al cabo de unas 2 horas aproximadamente desde el comienzo de la aplicación del calor. La temperatura equivalente que se consigue para esta temperatura superficial es 9.2 °C, y se podría considerar aceptable que, a la hora de apertura de la estación, el suelo se encontrara a esta temperatura. En este caso, sería necesaria la instalación de unos automatismos que accionaran la combustión en la caldera aproximadamente a las 5.30 horas.

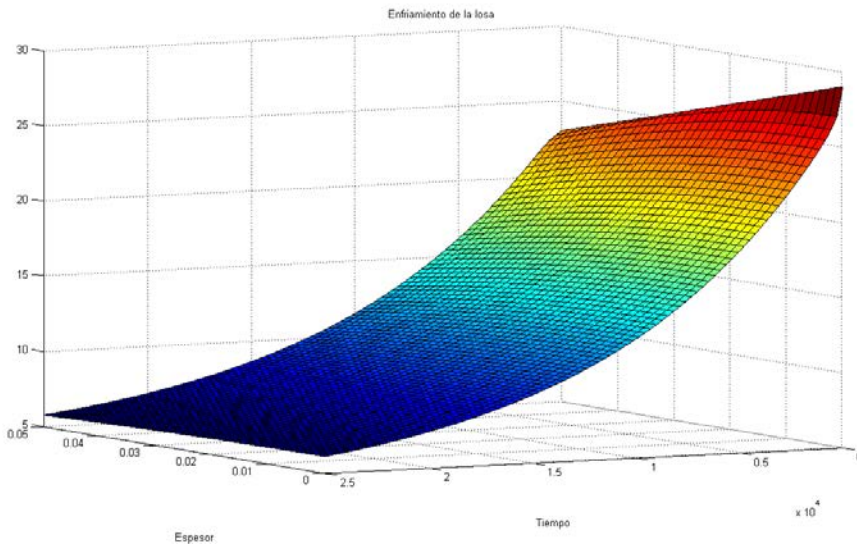


Ilustración 5-9: Enfriamiento de la losa de 5 cm

En esta ocasión se representa el enfriamiento de la losa una vez que se detiene la generación de calor. Este proceso tendrá lugar alrededor de las 20 horas, cuando la estación haya cerrado sus puertas, y dura unas 6 horas, hasta que la temperatura promedio vuelve a situarse en las cercanías de la temperatura del terreno.

Estas simulaciones se han realizado para un día típico de invierno, con una temperatura media de 4 °C. Se sabe que a lo largo de invierno, esta temperatura media fluctúa pero a efectos de cálculos se consideran todos los días iguales. Se tienen por tanto los siguientes valores en cuanto a horas de funcionamiento (NHF):

$$NHF = 2.5 + 12 = 14.5 \text{ h/día}$$

$$NHT = NHF \times \text{días}_{\text{calefacción}} = 1885 \text{ h/año} \quad 5-15$$

5.4 Instalación

Antes de realizar la instalación del suelo radiante hay que asegurarse de que el forjado esté perfectamente nivelado y lo más limpio y liso posible, sin pegotes de mortero, yeso, cemento ni restos de otros materiales. En ningún caso supone un impedimento realizar la instalación con la nave ya construida en su totalidad. Para la instalación que se propone se vaciarán los recorridos de evacuación y dos zanjas en los extremos de éstos y paralelas a las fachadas Este y Oeste de manera que alojen los tubos que irán desde un colector hasta otro, haciendo su circuito correspondiente.

En la siguiente ilustración se muestran las zanjas que habría que practicar para alojar los circuitos de tubos.

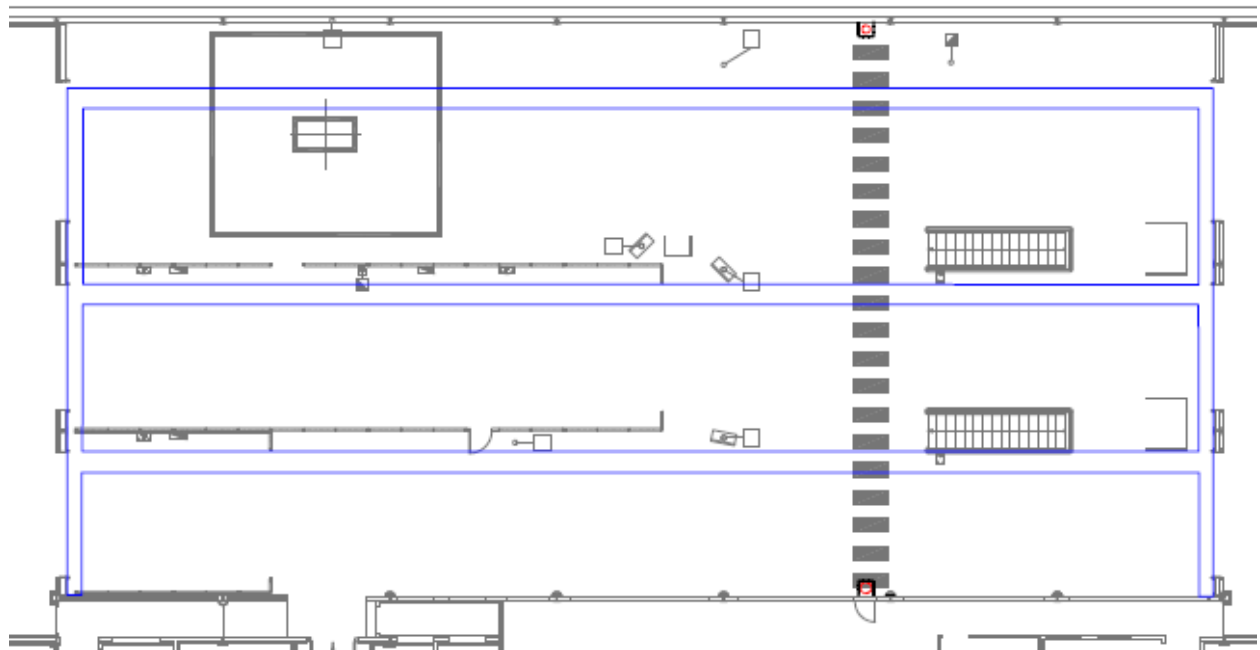


Ilustración 5-10: Zanjas para el recorrido de los tubos

5.4.1 Materiales y selección de equipos

Se utilizarán tuberías de polietileno reticulado con barrera antidifusión de oxígeno. La reticulación se define como un proceso químico por el cual las cadenas (CH) de la estructura bidimensional del polietileno se transforma en una red tridimensional debido a enlaces químicos entre (CH) de diferentes cadenas bidimensionales.

Algunas de las características de los tubos empleados para estas instalaciones son:

- No se ve afectado por la corrosión o por la erosión.
- No se ve afectado por los aditivos del hormigón.
- La fuerza de dilatación no afecta a la estructura del tubo PEX.
- El tubo es resistente a la rotura en caso de ser perforado hasta un 20 % del espesor de la pared.
- Tiene fuerzas de fricción muy bajas.
- El peso del tubo es reducido.
- Su alta flexibilidad permite hacer curvas de radio reducido.
- Es flexible incluso por debajo de los $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- La flexibilidad del tubo absorbe el 70 % del efecto golpe de ariete en caso de que se produzca.
- La flexibilidad es tal que absorbe el ruido generado en cualquier punto dentro de la tubería.

En las tuberías plásticas convencionales empleadas para la conducción de agua caliente en circuitos cerrados, las moléculas de oxígeno del aire penetran a través de la pared de la tubería cuando, al aumentar la temperatura, el espacio intermolecular de la tubería tiende a ser mayor que la molécula de oxígeno.

Este fenómeno, origina una permanente oxigenación del agua y la consiguiente oxidación continuada de las partes metálicas de la instalación que reduce su vida útil. Esta reducción de la vida útil es debida tanto a la pérdida de material de los metales de la instalación como al taponamiento de conductos originado por la deposición de óxidos.

La barrera antidifusión de oxígeno, presente en los tubos actuales, evita dichos problemas ya que reduce drásticamente el aporte extra de oxígeno al caudal de agua. Consiste en una delgada película de etilvinil-alcohol aplicada a la tubería base de PEX durante el proceso de fabricación.

Los tubos tienen un diámetro exterior de 20 mm y un espesor de 2 mm. Con una velocidad de circulación del fluido de 0.3072 m/s, se tiene un caudal volumétrico de 0.06176 L/s y un volumen total de agua en la instalación de 232 litros. El agua tarda en recorrer los circuitos aproximadamente unos 13 minutos.

El aislamiento térmico del sistema es imprescindible en cualquier instalación de climatización por suelo, porque se minimizan las pérdidas y ganancias caloríficas inferiores, lo que implica una drástica reducción del consumo energético. Tienen un resistencia térmica de $1.5\text{ m}^2\text{K/W}$.

En caso de suelos no aislados, la solución es colocar paneles de poliestireno expandido como aislamiento térmico. Éstos permiten una total libertad en el diseño de los circuitos de la instalación, siendo posible reducir el paso de la tubería tanto como sea necesario. Se caracterizan por su rapidez de instalación y su aislamiento térmico y acústico frente a ruido por impacto. Son una solución excelente para cumplir con el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico HR, dedicado a la protección contra el ruido y referido a las exigencias frente al aislamiento al ruido por impacto entre distintas unidades de uso.

El aislamiento perimetral es una banda de espuma de polietileno, cuya misión principal es absorber las dilataciones producidas por el mortero de cemento colocado sobre los tubos emisores debido a su calentamiento o enfriamiento. Asimismo, produce un beneficioso efecto de aislamiento lateral del sistema tanto térmico como acústico.

Se debe asegurar que el forjado y tabiques del local no esten en contacto con el suelo radiante, para asegurar que dicha losa se pueda contraer y dilatar de forma libre con las variaciones de temperatura, para que no se produzca ningún tipo de grieta en la losa debido a empujes o presiones indeseadas.

El aislamiento perimetral se adhiere a la base de las paredes del área a climatizar, desde el suelo base hasta la cota superior del pavimento. El faldón del zócalo se pegará al panel, asegurándose así que el mortero no penetrará a través de él y la cara adhesiva de la espuma de polietileno, y quedará unida al tabique.

El sistema de colectores puede ser metálico o de plástico, para evitar la oxidación de los equipos. Por ejemplo, la empresa Uponor los monta de plástico y hace distinción entre el sistema distribuidor y el de retorno.



Ilustración 5-11: Colectores

Los colectores distribuidores para Climatización Invisible Uponor están fabricados en un material plástico que le aporta una alta resistencia mecánica, incluso a altas temperaturas y un bajo peso. Existen dos modelos de colectores:

- Colector Uponor con detentor
- Colector Uponor con caudalímetro

La diferencia entre ambos se encuentra en las válvulas de equilibrado (detentores / caudalímetros). Los colectores con caudalímetros permiten ver el caudal circulante por cada circuito de la instalación y facilitan su equilibrado.

El colector de retorno contiene llaves manuales de apertura y cierre de paso de agua a cada circuito; sobre las rosca de estas llaves se instalan los cabezales electrotérmicos para dotar al sistema de un control automático del caudal a cada circuito.

La posición de los colectores ha de situarse por encima de la línea del suelo, para evitar una posible acumulación de aire en el interior de las tuberías. Las válvulas de equilibrado de los circuitos siempre deben ir montadas en la impulsión. Dependiendo de la posición de las líneas de distribución, las válvulas de equilibrado deben coincidir con la línea de impulsión (ida), mientras que los cabezales electrotérmicos han de coincidir con la línea de retorno (vuelta).

5.4.2 Tratamiento del agua

Será necesario aditar un anticongelante al agua, pues a veces la temperatura ambiente está por debajo de 0 °C y así se evitarían posibles heladas.

La limpieza de la instalación consiste en el vaciado y renovación del agua del circuito e introducción de un aditivo de limpieza, que actúa durante unos siete u ocho días de manera que se limpian en profundidad todos los circuitos. Al cabo de estos días, se retira el aditivo y se introduce otro protector. Los residuos dentro del suelo radiante tienen dos consecuencias nefastas: la primera es una pérdida muy notable de la transmisión de calor, disminuyendo el rendimiento de la instalación de calefacción y por lo tanto, aumentando el consumo energético; y la segunda la avería de los principales elementos de la instalación (caldera, bombas, válvulas...).



Ilustración 5-12: Limpieza de la instalación

Este proceso se puede realizar dos veces al año, por ejemplo al principio del periodo de calefacción y al finalizar el mismo.

5.4.3 Fuente de calor

Se ha elegido una caldera de condensación como fuente de calor para la instalación. La caldera es el equipo en el que el calor producido en la combustión se transfiere al agua de la instalación.

Hay tres partes bien diferenciadas en la transmisión de calor en una caldera de condensación. La primera en la que la transmisión de calor fundamentalmente se realiza por la radiación de la llama al estar a muy alta temperatura, la segunda en la que cobra importancia el mecanismo de conducción-convección y una tercera, exclusiva en calderas de condensación, donde se aprovecha el calor de condensación del vapor de agua de los humos de combustión transmitiéndose igualmente por conducción-convección. El rendimiento energético teórico puede llegar a ser del 110% respecto del PCI. El rendimiento se define como la relación entre la potencia útil que se obtiene al calentar el agua y la carga desarrollada por el gas al quemarse.

$$\eta_K = \frac{\dot{Q}_{\text{útil}}}{P_K} = \frac{\dot{Q}_{\text{útil}}}{\dot{m}_f \times PCI} \quad 5-16$$

Las calderas de condensación se fabrican con materiales especiales de modo que soporten las condensaciones sin deteriorarse, ya que es el fenómeno deseado, y con diseños que permiten la correcta evacuación de condensados. Utiliza temperaturas del agua de retorno del orden de 40 °C.

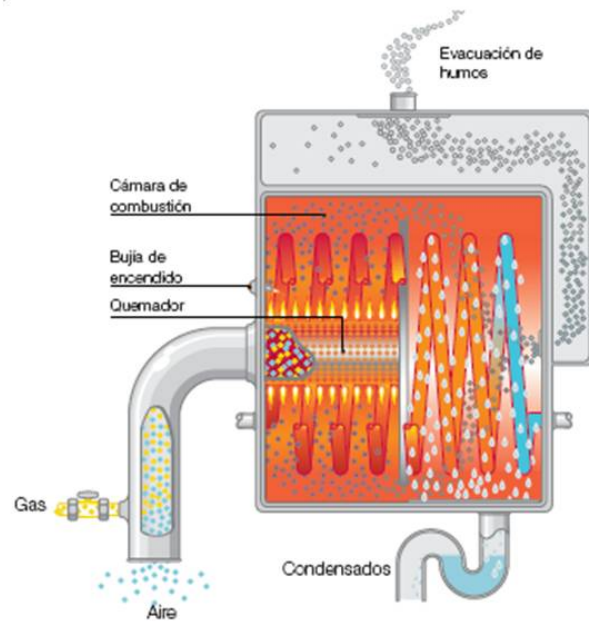


Ilustración 5-13: Caldera de condensación

El intercambiador es de gran superficie y resistente a corrosión, normalmente del tipo espiral de acero inoxidable o también de fundición en aluminio.

Una característica propia de este tipo de calderas es la necesidad de evacuar los condensados producidos, lo que implica disponer los medios para llevarlos al desagüe y poder neutralizarlos si fuera necesario. Cuanto mayor sea la cantidad de agua condensada, mayor será la efectividad de la caldera de condensación.

Además de los dispositivos de seguridad propios de una caldera (seguridad por sobretensión, presencia de llama, presión, etc.), las de este tipo deben incluir sistemas de seguridad particulares, relacionados especialmente con la evacuación de humos y condensados. Debido a que en estas instalaciones pueden utilizarse chimeneas de plástico, debe evitarse que los humos salgan a una temperatura superior a la máxima permitida por este tipo de material (120 °C) y para garantizar un mayor rendimiento, suele incluirse un termostato de humos que bloquea la caldera si la temperatura de los productos de combustión a la salida de la misma supera un límite prefijado. Sus emisiones de NOx son muy bajas, pudiendo alcanzar 20-30 mg/kWh.

Respecto al montaje y mantenimiento, éstas tienen los mismos requisitos que las calderas tradicionales, con el añadido de los sistemas de evacuación de los condensados. Según el RITE es obligatorio un mantenimiento anual.

Las mayores pérdidas de potencia corresponden a los humos, que a su vez, dependen del exceso de aire de la combustión. A mayor exceso de aire, mayor masa de humos, de la temperatura de los mismos y de los inquemados, que habitualmente son muy bajos.

En cuanto a su ubicación, irá colocada en el almacén, al que se tiene acceso desde la nave y está situado en el pasillo que da a la puerta de salida de emergencia por la fachada este. En estas dependencias se encuentran la sala técnica y el compresor para la instalación del aire comprimido.

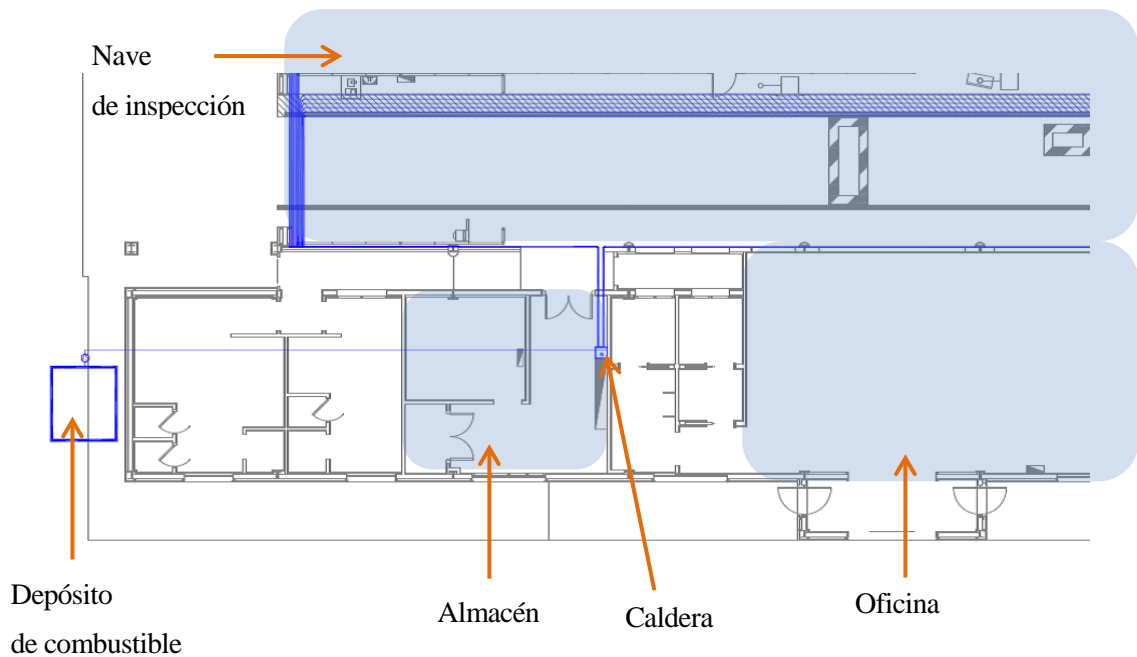


Ilustración 5-14: Ubicación de la caldera y el depósito de combustible

Desde el colector de impulsión parten unos tubos hasta el almacén. La caldera será alimentada con gas propano desde un depósito por medio de un equipo de bombeo, ya que en la parcela de la estación no se cuenta con un suministro de gas natural, que es el combustible más recomendable para la caldera que se instalará.

La caldera seleccionada es la Caldera Junkers Cerapur Smart ZWB 28 – 3C, de 28 kW para calefacción.

Para el cálculo del consumo de combustible se hará uso de la ecuación anterior, suponiendo un rendimiento del 110%.

$$\eta_K = 1.1 \xrightarrow{5.16} P_K = 21.12 \text{ kW}$$

$$\xrightarrow{5.16} \dot{m}_f = \frac{\dot{Q}_{\text{útil}}}{\eta_K \times PCI} = 0.4 \text{ g/s} \xrightarrow{NHF} m_{f,\text{diario}} = 45.22 \text{ L/día} \xrightarrow{NHT} m_{f,\text{anual}} = 5879 \text{ L/año}$$
5-17

5.4.4 Etapas del montaje

1. COLOCACIÓN DEL EQUIPO DE DISTRIBUCIÓN

La instalación comienza por la colocación del equipo de distribución. Se debe colocar a una altura que permita que los tubos puedan curvarse y unirse al distribuidor sin ningún problema. La ubicación del equipo estará definida en el plano del proyecto.



Ilustración 5-15: Sistema de colectores

2. COLOCACIÓN DEL FILM DE POLIETILENO

Cuando la habitación se encuentra sobre terreno natural, sótanos o espacios a la intemperie, se recomienda la colocación de un film de polietileno a lo largo de toda la superficie del forjado, como barrera anti-humedad. El film debe solapar los cerramientos verticales.

3. COLOCACIÓN DE LA BANDA PERIMETRAL

La banda perimetral se debe colocar en todo el perímetro de la instalación que se vaya a acometer. Debe extenderse desde el forjado soporte hasta la superficie del forjado acabado. No debe cortarse la parte de la banda perimetral que sobresalga del forjado hasta que no se coloque el solado final. El film de polietileno de la banda, se deberá colocar por encima del aislamiento.



Ilustración 5-16: Banda perimetral

4. COLOCACIÓN DEL PANEL AISLANTE

En primer lugar se colocará una fila de placas cubriendo longitudinalmente toda la superficie. El film de polietileno de la banda perimetral debe colocarse sobre el panel aislante para impedir que se introduzca mortero entre las ranuras.

El panel aislante se debe colocar a lo largo de toda la superficie del forjado. Para evitar que filtre el mortero, hay que realizar la unión entre paneles con el machihembrado que normalmente llevan incorporado. El suelo tiene que quedar bien sellado para evitar puentes térmicos.



Ilustración 5-17: Colocación de paneles aislantes

5. COLOCACIÓN DEL TUBO

La unión de los extremos del tubo al equipo de distribución se realiza mediante los accesorios de unión al tubo. Se debe asegurar que no hay holgura entre accesorio y tubo. El accesorio tiene que entrar recto en el colector para evitar cualquier problema de pinzamiento de juntas. Una vez unido uno de los extremos del tubo al colector, se realiza el circuito y se une el otro extremo al colector de retorno.

Los tubos se colocan a más de 50 mm de distancia de las estructuras verticales y a 200 mm de los conductos de humo, de los hogares de chimeneas y de los huecos de ascensores. La distancia entre los tubos de los circuitos se definirá en el proyecto, en el que habrá que tener en cuenta lo siguiente:

- Los tubos de los distintos circuitos nunca deben cruzarse entre sí.
- La forma de colocación de los tubos se realizará de acuerdo a las especificaciones del diseño.
- Cuando los tubos atraviesen las juntas de dilatación, se deberán proteger con un tubo corrugado o codos de protección para evitar que se dañe.
- Se comprobará que el accesorio entra en el tubo sin holgura.
- Los radios de curvatura a realizar en el trazado del circuito no deben de ser muy pequeños, para evitar que el tubo se pliegue.

Si por cualquier causa un circuito emisor de suelo radiante resultara agujereado, se debe sustituir íntegramente; no se permiten empalmes entre tramos de un circuito bajo suelo.



Ilustración 5-18: Instalación de tubos emisores

6. LLENADO DE LA INSTALACIÓN Y PRUEBA DE PRESIÓN

Se vacían previamente las tuberías principales para limpiarlas de posibles residuos. Se vuelve a llenar la instalación desde el grifo de llenado hasta la presión deseada (1.47-1.96 bar).

El llenado de la instalación debe realizarse lentamente, circuito a circuito, para reducir al máximo la entrada de aire. Se cierran todos los circuitos excepto, el que se quiere llenar. Se abren los grifos de la impulsión y el retorno, para que pueda salir el aire del interior y se comienza con el llenado por el grifo del colector de impulsión. El circuito estará lleno, cuando, desde el grifo del colector de retorno, salga un chorro continuo de agua. Una vez terminado con el primer circuito, se cierra éste y se continúa con el resto de circuitos hasta terminar de llenar la instalación completamente. Los purgadores deben servir también para evacuar el aire que pueda quedar en la instalación.

No se aconseja el uso de sistemas de llenado automático de la instalación de la instalación con conexión directa a la red de suministro de agua, ya que ello implica la entrada continua de oxígeno disuelto en el agua, cuyos efectos son la excesiva oxigenación del agua de la instalación y la consiguiente reducción de la vida de ésta.

Antes de colocar el mortero, es imprescindible realizar la comprobación de la estanqueidad de los circuitos por medio de un ensayo de control de fuga. Según la Norma Europea, los tubos deben ser probados a una presión de 5.8 bar durante 24 horas antes de ser cubiertos por el mortero. Quedan excluidos de la prueba la caldera, las bombas de circulación y el vaso de expansión para prevenir un deterioro de los mismos debido a un exceso de presión. La presión máxima estará limitada por los elementos que componen la instalación.

Durante el hormigonado, hay que dejar el tubo a presión, para que una vez realizado el fraguado el tubo tenga espacio para su dilatación.

7. VERTIDO DEL MORTERO

Durante la producción del mortero deben utilizarse solamente aditivos que no aumenten más del 5% el aire en su interior. Cuando se coloque el mortero, la temperatura del mismo y la temperatura del suelo del habitáculo no deben estar por debajo de 5 °C, ni durante los tres días siguientes.



Ilustración 5-19: Vertido del mortero

Dentro de cada pasillo, el vertido se realiza empezando desde la mitad y esparciendo el mortero con cuidado, de forma que el film de la banda perimetral se quede por debajo del mortero. En caso de mortero autonivelante hay que sellar perfectamente la instalación para que el mortero no filtre.

Se deben evitar los excesos de calor así como las corrientes de aire a fin de limitar lo máximo posible las contracciones del mortero durante el secado.

Normalmente la colocación del solado se realiza transcurridos 28 días del vertido del hormigón, respetando las características de cada tipo de revestimiento.



Ilustración 5-20: Cemento con tratamiento superficial de fratasado

8. EQUILIBRADO DE LA INSTALACIÓN

Una vez realizado el calentamiento inicial, es necesario proceder al equilibrado de la instalación, para que el calentamiento de cada pasillo sea uniforme. Para ello se utilizarán los reguladores de caudal o detentores de los equipos de distribución. En el proyecto se ha de indicar el caudal que debe circular por cada circuito, por lo que en el caso de tener reguladores de caudal, solo hay que abrir o cerrar esa vía hasta que el émbolo indique el caudal proyectado. Si se disponen de detentores, se ajustarán a las especificaciones del proyecto. Se consigue un equilibrado correcto cuando la temperatura de retorno sea la misma en todos los circuitos. Una vez realizado el equilibrado con los reguladores o detentores, hay que asegurarse que el salto térmico entre ida y retorno no sea superior a 10 °C. En una instalación de suelo radiante sin equilibrar hidráulicamente, el resultado sería que los circuitos más cortos estarían sobrecalentados mientras que los más largos no se calentarían lo suficiente. Esta operación es muy importante para un buen funcionamiento.

En el Anexo II se puede ver una tabla con los valores de las pérdidas de presión de cada circuito.

5.4.5 Regulación

La calefacción por suelo radiante tiene una inercia más importante que una calefacción por radiadores ya que tiene una losa de 4 cm de espesor por encima del tubo. Tiene un efecto favorable frente a una acción todo o nada de la regulación. En este caso, la acción todo o nada se traduce en variaciones muy lentas de la temperatura ambiente y con una amplitud moderada. Por contra, tiene un efecto desfavorable frente a una variación súbita de la temperatura de consigna (temperatura en el termostato) o un cambio repentino del valor atribuido a una variable perturbadora, como es el caso de las aportaciones gratuitas (radiación solar, aumento del número de personas...).

La razón del uso de sistemas de regulación es que, siendo necesario mantener la temperatura del agua que circula por los tubos en un rango entre 35 y 50 °C dependiendo del tipo de suelo, es imposible si se utilizan calderas convencionales de alta temperatura, en las cuales la temperatura de impulsión del agua es de alrededor 80 °C, ya que no es aconsejable hacerlas trabajar con una temperatura del agua de retorno inferior a 60 °C si se quiere obtener un rendimiento y una duración aceptables de la misma (a estas temperaturas, la condensación de ciertos gases daña la caldera y reduce su vida útil). Si se trabaja con una caldera de alta temperatura, se necesitará un equipo de regulación para reducir la temperatura del agua a la requerida por la instalación de suelo radiante.

La regulación automática de una instalación de suelo radiante permite a la vez cumplir con las exigencias de rendimiento y ahorro de energía y obtener un grado de confort elevado.

A pesar de que la regulación en función de la temperatura exterior asociada a una regulación local es la más común, sobre todo en el caso de viviendas unifamiliares, hay una solución que proporciona unos resultados equivalentes y con un coste inferior: una regulación por termostato de ambiente bajo diferencial sin

regulación complementaria por dependencia.

De forma genérica existen dos tipos fundamentales de regulación:

- Sistemas de regulación a punto fijo: Los sistemas de regulación a temperatura fija mantienen constante la temperatura del agua que se envía a los distintos circuitos de la instalación de suelo radiante en un valor predeterminado en el proyecto. En algunas empresas, este grupo de regulación viene premontado de fábrica con los colectores de distribución completos, todo ello dentro de una caja metálica para que su instalación sea sencilla y segura. A estos equipos únicamente se le debe añadir una bomba de recirculación en función del caudal de agua necesario.
- Sistema de regulación a temperatura variable: Son sistemas de regulación más sofisticados que permiten variar la temperatura que recibe la instalación de suelo radiante en función de diversas circunstancias. Compensan las variaciones en la temperatura exterior en la calle y la inercia térmica propia del suelo radiante. Permiten programar ciclos con temperaturas de confort y ciclos con temperatura de mantenimiento u ahorro energético. Cuentan con una válvula mezcladora de tres o cuatro vías, un programador de tiempos de confort y tiempos de ahorro energético y con una sonda exterior de temperatura.

Recientemente han aparecido en el mercado calderas que trabajan a baja temperatura a unos precios mucho más económicos que las de alta, como las calderas de condensación. La utilización de este tipo de calderas en las instalaciones de suelo radiante permite prescindir de los sistemas de regulación mencionados, ya que la propia caldera es capaz de generar el agua a la temperatura adecuada para la instalación de suelo radiante (35-50 °C).

5.4.6 Puesta en marcha

El aumento de la temperatura debe ser de forma suave y progresiva, especialmente si se hace durante el periodo del fraguado del hormigón, que dura aproximadamente un mes.

La Norma Europea establece que la puesta en marcha será a 21 días después del hormigonado.

La primera puesta en marcha se hará a una temperatura del fluido de 25 °C mantenida al menos tres días. Seguidamente se eleva a la temperatura máxima de servicio y se mantiene durante unos cuatro días.

5.5 Planos

El plano 3 del Anexo I es un plano de planta de la nave y representa la distribución de equipos que tendría la instalación de suelo radiante diseñada.

6 SOLUCIÓN CON SUELO RADIANTE ELÉCTRICO

La instalación de un suelo radiante eléctrico es más simple que la del suelo por agua, en el sentido de que no es necesaria una instalación auxiliar, como la de agua y la fuente de calor. En cambio, son necesarias las protecciones eléctricas y posiblemente una revisión de la cuota de potencia instalada.

6.1 Características de la instalación

En esta ocasión, el elemento conductor es ya la propia fuente de calor y lo transmite directamente a la losa de mortero. El diseño se hará con el hilo radiante como elemento conductor. Los cables de los circuitos en una instalación de suelo radiante no se pueden cortar, por lo que cada circuito deberá contener un número exacto de bobinas completas.

El aspecto fundamental en el diseño será calcular el número de cables que puede instalarse en cada sección de pasillo, respetando el paso que tiene que haber entre ellos, pues al tratarse de corrientes eléctricas que circulan por conductores paralelos y antiparalelos se generan campos magnéticos que no pueden pasarse por alto.

Sale del alcance de este estudio el diseño de un cable para el sistema de calefacción, lo que se va a hacer es aprovechar la tecnología actual para que el efecto conseguido sea el mejor posible. Dicho esto se deben tomar los datos de un fabricante en concreto para saber las dimensiones de los cables que se utilizan, la generación lineal de los mismos y la longitud en la que se comercializan. No es lo mismo que en el caso del agua, donde se podían dimensionar los equipos para la circulación de agua que fuera necesaria y elegir una caldera acorde a la potencia instalada.

6.1.1 Variables de optimización

En el diseño de esta instalación no existen muchos grados de libertad más que, a mayor número de cables mayor generación y a mayor espesor de la losa de mortero mayor retardo en la percepción del efecto que produce la calefacción.

Los fabricantes suelen recomendar un espesor mínimo para la losa de mortero que cubrirá sus elementos calefactores, del orden de 3 ó 4 cm.

6.2 Diseño

En la distribución de los cables por el suelo, éstos deben ir en paralelo y no se pueden cortar, como se ha dicho antes, de modo que una vez que llegue a un obstáculo o al final de la línea, deberá salvarlo con una curvatura suave o regresar en dirección contraria.

Para el cálculo del número de cables que pueden atravesar una sección de una cierta anchura según los

obstáculos de cada línea, se operará de manera similar que se hizo para el caso de suelo radiante por agua:

$$\frac{\text{distancia}_{\text{disponible}} - 2 \times \text{espesor}_{\text{bp}} - D_{\text{cable}}}{D_{\text{cable}} + T_{\text{min}}} = n_{\text{teórico}} - 1 \quad 6-1$$

El paso de cables no debe ser inferior a 8 cm, aunque se puede reducir a 6 si se incorporara una tira metálica que uniera todos los cables e igualara su potencial. El espesor de la banda perimetral es el mismo que en el caso de agua porque se usa el mismo material.

Se ha tomado como base de cálculo, los valores proporcionados por la empresa DUCASA CLIMA S.A., que distribuye los cables en bobinas de 102 metros y tiene una potencia de 1855 W por bobina. La temperatura de servicio del cable es de unos 40 °C.

$$q_{\text{dis}}^{\text{agua}} = 230.5 \frac{W}{m^2} \rightarrow \begin{cases} 4 \times 1855 W / 33.6 \frac{m^2}{\text{pasillo}} = 220.83 \frac{W}{m^2} \\ 5 \times 1855 W / 33.6 \frac{m^2}{\text{pasillo}} = 276.04 \frac{W}{m^2} \end{cases}$$

Si se quisiera obtener una generación similar a la que puede dar el agua, habría que instalar 4 ó 5 cables completos por pasillo.

Haciendo uso de la ecuación 6.1 y de la herramienta AutoCAD, se ha intentado distribuir 5 bobinas respetando el paso mínimo de 6 cm entre cables y no se ha conseguido. En cambio, sí se ha logrado distribuir 4 bobinas de cable conductor, asegurando en todo momento un paso superior a los 6 cm.

Concretamente, si el cable mide 102 metros y tiene la potencia indicada, se tiene la siguiente generación lineal del cable y generación superficial del conjunto de las 4 bobinas:

$$G_L = \frac{1855 W}{102 m} = 18.19 W/m \quad 6-2$$

$$\begin{aligned} q_{\text{dis}}^{\text{eléctrico}} &= 18.19 W/m \times 102 m / \text{bobina} \times 4 \text{ bobinas} / 33.6 m^2 / \text{pasillo} \\ &= 220.88 W/m^2 \end{aligned} \quad 6-3$$

Esta instalación se resuelve con 4 bobinas por pasillo, lo que supone una potencia de 7420 W por pasillo y un total de 22.26 kW instalados.

La cuota de potencia instalada en la estación en su conjunto es de 169.202 kW, siendo la máxima potencia simultánea que se puede dar en la estación 34.63 kW. A la vista del consumo eléctrico que tendría la calefacción sería necesaria una revisión del contrato de suministro de la electricidad con la empresa distribuidora para aumentar el límite la cuota de potencia.

En la siguiente imagen se muestra la distribución de los cables que se ha conseguido:

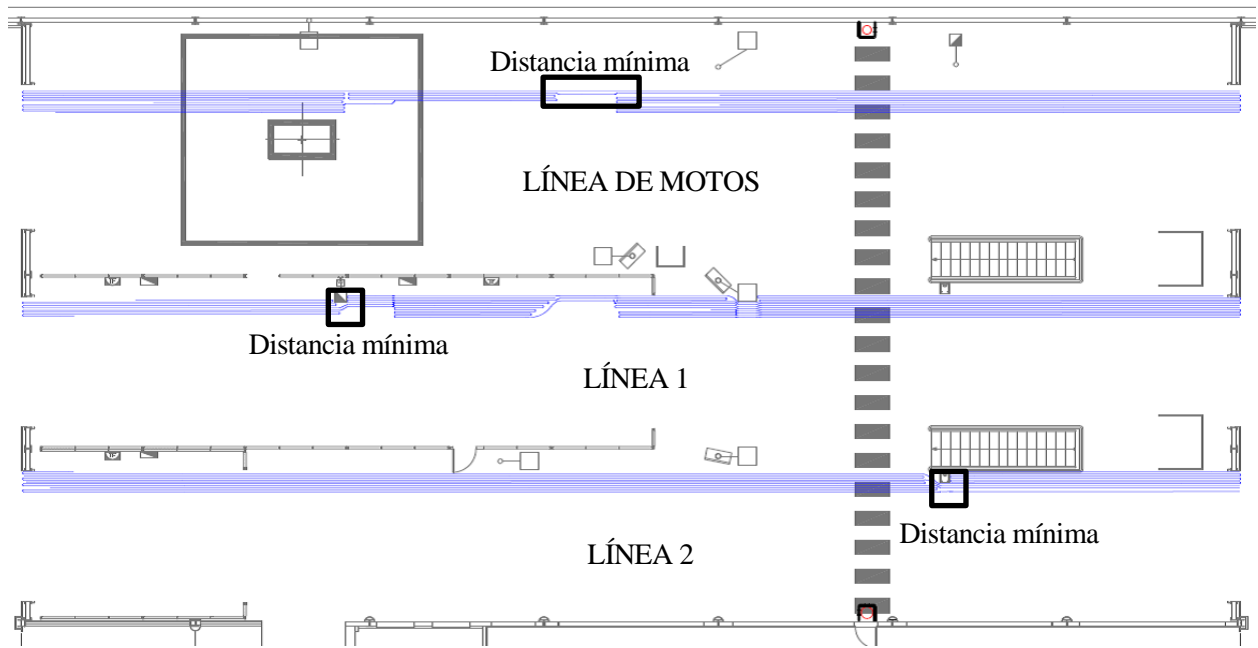


Ilustración 6-1: Distribución del cable calefactor

6.3 Simulación

Del mismo modo que en el capítulo anterior, a partir de la generación de diseño se ha simulado el calentamiento de la losa que recubrirá los cables para saber el número de horas de funcionamiento de la calefacción.

Se parte nuevamente de la ecuación diferencial del campo de temperaturas y se usan las mismas condiciones inicial y de contorno, teniendo en cuenta el nuevo valor de la generación superficial y que el espesor de la losa será ahora de 4 cm.

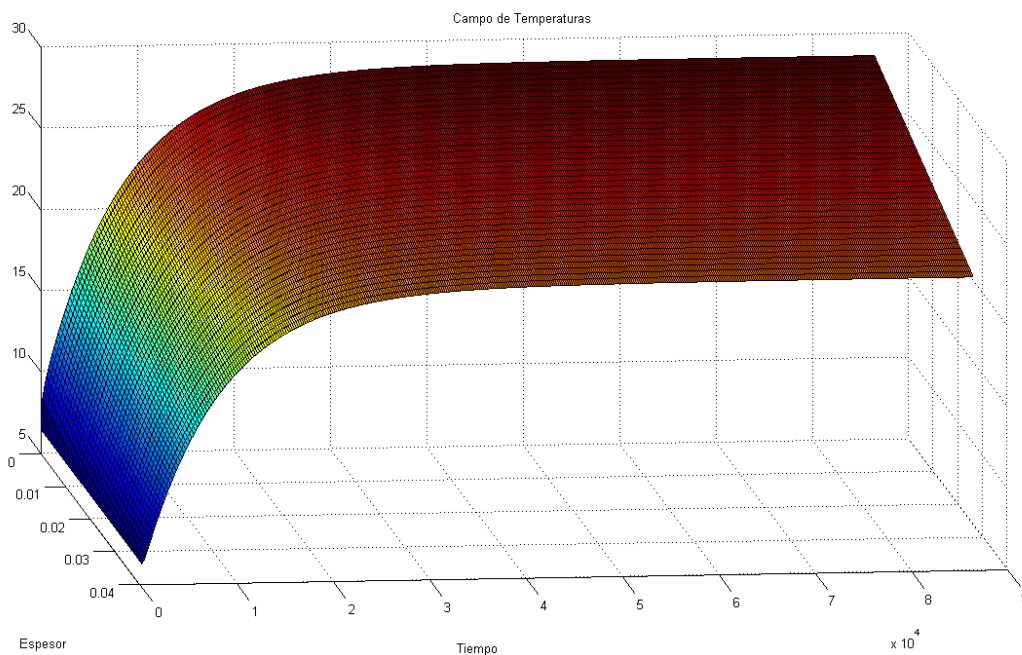


Ilustración 6-2: Calentamiento de la losa de 4 cm

En la simulación del calentamiento de la losa, se observa que, en este caso, la temperatura superficial que se alcanza tampoco supera los 25 °C, ni manteniendo la generación de calor en la base de la losa durante

12 horas, y se penaliza el efecto radiante que se pretende conseguir. Se obtendría una temperatura equivalente similar a la que se calculó en el capítulo anterior.

$$T'_2 = 23 \text{ °C} \xrightarrow{(4.17 \text{ a } 4.20)} T'_{eq} = 10.25 \text{ °C} \Rightarrow \begin{cases} PMV = -0.69 \\ PPD = 15.1 \% \end{cases}$$

En la simulación, se observa que se consigue una temperatura superficial de 15 °C en 1 hora y 45 minutos aproximadamente desde el comienzo de la generación de calor. Si se considera aceptable el efecto que se consigue con esta temperatura a la hora de apertura de la estación como se hizo en el caso del agua, la calefacción tendría que empezar a funcionar aproximadamente a las 6 horas, yendo posteriormente en aumento la temperatura superficial y con ella, el efecto radiante que crea la calefacción.

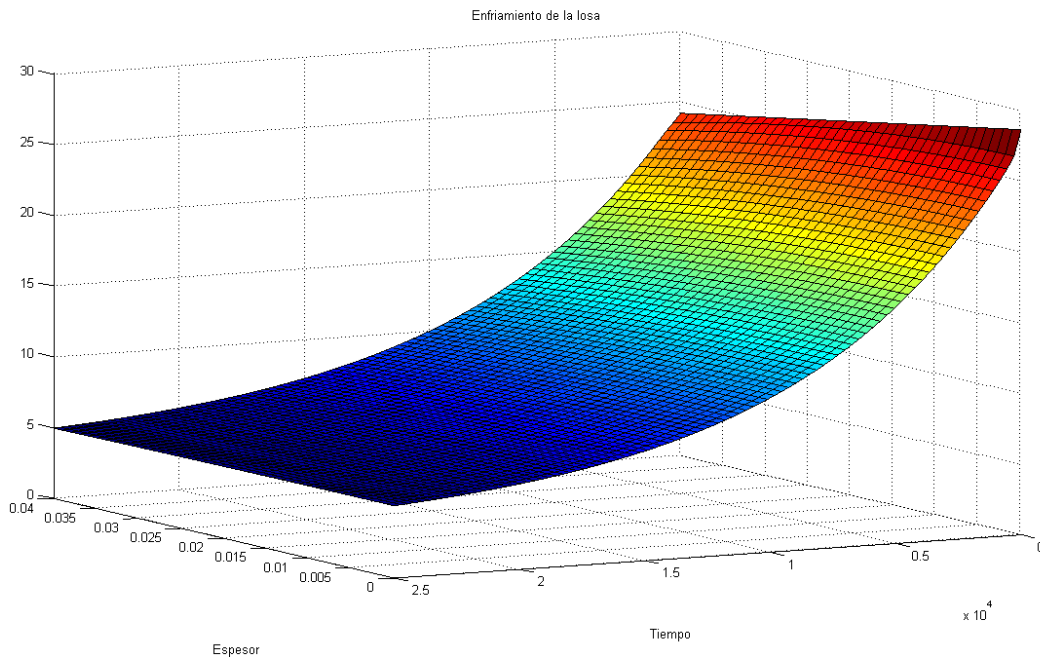


Ilustración 6-3: Enfriamiento losa 4 cm

El enfriamiento de la losa es idéntico al que se tiene en el caso del agua porque tiene que enfriarse desde la misma temperatura superficial, y se prolonga durante casi 5 horas.

La simulación se ha realizado para el mismo día típico de invierno que se utilizó previamente, cuya temperatura media era de 4 °C. Teniendo en cuenta todos estos parámetros se obtienen los siguientes valores de horas de funcionamiento (NHF):

$$NHF = 2 + 12 = 14 \text{ h/día}$$

$$NHT = NHF \times \text{días}_{calefacción} = 1820 \text{ h/año} \quad 6-4$$

6.4 Instalación

Se deben dar los mismos requisitos previos a la instalación del suelo: forjado nivelado y limpio. Para el suelo radiante eléctrico únicamente habría que vaciar los recorridos de evacuación, pues la conexión de los cables se hará en uno de los extremos del pasillo, en este caso, en el que está junto a las puertas de salida de la nave.

Se muestran en la ilustración las zanjas que habría que practicar en esta ocasión:

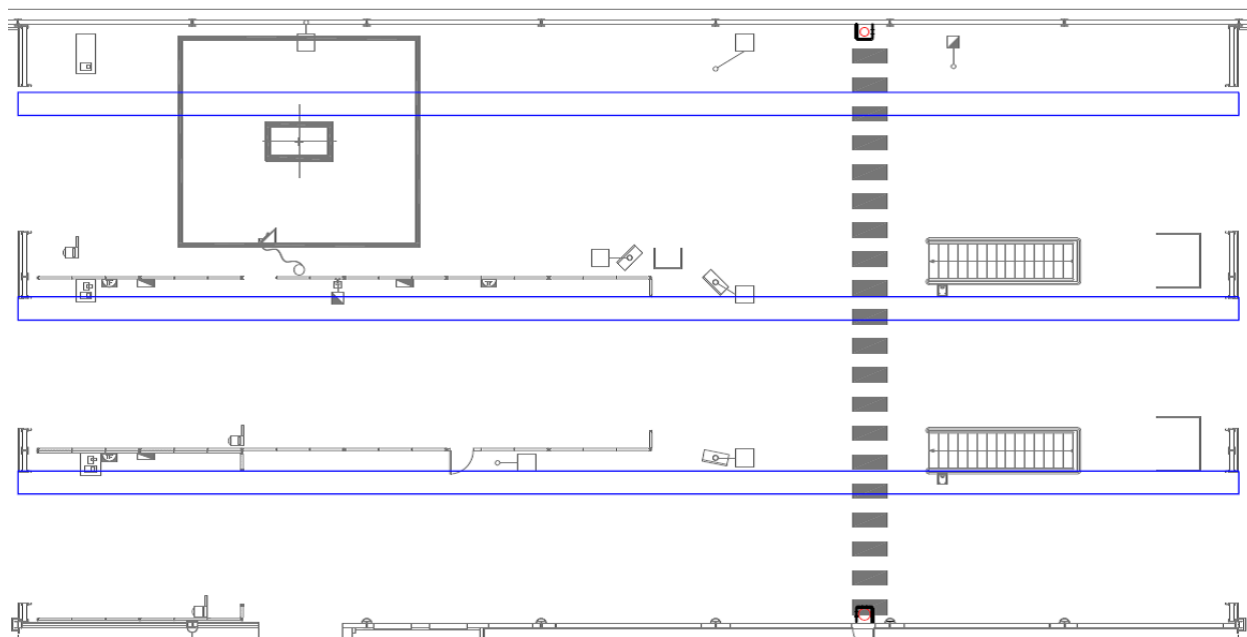


Ilustración 6-4: Zanjas para el recorrido de los cables calefactores

6.4.1 Materiales y selección de equipos

Se ha comentado anteriormente que los elementos que se usarían para el diseño serían los que ofrece la empresa DUCASA CLIMA S.A..

Como elemento conductor se utilizará el cable doble conductor, que tiene la principal ventaja de que solamente uno de sus extremos debe ser conectado a la caja de conexiones, la denominada cola fría. Cuando en la distribución del suelo radiante se necesitan varias bobinas, no se pueden conectar en serie unas con otras, sino en paralelo, de ahí que haya sido una dificultad alojar más de 4 bobinas en los huecos previstos.

6.4.2 Etapas de montaje

Una vez se ha limpiado la superficie del pasillo para evitar que haya algún tipo de objeto punzante que pueda estropear las láminas aislantes o el cable calefactor, se puede proceder al montaje de la instalación.

1. COLOCACIÓN DE LA BANDA PERIMETRAL Y DEL AISLAMIENTO BASE

La banda perimetral se debe instalar en todo el perímetro del hueco que contendrá la instalación y hasta el nivel del suelo final. El plástico de la banda perimetral irá sobre el aislamiento base y por debajo de la placa base de fibra. Se colocan las láminas de aislante cubriendo la totalidad de la superficie, para evitar fugas de calor no deseadas.



Ilustración 6-5: Instalación de aislantes

2. MARCADO DEL SUELO Y COLOCACIÓN DE GUÍAS

Se colocan las placas de fibra, sobre las que se situarán los cables, y se marcan las áreas donde se situarán las unidades y los dispositivos de unión. A continuación se fijan las guías que mantendrán separados los cables a la distancia prevista. Estas guías se colocan cada metro o metro y medio. Se comienza desplegando el cable en la ubicación más cercana al termostato. Se indica la posición de cualquier giro o corte que necesitará realizar el elemento calefactor. Se señalan las posiciones y la ruta planificada de los cables de alimentación, así como el sensor de suelo. Es recomendable colocar el sensor lejos de áreas con fluctuación de calor y siempre a la misma altura que el elemento calefactor.



Ilustración 6-6: Placas de fibra

3. TENDIDO DEL CABLE

Se realiza el tendido del cable según el diseño previsto. Si quedara algún cable suelto (que el extremo de una bobina no llegara hasta la siguiente guía de separación), habría que asegurar que éste mantiene la distancia mínima con el resto de cables. No es posible cruzar los cables bajo ningún concepto (incluyendo el sensor de suelo y el cable de alimentación).



Ilustración 6-7: Instalación guía de separación

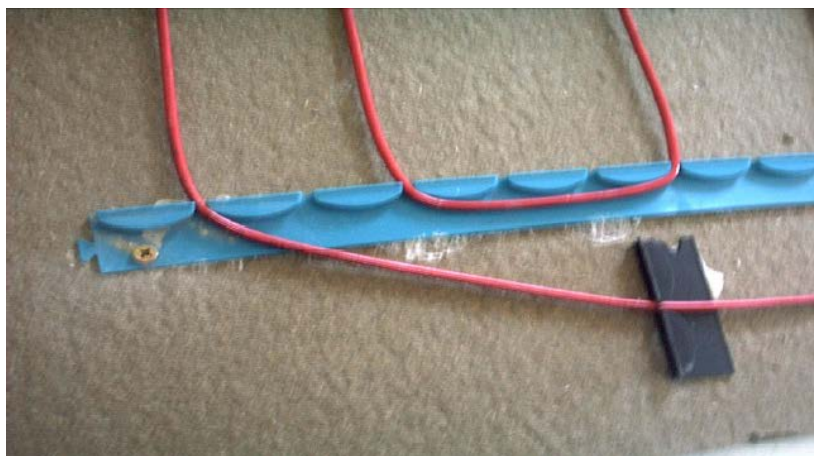


Ilustración 6-8: Detalle del radio de curvatura

4. VERIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN

Aunque los cables salen verificados de fábrica, es importante hacer una comprobación previa al vertido del mortero. Estas operaciones consisten en comprobar la conductividad y el aislamiento.

5. VERTIDO DEL MORTERO

Es necesario realizar ciertas operaciones previas al recubrimiento como por ejemplo asegurarse de la ausencia de marcas significativas o de penetración del cable en el aislamiento; que el cable no pasa por encima de ninguna junta de dilatación; ausencia de rasguños, cortes, signos de estiramiento o reducción del diámetro, de ángulos vivos y de cualquier defecto visible en el cable calefactor; y ausencia de deterioro de los accesorios de instalación o modificación de los pasos o radios de curvatura, signos de tracción anormal.

Una vez se ha vertido el mortero se comprobará de nuevo la conductividad de los cables y medirán los ohmios para confirmar que no se ha producido ningún corte durante su colocación.



Ilustración 6-9: Suelo nivelado

6. INSTALACIÓN DE TERMOSTATOS CON SONDA

Para la instalación de la sonda se practica una pequeña zanja en el mortero y se introduce un tubo corrugado de unos 20 mm de diámetro que la alojará en su interior y a continuación se tapa el extremo del tubo para impedir que el mortero llegue a su interior. El tubo corrugado es muy importante para poder retirar la sonda en caso de avería. Ésta debe estar a unos 30 cm de la pared y no puede colocarse sobre los cables, para evitar falsas medidas de temperatura. El otro extremo de la sonda llegará al termostato, que va empotrado de la pared.



Ilustración 6-10: Caja de conexiones y termostato

6.4.3 Protecciones

En cuanto a las protecciones eléctricas que habría que añadir a la instalación será necesario incorporar un interruptor con control de potencia (ICP) de 35 A y un diferencial del mismo amperaje con sensibilidad de 30 mA por pasillo.

$$\begin{aligned}
 \text{Potencia por pasillo} &\rightarrow 4 \times 1855 \frac{W}{\text{pasillo}} = 7420 \frac{W}{\text{pasillo}} \Rightarrow \frac{7420 W}{230 V} = 32.26 A \\
 &\rightarrow \text{ICP } 35A/230V
 \end{aligned}$$

Por otro lado, al tratarse de conductores paralelos se da la situación de corrientes filiformes y es de suma importancia respetar el paso entre cables o la instalacion de tiras metálicas que igualen los potenciales de los cables. Las corrientes filiformes producen campos magnéticos que dependen de la distancia entre los conductores.

En cada conjunto de tres cables se dará la situación de que en el central irá la intensidad en un sentido y, en los otros dos, irá la misma intensidad pero en sentido contrario (aunque pertenezcan a bobinas distintas) al ser todos los conductores iguales y tener la misma caída de tensión. Habrá excepciones en las que las corrientes irán en el mismo sentido (por ejemplo en algunas zonas de la línea 1). Los fenómenos físicos que tienen lugar son corrientes paralelas y antiparalelas.

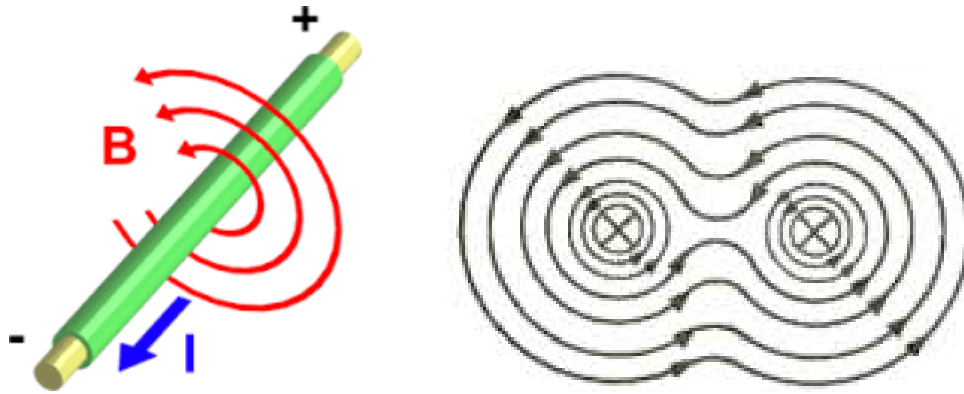


Ilustración 6-11: Líneas de campo y superposición de efectos

La fuerza electromagnética que se crea en un cable por el que pasa una intensidad se puede cuantificar con la siguiente expresión:

$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B} \tag{6-5}$$

Cuando se tienen dos conductores se aplica el principio de superposición. Si uno está colocado en la posición $x_1 = -T/2$ y el otro en $x_2 = T/2$, donde T es el paso de cables, se obtiene la siguiente expresión para el campo magnético que se genera entre ellos:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{I_1}{x_1} + \frac{I_2}{x_2} \right) \tag{6-6}$$

- Corrientes paralelas $\Rightarrow I_1 = I_2$:

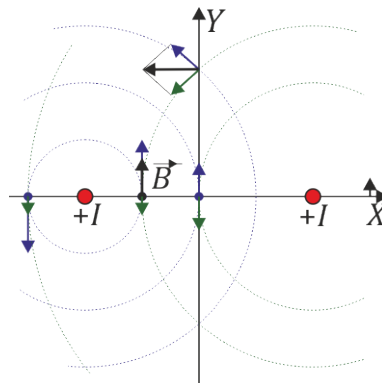


Ilustración 6-12: Suma de corrientes paralelas

El campo se anula en $x = 0$:

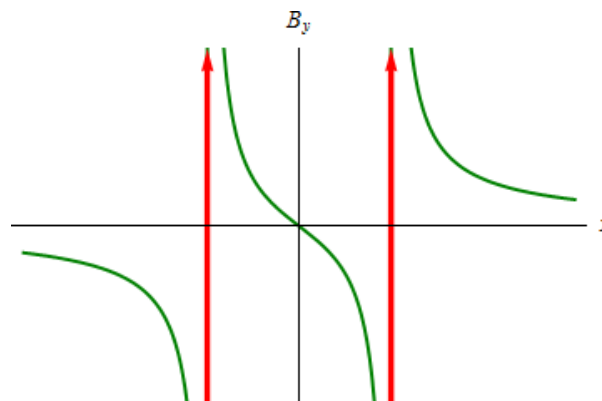


Ilustración 6-13: Campo creado por corrientes paralelas

- Corrientes antiparalelas $\Rightarrow I_1 = -I_2$:

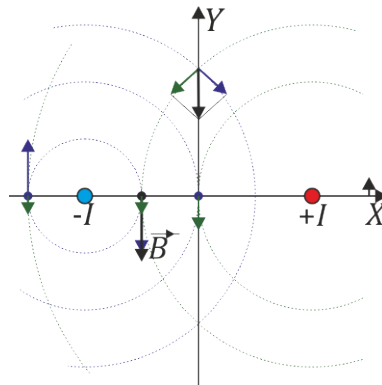


Ilustración 6-14: Suma de corrientes antiparalelas

En $x = 0$ se suman los dos campos individuales:

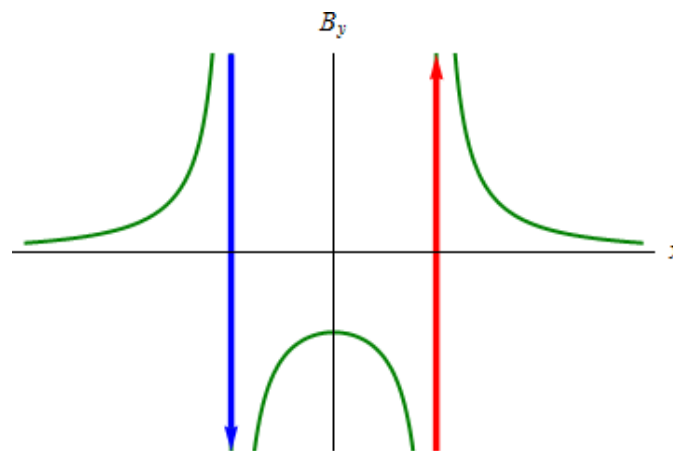


Ilustración 6-15: Campo creado por corrientes antiparalelas

En esta instalación, al ser los cables de 1855 W y tener una caída de potencial de 230 V, se tiene una intensidad de 8 A, se crean unos campos magnéticos del orden de 0.1 mT, que no es muy elevado pero es posible que algunas personas sean más propensas que otras a percibir su efecto. La instalación de la tira metálica para separar los cables en lugar de una simple tira de plástico ayudaría a disminuir la fuerza de estos campos.

6.4.4 Puesta en marcha

Después de la comprobación del correcto funcionamiento de los termostatos y una vez ha fraguado el mortero, se procede a la conexión del cableado de los elementos calefactores a sus respectivos termostatos.

Una vez hechas las conexiones se deja funcionar el termostato en modo manual hasta llegar a la temperatura de confort y se establece como temperatura de consigna para próximos periodos de funcionamiento.

6.5 Planos

En el plano 4 del Anexo I se representa una posible distribución de los cables calefactores en cada pasillo.

7 ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Para la realización de este estudio y tener una idea sobre los costes de este mercado se ha contactado con empresas que se dedican a este tipo de instalaciones de calefacción en España. Se ha tratado de dar soluciones reales, eligiendo tecnología existente y precios actuales, pues la idea de VEIASA, en caso de ser viable, es llevar a cabo una prueba piloto en la estación con alguno de los sistemas de calefacción que se han estudiado.

7.1 Empresas del sector

Para cada tipo de suelo se ha tenido un abanico de unas cuatro o cinco empresas, a saber:

- Suelo radiante por agua:
 - o ALB (Tarragona, Cataluña)
 - o BARBI (Palau de Plegamans, Cataluña)
 - o POLYTHERM (San Sebastián de los Reyes, Comunidad de Madrid)
 - o UPONOR (Andalucía Oriental)
- Suelo radiante eléctrico:
 - o AS (Barcelona, Cataluña)
 - o CEILHIT (Barcelona, Cataluña)
 - o DUCASA (Barcelona, Cataluña)
 - o EFICAZLOR (Andalucía)

Con todas ellas se ha contactado y han facilitado sus manuales técnicos de instalación y mantenimiento. También se les pidió la elaboración de unos presupuestos para conocer los precios actuales de los materiales necesarios para acometer una instalación como la que se estaba estudiando.

7.2 Costes de instalación

A modo orientativo se han elaborado unos presupuestos particularizados para la instalación en la estación de Baza en el que se incluyen las obras que son necesarias acometer, la fuente de calor y el depósito de combustible en el caso del suelo por agua y las protecciones en el caso del suelo eléctrico. En los Anexos se incluyen estos presupuestos detallados.

Los dos tipos de instalaciones comparten varios procesos en su ejecución, como el acondicionamiento del terreno y las imprimación y pintura al final de la obra. El acondicionamiento del terreno consiste en la excavación de las zanjas que alojarán el suelo radiante, que en el caso de ser eléctrico se reduce a los recorridos de evacuación pero que en el caso del suelo por agua incluyen también las zanjas que se deberían

practicar para conectar estos pasillos con los colectores de impulsión y de retorno. La imprimación y pintura en ambas instalaciones se realizará sobre las superficies de las zanjas que se hayan practicado y una vez se hayan rellenado nuevamente con el mortero hasta la cota de la nave.

El coste de estos dos capítulos del presupuesto es muy similar para los dos tipos de suelo. La gran diferencia se da en el apartado de la instalación, algo mayor en el caso del suelo por agua que en el eléctrico.

7.2.1 Suelo radiante por agua

Para el suelo radiante por agua ha sido necesario además, conocer, el precio de una caldera de condensación de la potencia que se requería y el suministro de combustible. En el apartado de selección de equipos se indicó que la caldera elegida sería de la marca Junkers, en concreto el modelo Cerapur Smart ZWB 28 – 3C, cuyo coste es de 849.9 €

En cuanto al suministro de combustible, se ha optado por una solución planteada en el estudio que realizara el ingeniero industrial Don Antonio Egea en 2015 acerca de un sistema de calefacción por radiadores a gas soportados en cubierta. Se trata de un contrato a 10 años en régimen de alquiler del depósito necesario con Repsol, quien se encargaría del suministro anual de propano y del mantenimiento del depósito, con un precio por el gas de 1.3614 €/kg. Este coste corresponde al de funcionamiento de la instalación. Lo que se imputa como coste de instalación es el coste de la obra civil necesaria para la instalación del depósito, el cual sería aéreo, por lo que resulta necesario un vallado perimetral, una bancada y una pequeña zanja para soterrar las canalizaciones para el combustible. Toda esta obra ascendería 2355.3 €

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE
01	ACONDICIONAMIENTO DE TERRENOS	1.377,24 €
02	INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE	6.432,98 €
03	PINTURAS ESPECIALES	1.230,00 €
TOTAL PRESUPUESTO		9.040,22 €

Tabla 7-1: Resumen del presupuesto del suelo radiante por agua

Una instalación de estas características rondaría los NUEVE MIL EUROS.

7.2.2 Suelo radiante eléctrico

El coste de una instalación de suelo radiante eléctrico es menor porque no existen elementos como la caldera o el depósito de combustible, además de que la obra que habría que acometer sería de menor envergadura. Según las especificaciones de partida, la instalación tendría un coste aproximado de SIETE MIL DOSCIENTOS EUROS.

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE
01	ACONDICIONAMIENTO DE TERRENOS	1.156,88 €
02	INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE	5.062,96 €
03	PINTURAS ESPECIALES	1.033,20 €
TOTAL PRESUPUESTO		7.253,04 €

Tabla 7-2: Resumen del presupuesto del suelo radiante eléctrico

7.3 Costes de operación y mantenimiento

Para el suelo radiante por agua, el coste de funcionamiento engloba el consumo de combustible anual. Los de mantenimiento serían los de la revisión anual de la caldera y el del abastecimiento de agua en las operaciones de limpieza, donde se vacía y se llena la instalación un par de veces en el año.

$$\xrightarrow{5.17} m_{f,anual} = 5879 \text{ L/año} \xrightarrow{1.3614 \text{ €/kg}} 4161.91 \text{ €/año}$$

El precio de la revisión de la caldera se puede tomar de cualquier factura doméstica puesto que la que se ha elegido podría encontrarse perfectamente en una vivienda. En cuanto al abastecimiento de agua, dado el poco volumen que se necesita resulta un coste despreciable.

Coste funcionamiento	4.161,91 €
Coste combustible	4.161,91 €
Coste mantenimiento	48,88 €
Coste revisión	48,13 €
Coste agua	0,75 €
Total Costes O&M	4.210,79 €

Tabla 7-3: Costes O&M del suelo radiante por agua

El coste de funcionamiento del suelo radiante eléctrico es el coste de la electricidad consumida mientras que no existiría ningún coste de mantenimiento. El precio del kWh en España para instalaciones de más de 10 kW de potencia es de aproximadamente 0.14 €

Coste funcionamiento	5.267,00 €
Coste electricidad	5.267,00 €
Coste mantenimiento	0,00 €
Total Costes O&M	5.267,00 €

Tabla 7-4: Costes O&M del suelo radiante eléctrico

7.4 Análisis de viabilidad

A la vista de los datos que recogen las tablas anteriores se observa que la inversión inicial en una instalación de suelo radiante por agua es mayor que en uno eléctrico; sin embargo, los costes O&M son menores en las primeras. En el siguiente gráfico se hace una comparación entre los costes iniciales de ambas instalaciones, donde se aprecia que la diferencia radica en lo que se corresponde al capítulo 02 de los presupuestos.

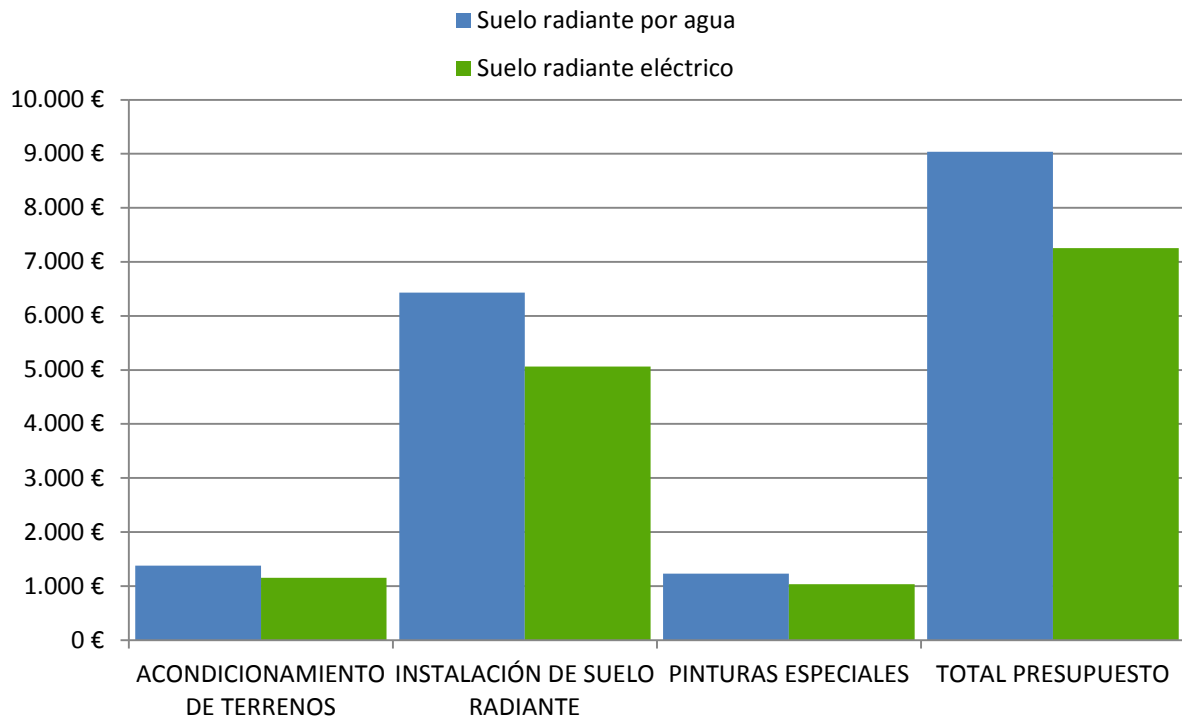


Ilustración 7-1: Gráfico comparación costes de instalación

Se puede hacer una comparación como la anterior para los costes de operación y mantenimiento. En esta ocasión resulta significativamente mayor el de la instalación del suelo eléctrico:

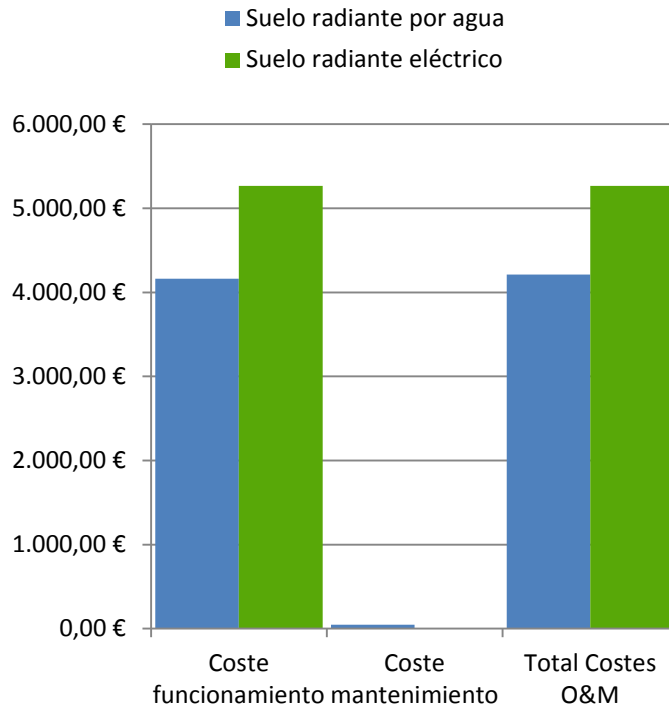


Ilustración 7-2: Gráfico comparación costes O&M

En este sentido se podría entender un horizonte temporal en el que la suma de costes de instalación y operación y mantenimiento del suelo radiante por agua llegara a ser inferior a la suma del suelo radiante

eléctrico.

Año	Suelo radiante por agua	Suelo radiante eléctrico	diferencia
1	9.040,22 €	7.253,04 €	1.787,18 €
2	13.251,01 €	12.520,04 €	730,97 €
3	17.461,80 €	17.787,04 €	-325,24 €
4	21.672,59 €	23.054,04 €	-1.381,45 €

Tabla 7-5: Actualización de los costes de la instalación

Para hacer esta simulación se ha tomado una inflación del 0%. Se puede ver cómo al tercer año, la suma de los costes de la instalación del suelo radiante eléctrico ya habría superado a los costes del suelo por agua. Que se hubiera tomado otro valor para la inflación no afecta a los plazos debido a la gran diferencia entre los costes de operación y mantenimiento de ambos sistemas.

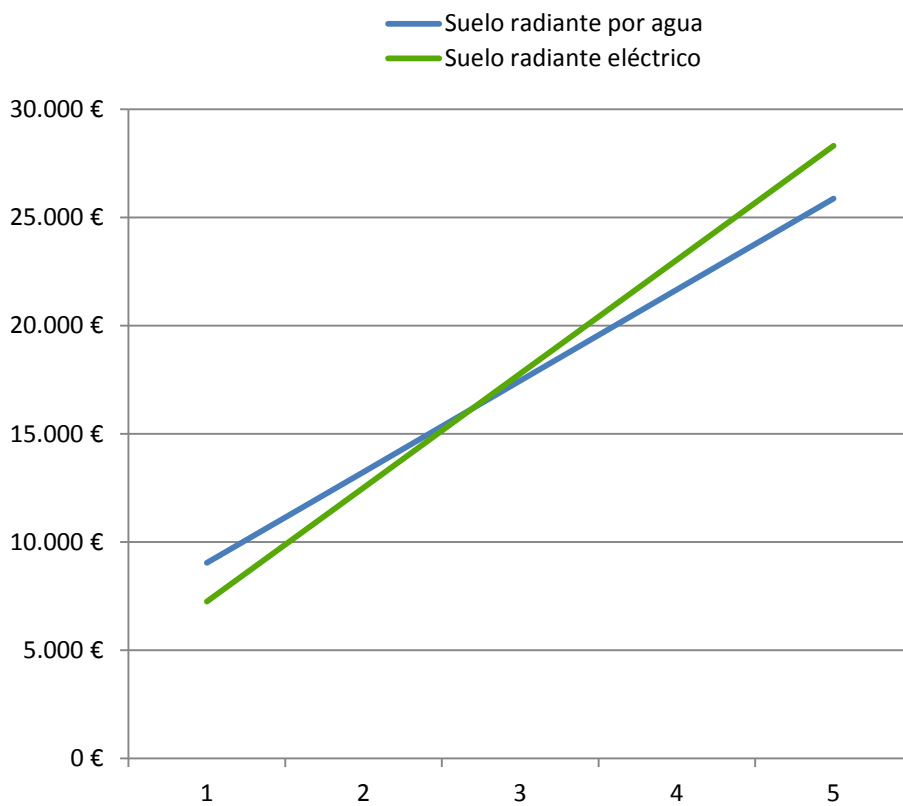


Ilustración 7-3: Gráfico de actualización de costes totales

8 CONCLUSIONES

Lo que se pretende con un sistema de calefacción por suelo radiante, además de radiar calor a la superficie del cuerpo humano, es conseguir unas condiciones confortables en la estancia en la que se instala. Esto se consigue en parte gracias al aumento de la temperatura radiante media debido a la temperatura de la superficie del propio suelo radiante y de la del resto de superficies, que se verán influenciadas por el aumento en la del suelo.

Las puertas abiertas de la nave en horario de trabajo, sumado a la corriente de aire frío que entra del exterior, hacen muy complicado que la temperatura radiante media suba considerablemente por encima de la temperatura ambiente en el interior de la nave. Tampoco ayuda que sea un espacio tan amplio, por lo que los factores de forma de las superficies que “ven” al suelo radiante son pequeños y por tanto el aporte de éste sobre ellas es mínimo.

Quizá en otra estación, con unas condiciones climáticas menos duras en invierno, este sistema de calefacción fuera una solución para la climatización.

El estudio no acaba aquí, pues existen más sistemas de calefacción para elegir el más apropiado con el que acometer la prueba piloto y, si todo marcha bien, implantarlo poco a poco en aquellas estaciones donde es necesario contrarrestar las condiciones de trabajo que se tienen en invierno.

8.1 Comparativa entre ambos sistemas

En cuanto al efecto conseguido por el hecho de instalar el sistema de calefacción no habría diferencia:

$$\text{Suelo radiante por agua} \rightarrow T_{rm} = 10.52 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Suelo radiante eléctrico} \rightarrow T_{rm} = 10.25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Es prácticamente la misma temperatura radiante media (una persona no percibe una diferencia de temperatura de un grado).

Con este sistema de calefacción el trabajador de la estación seguirá encontrándose en un ambiente desfavorable, pero ya no cede su energía a un ambiente a 8 °C, sino a uno que se encuentra a unos 11 °C, lo que supone una leve mejoría respecto a la situación inicial.

Una ventaja que tiene el suelo radiante por agua frente al eléctrico es la posibilidad de transportar agua fría para ser un sistema de refrigeración en verano, ya que el cable calefactor siempre aumentará su temperatura por efecto Joule.

Los costes que suponen estas instalaciones son asumibles, no así tanto la pérdida de actividad que tendría que haber en la nave durante los días de la obra. En el caso de la del suelo por agua, la instalación de los tres pasillos tendría que realizarse simultáneamente, paralizando la actividad por completo. En cambio, en el caso del suelo eléctrico, se podría acometer en tres fases independientes, paralizando sólo parcialmente la

actividad.

	Coste de instalación	Coste O&M
Suelo radiante por agua	9,040.22 €	4,210.79 €
Suelo radiante eléctrico	7,253.04 €	5,267.00 €

Tabla 8-1: Resumen de costes

Una instalación de suelo radiante de las características que se han comentado anteriormente, de unos 23 kW y un volumen de agua de unos 0.23 m³, supondría un coste de 9,040.22 € donde estarían incluidos la fuente de calor y el depósito de almacenamiento para el suministro del combustible. El coste de operación y mantenimiento sería de unos 4,210.79 €e incluiría el suministro anual de combustible, aproximadamente 3 T, y un mínimo mantemiento con la revisión de la caldera y la renovación del fluido de trabajo (en este caso, agua).

El otro caso, una instalación de suelo radiante eléctrico de unos 22 kW de potencia, ascendería a 7,253.04 € Su coste de operación y mantenimiento sería de 5,267.00 €anuales, lo que incluiría únicamente el coste de la electricidad debido al funcionamiento, ya que el mantenimiento de estas instalaciones es nulo.

En ambos casos se ha incluido el coste de la obra civil necesaria: excavación de zanjas de unos 10 cm de profundidad en los recorridos de evacuación y otras dos adicionales en el caso del suelo por agua.

8.2 Posibles mejoras

A continuación se proponen algunas alternativas a un sistema básico de suelo radiante, ya sea por agua o eléctrico, para ayudar a mejorar sus prestaciones.

8.2.1 Puertas cerradas

Si se cambiara el tipo de puertas de la nave por las puertas rápidas que se mencionaron al principio, sí limitaría en gran medida la infiltración de aire no controlado.

Sería necesario cambiar todo el mecanismo de apertura y cierre, ya que ahora estaría sometido a más ciclos de trabajo y los actuales no están diseñados o capacitados para ellos, aumentaría la fatiga y disminuiría la vida útil de dichos mecanismos.

Las puertas rápidas son capaces de abrir y cerrar en cuestión de segundos y podrían ser automáticas o manuales.

Habría que ver si los equipos de extracción podrían soportar la extracción total de gases, ya que se eliminaría la ayuda que tienen actualmente debido a la renovación del ambiente.



Ilustración 8-1: Puerta rápida en la Estación de El Pino (Sevilla)

8.2.2 Cortinas de plástico

Con esta alternativa se mantienen las puertas originales de la nave abiertas. Se trata de unas cortinas de plásticos como las que existen en las cámaras frigoríficas, precisamente para evitar las infiltraciones y que no se altere el ambiente interior.

Podrían estar instaladas inmediatamente después de las puertas de acceso.



Ilustración 8-2: Puerta batiente

La imagen es una fotografía de un tipo de cortina de plástico, en concreto una puerta batiente, que, al igual que las puertas rápidas, pueden ser automáticas o manuales.

8.2.3 Pasillos más anchos

En el apartado 4.5 del presente estudio se ha puesto de manifiesto el aumento del efecto radiante que tendría la instalación con unos pasillos que alojaran bien los tubos emisores, bien los cables calefactores, más anchos que los establecidos de 80 cm.

Véase la ilustración 4-7.

8.2.4 Cortinas de aire

La instalación de unas cortinas de aire a la entrada y salida de la nave de inspección podría hacer de

barrera invisible para evitar el flujo de aire hacia el interior.

Estas cortinas pueden incorporar una batería de agua caliente o resistencias eléctricas para que el aire de impulsión sea a alta temperatura y al mezclarse con el aire del ambiente, la temperatura resultante fuera mayor que los 6 °C que se tienen normalmente.

Aunque el aire de infiltración es elevado, con estas cortinas se podría disminuir la introducción de los 96 m³/s por puerta actuales o modificar su dirección para que golpee directamente a los trabajadores si se instalaran empotradas en el suelo e impulsaran el aire verticalmente.

Los inconvenientes serían el coste de funcionamiento de estos equipos, (mayor si incorporan las resistencias eléctricas) y la instalación auxiliar para el agua de abastecimiento en el caso de baterías de agua caliente.

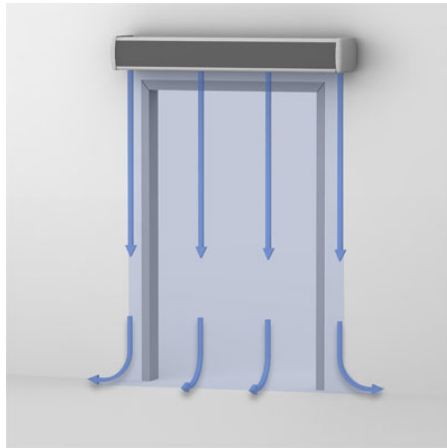
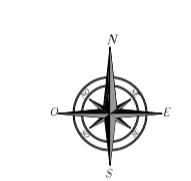
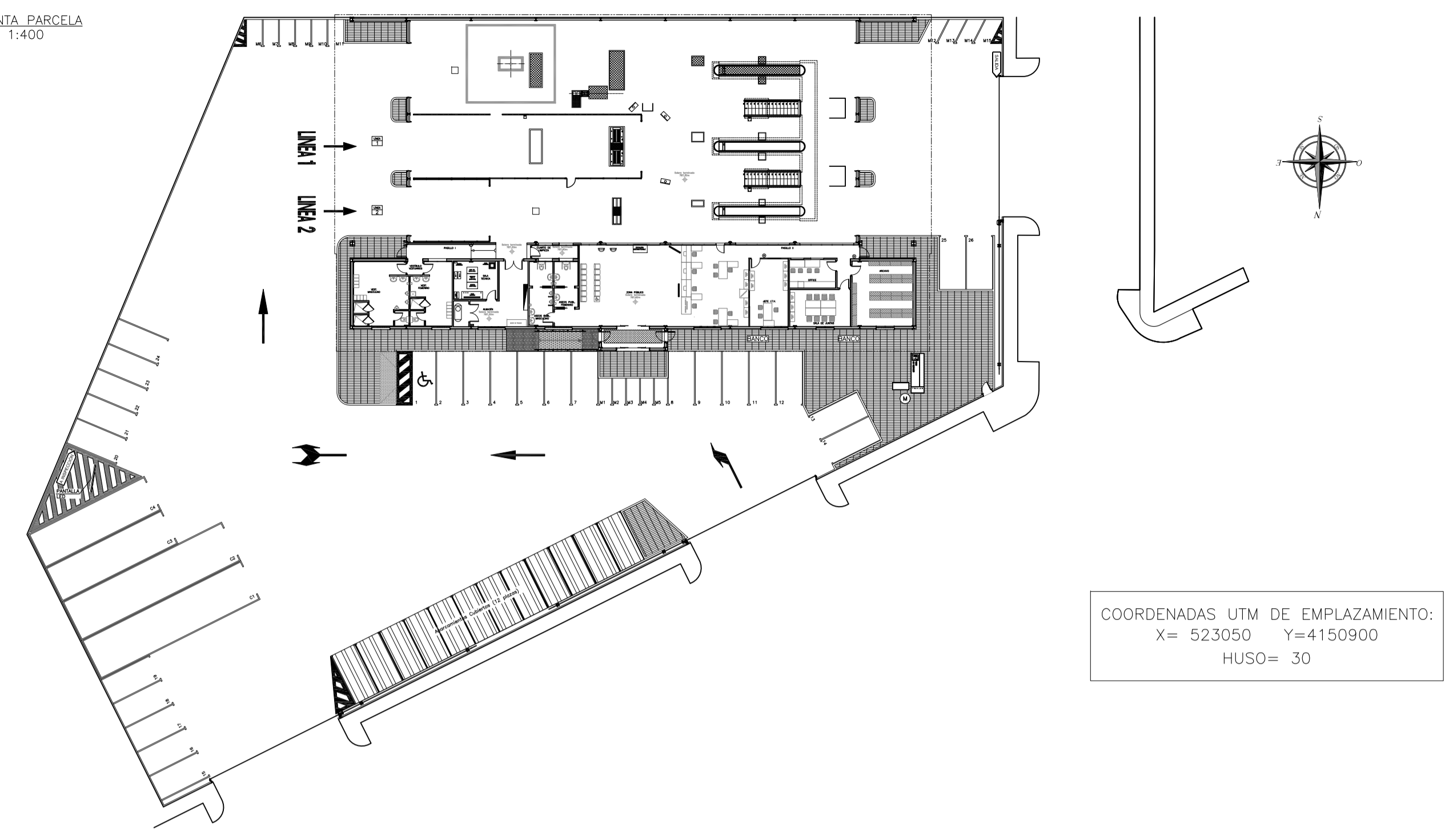


Ilustración 8-3: Cortina de aire

ANEXO I: PLANOS

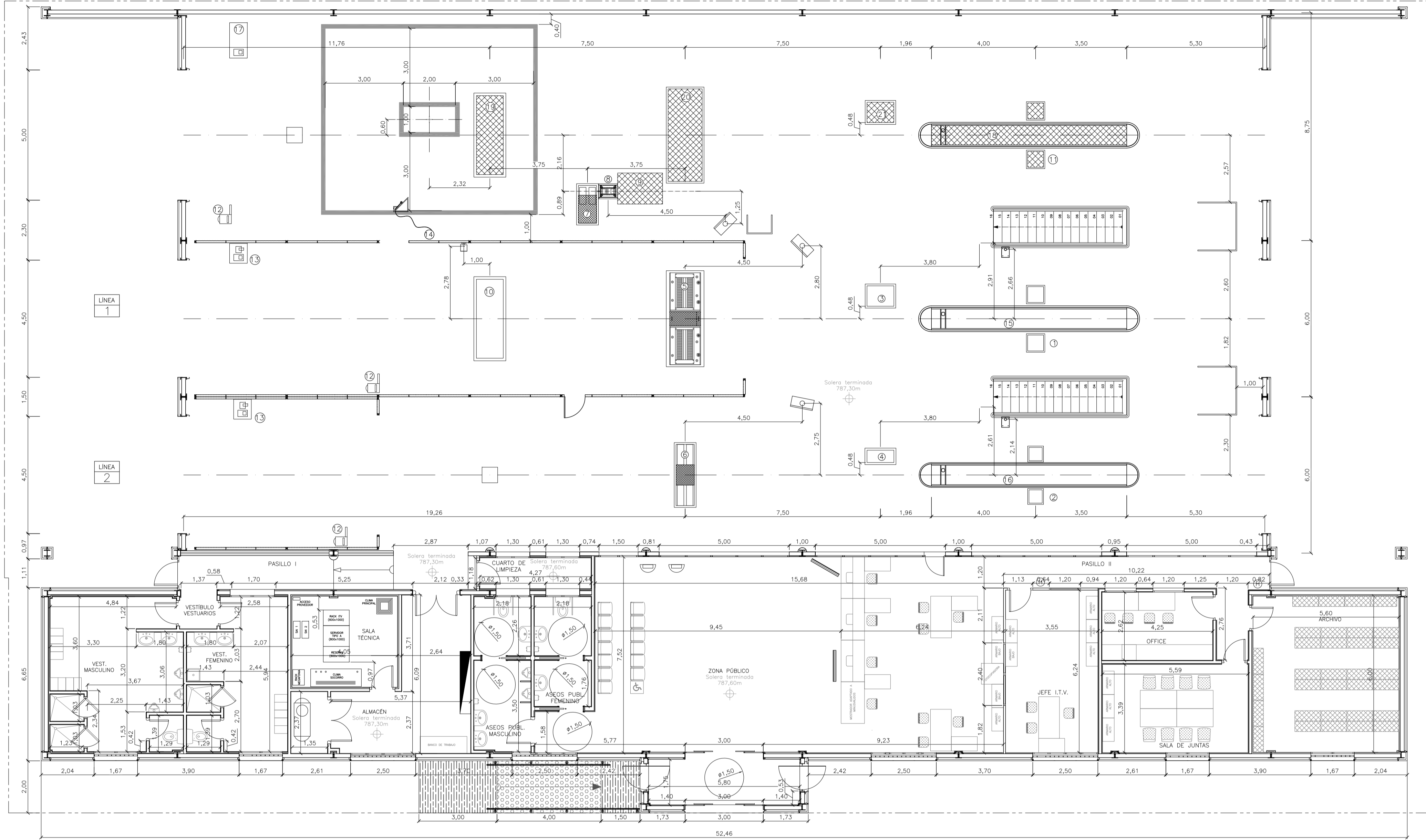


PLANTA PARCELA
Esc. 1:400

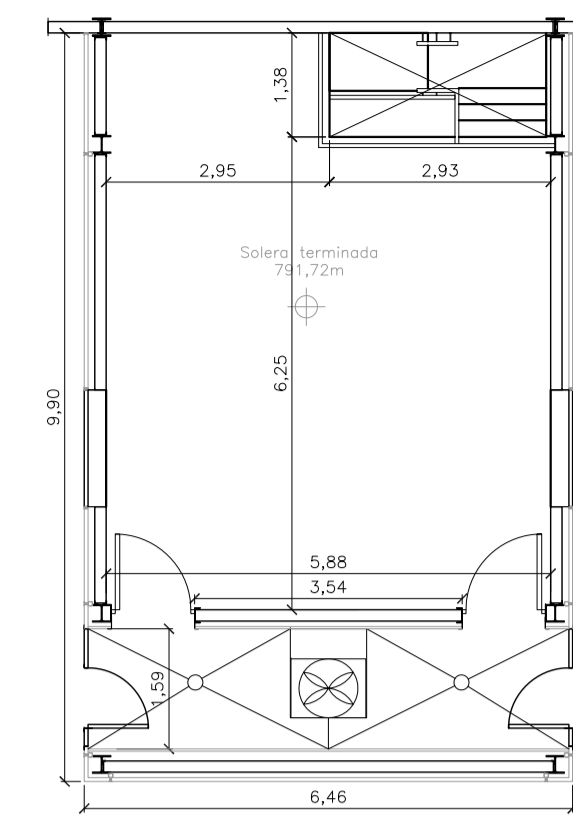


ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN EN ESTACIÓN PARA LA INSPECCIÓN TÉCNICA DE VEHÍCULOS (I.T.V.) EN BAZA (GRANADA)			
ZONA CONCESIONAL N°3 (GRANADA)			
ESCALA INDICADA	DENOMINACIÓN	SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	PLANO N° 1
DIBUJADO: MFR	COMPROBADO:	FECHA: SEVILLA, JUNIO DE 2016	
EL ALUMNO Fdo. MIGUEL ÁNGEL FERNÁNDEZ RUIZ		 Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales Escuela Técnica Superior de Ingeniería UNIVERSIDAD DE SEVILLA	

PLANTA NAVE DE INSPECCIÓN Y OFICINAS
Esc. 1:100

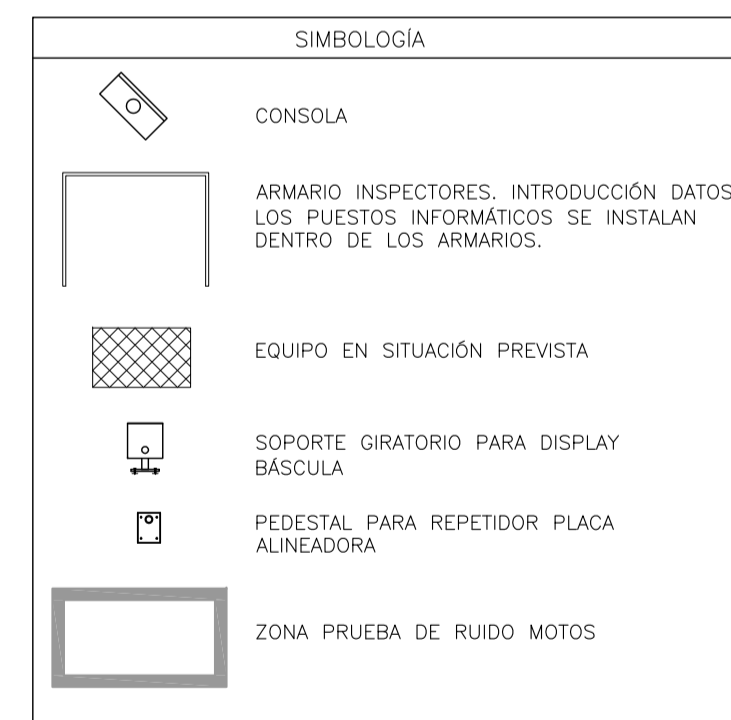


ENTREPLANTA
Esc. 1:100



CUADRO DE SUPERFICIES ÚTILES	
NAVE DE INSPECCIÓN	855,72m ²
PASILLO I	14,76m ²
ARCHIVO	33,55m ²
SALA DE JUNTAS	18,94m ²
OFFICE	11,12m ²
JEFE I.T.V.	21,08m ²
PASILLO II	15,42m ²
ZONA ADMINISTRACIÓN	46,91m ²
ZONA PÚBLICO	75,81m ²
ASEOS PÚBLICOS MAS.	12,72m ²
ASEOS PÚBLICOS FEM.	9,03m ²
CUARTO DE LIMPIEZA	5,06m ²
ALMACÉN	22,83m ²
SALA TÉCNICA	14,19m ²
SALA COMPRESOR	3,43m ²
VESTUARIO FEMENINO	20,70m ²
VESTUARIO MASCULINO	29,04m ²
VESTIBULO VESTUARIOS	2,32m ²
ENTRADA	11,15m ²
ENTREPLANTA	52,38m ²

CUADRO DE MAQUINARIA	
1	DETECTOR DE HOLGURAS UNIVERSAL
2	DETECTOR DE HOLGURAS LIGEROS
3	ALINEADOR DE DIRECCIÓN UNIVERSAL
4	ALINEADOR DE DIRECCIÓN LIGEROS
5	FRENÓMETRO UNIVERSAL
6	FRENÓMETRO LIGEROS
7	FRENÓMETRO DE MOTOS
8	VELOCÍMETRO CICLOMOTORES
9	PINZAS DE FRENADO MOTOS (S.P.)
10	BÁSCULA
11	DETECTOR DE HOLGURAS (S.P.)
12	REGLOSCOPIO
13	OPACÍMETRO Y ANALIZADOR DE 4 GASES
14	ARMARIO PRUEBA RUIDOS (SONÓMETRO + TACÓMETRO)
15	GATO MÓVIL UNIVERSAL
16	GATO MÓVIL LIGERO
17	ANALIZADOR DE 4 GASES
18	GATO MÓVIL UNIVERSAL (S.P.)
19	BÁSCULA (S.P.)
20	FRENÓMETRO (S.P.)
21	ALINEADOR DE DIRECCIÓN (S.P.)



ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN EN ESTACIÓN PARA LA INSPECCIÓN TÉCNICA DE VEHÍCULOS (I.T.V.) EN BAZA (GRANADA)			
ZONA CONCESIONAL N.º3 (GRANADA)			
ESCALA INDICADA	DENOMINACIÓN	COTAS, DISTRIBUCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS	PLANO N.º 2
DIBUJADO: MFR	COMPROBADO:	FECHA: SEVILLA, JUNIO DE 2016	
EL ALUMNO			
Fdo. MIGUEL ÁNGEL FERNÁNDEZ RUIZ		Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales Escuela Técnica Superior de Ingeniería UNIVERSIDAD DE SEVILLA	

PLANTA NAVE DE INSPECCIÓN
Esc. 1:200



ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN EN ESTACIÓN PARA LA
INSPECCIÓN TÉCNICA DE VEHÍCULOS (I.T.V.) EN BAZA (GRANADA)

ZONA CONCESIONAL N°3 (GRANADA)

ESCALA INDICADA	DENOMINACIÓN SUELO RADIANTE POR AGUA	PLANO N° 3
--------------------	---	---------------

DIBUJADO: MFR

COMPROBADO:

FECHA: SEVILLA, JUNIO DE 2016

EL ALUMNO

Fdo. MIGUEL ÁNGEL FERNÁNDEZ RUIZ



Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

PLANTA NAVE DE INSPECCIÓN
Esc. 1:200



ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN EN ESTACIÓN PARA LA
INSPECCIÓN TÉCNICA DE VEHÍCULOS (I.T.V.) EN BAZA (GRANADA)

ZONA CONCESIONAL N°3 (GRANADA)

ESCALA INDICADA	DENOMINACIÓN SUELO RADIANTE ELÉCTRICO	PLANO N° 4
--------------------	--	---------------

DIBUJADO: MFR

COMPROBADO:

FECHA: SEVILLA, JUNIO DE 2016

EL ALUMNO

Fdo. MIGUEL ÁNGEL FERNÁNDEZ RUIZ



Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

ANEXO II: CÁLCULOS

Estudio de viabilidad técnica:

Calor sensible y aumento de la temperatura del aire de infiltración: (EES)

- 1: {CÁLCULO DEL AUMENTO DE TEMPERATURA DEL AIRE POR EL HECHO DE PONER SUELO RADIANTE}
- 2: {SE TOMARÁ SOLAMENTE EL EFECTO DE UN PASILLO, ASI COMO EL AIRE DE INFILTRACIÓN QUE ENTRA SÓLO POR UNA PUERTA}
- 3:
- 4: {CALOR DE CONVECCION ENTRE EL SUELO Y EL AIRE}
- 5:
- 6: $Q=h*A*(T_s-T_{amb})/1000$ *{[kW]}*
- 7:
- 8: $h=5$ *{[W/m2-K]} "condiciones de conveccion natural"*
- 9: $A=42*0.8$ *{[m2]}*
- 10: $T_s=30$ *{[°C]} "maxima temperatura permitida por normativa"*
- 11: $T_{amb}=10$ *{[°C]} "temperatura supuesta para el interior de la nave" {existe una tabla parametrica donde se ve el aumento de la temperatura del aire en funcion de la temperatura del interior de la nave}*
- 12:
- 13: {todo el calor producido por el suelo es sensible}
- 14:
- 15: $Q=Q_S$
- 16:
- 17: {CALOR SENSIBLE DEL AIRE DE INFILTRACION EN UN VOLUMEN DE CONTROL QUE CONTIENE UN PASILLO Y UNA PUERTA}
- 18:
- 19: $Q_S=0.288*V_{AI}*DELTA T/860$ *{[kW]}*
- 20:
- 21: $V_{AI}=vel_{vie}*A_P*3600$ *{[m3/h]}*
- 22: $vel_{vie}=2$ *{[m/s]}*
- 23: $A_P=4*4$ *{[m2]}*

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

A = 33.6	$A_P = 16$	$\Delta T = 0.08709$
h = 5	$Q = 3.36$	$Q_S = 3.36$
$T_{amb} = 10$	$T_s = 30$	$vel_{vie} = 2$
$V_{AI} = 115200$		

Parametric Table: Table 1

	T_{amb}	ΔT	Q_S
Run 1	-2	0.1394	5.376
Run 2	-0.4444	0.1326	5.115
Run 3	1.111	0.1258	4.853
Run 4	2.667	0.119	4.592
Run 5	4.222	0.1123	4.331
Run 6	5.778	0.1055	4.069
Run 7	7.333	0.09871	3.808
Run 8	8.889	0.09193	3.547
Run 9	10.44	0.08516	3.285
Run 10	12	0.07839	3.024

Efecto radiante: (EES)

1: {CÁLCULO DEL AUMENTO DE LA TEMPERATURA MEDIA RADIANTE DE LA NAVE POR EL HECHO DE PONER SUELO RADIANTE}

2: {SE SIMPLIFICARA EL SISTEMA REDUCIENDOLO A UN PLANO Y LA PERSONA SE CONSIDERARA UN CIRCULO COLOCADO EN EL CENTRO DEL PASILLO Y A UNA ALTURA DE 1 METRO SOBRE EL SUELO}

3:

4: {SUPERFICIE 1: CUERPO HUMANO}

5:

6: $T_1=25$ $\{[K]\}$

7: $A_1=PI*(d/2)^2$ $\{[m^2]\}$

8: $d=1$ $\{[m]\}$

9: $H=1$ $\{[m]\}$

10: $\epsilon_1=0.7$

11:

12: {SUPERFICIE 2: PASILLO}

13:

14: $T_2=30$ $\{[K]\}$

15: $W=0.8$ $\{[m]\}$

16: $\epsilon_2=1$ "cuerpo negro"

17:

18: {SUPERFICIE 3: RESTO DE SUPERFICIES}

19:

20: $T_3=6$ $\{[K]\}$

21: $T_3=(T_B*(L_B-3*W)+T_C*L_C+T_S*L_S+T_N*L_N+T_2*3*W)/L_T$ $\{[K]\}$

22: $T_B=6.5$ $\{[^\circ C]\}$ "temperatura de la base de la nave"

23: $L_B=22$ $\{[m]\}$

24: $T_C=10$ $\{[^\circ C]\}$ "temperatura de la cubierta"

25: $L_C=22$ $\{[m]\}$

26: $T_S=7$ $\{[^\circ C]\}$ "temperatura de la fachada sur"

27: $L_S=6$ $\{[m]\}$

28: $T_N=10$ $\{[^\circ C]\}$ "temperatura de la fachada norte"

29: $L_N=6$ $\{[m]\}$

30: $L_T=L_B+L_C+L_S+L_N$

31: $\epsilon_3=1$ "cuerpo negro"

32:

33: {INTERCAMBIO RADIANTE}

34:

35: $QRD_1=(\sigma*(T_1+273)^4-J_1)/((1-\epsilon_1)/(A_1))$ $\{[W]\}$

36:

37: {QRD_1=0 "ecuacion para obtener la temperatura minima del suelo radiante para que el flujo de calor fuera negativo"}

38:

39: $J_1=\epsilon_1*\sigma*(T_1+273)^4+(1-\epsilon_1)*(F_{11}*J_1+F_{12}*J_2+F_{13}*J_3)$ $\{[W/m^2]\}$

40: $J_2=\epsilon_2*\sigma*(T_2+273)^4$ $\{[W/m^2]\}$

41: $J_3=\epsilon_3*\sigma*(T_3+273)^4$ $\{[W/m^2]\}$

42:

43: $F_{11}=0$

44: $F_{12}=(2*\alpha)/(360)$

45: $F_{13}=1-F_{11}-F_{12}$

46:

47: $\alpha=\arctan((W/2)/(H+d/2))$

48:

49: {para calcular la temperatura radiante media equivalente habria que hacer un modelo en el que solo existieran las superficies 1 y 3 y el intercambio de calor sera QRD_1}

50:

51: $QRD_1=\epsilon_1*A_1*\sigma*((T_1+273)^4-(T_{rm_eq}+273)^4)$ $\{[W]\}$ "intercambio radiante en un recinto con dos superficies (una de ellas considerada negra)"

52:

53: $\Delta T=T_{rm_eq}-T_3$

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$\alpha = 14.93$

$\Delta T = 1.895$

$\varepsilon_3 = 1$

$F_{13} = 0.917$

$J_2 = 477.9$

$L_C = 22$

$L_T = 58$

$T_2 = 30$

$T_C = 10$

$T_S = 7$

$A_1 = 0.7854$

$\varepsilon_1 = 0.7$

$F_{11} = 0$

$H = 1$

$J_3 = 360.2$

$L_N = 6$

$QRD_1 = 42.46$

$T_3 = 9.311$

$T_N = 10$

$W = 0.8$

$d = 1$

$\varepsilon_2 = 1$

$F_{12} = 0.08295$

$J_1 = 424$

$L_B = 22$

$L_S = 6$

$T_1 = 25$

$T_B = 6.5$

$T_{m,eq} = 11.21$

Parametric Table: Table 2

	T_2	T_3	$T_{m,eq}$	ΔT
Run 1	15	8.668	9.21	0.5417
Run 2	16.67	8.739	9.423	0.6834
Run 3	18.33	8.811	9.638	0.8272
Run 4	20	8.882	9.855	0.9732
Run 5	21.67	8.954	10.07	1.121
Run 6	23.33	9.025	10.3	1.272
Run 7	25	9.096	10.52	1.424
Run 8	26.67	9.168	10.75	1.579
Run 9	28.33	9.239	10.98	1.736
Run 10	30	9.311	11.21	1.895

Diseño y simulación:

Suelo radiante por agua: (EES y MatLab)

```

1: {SE HARA UN DISEÑO SEGUN LA NORMATIVA UNE EN - 1264 PARA SUELO RADIANTES POR AGUA}
2:
3: {segun esta norma, el suelo que nos ocupa es tipo A: sistema con tubos dentro del pavimento}
4:
5: "PROPIEDADES"
6:
7: cond_hor=1.63 {[W/m-K]} "conductividad termica del hormigon"
8: cp_w=4180 {[J/kg-K]}
9: dens_w=1000 {[kg/m3]}
10:
11: "PARAMETROS DE DISEÑO"
12:
13: w_pasillo=0.8 {[m]} "ancho del pasillo"
14: esp_bp=0.025 {[m]} "espesor banda perimetral (comun en todos los fabricantes)"
15: esp_min_disp=0.225 {[m]} "espacio minimo disponible: se da en la linea de motos desde el hueco previsto para la bancada del frenometro hasta el final del pasillo"
16: n_L_T-1=(esp_min_disp-2*esp_bp-D)/(D+0.01) "numero de lineas teorico"
17: n_L=round(n_L_T) "numero de circuitos por pasillo"
18: (w_pasillo-2*esp_bp-D)/(D+T)=n_L-1 {[m]} "paso de tubos" {el paso de tubos vendra dado por el numero de circuitos de cada linea}
19: s_u=0.06 {[m]} "espesor de la losa de mortero"
20: D=0.02 {[m]} "diametro del tubo"
21: esp_tubo=0.002 {[m]} "espesor del tubo"
22: T_imp=55 {[°C]} "temperatura de impulsión del agua"
23: T_ret=T_imp-5 {[°C]} "temperatura de retorno del agua"
24: T_amb=6 {[°C]} "temperatura del interior de la nave"
25: T_smax=30 {[°C]} "temperatura maxima del suelo radiante"
26: A_F=42*0.8 {[m2]} "área de la zona a calefactar"
27:
28: "DENSIDAD DE FLUJO TERMICO"
29:
30: q=K_H*DELTAT_FL {[W/m2]}
31:
32: K_H=B*a_B*(a_T^m_T)*(a_u^m_u)*(a_D^m_D) {[W/m2-K]} "coeficiente de transmisión termica equivalente"
33: DELTAT_FL=(T_imp-T_ret)/ln((T_imp-T_amb)/(T_ret-T_amb)) {[°C]} "diferencia de temperatura entre el fluido de calefacción y el local"
34:
35: B=B_0
36: B_0=6.7 {[W/m2-K]} "coeficiente característico del sistema"
37:
38: a_B=(1/alpha+s_u/lambda_u0)/(1/alpha+s_u/lambda_E+R_lambdaB) "factor de revestimiento del suelo"
39: alpha=10.8 {[W/m2-K]} "coeficiente de transmisión termica"
40: lambda_u0=1 {[W/m-K]}
41: s_u0=0.045 {[m]}
42: R_lambdaB=s_u/cond_hor {[m2-K/W]} "resistencia termica del suelo"
43: lambda_E=cond_hor {[W/m-K]} "conductividad termica de la placa"
44:
45: (a_T-1.23)/(R_lambdaB-0)=(1.118-1.23)/(0.05-0) "factor de paso" {interpolación de la TABLA A.1}
46: m_T=1-T/0.075
47:
48: a_u=1.05107 "factor de recubrimiento" {interpolación de la TABLA A.2 hecha con la función de excel}
49: m_u=100*(0.045-s_u)
50:
51: a_D=1.03101 "factor del diametro exterior del tubo" {interpolación de la TABLA A.3 hecha con la función de excel}
52: m_D=250*(D-0.020)
53:
54: "LIMITES DE LA DENSIDAD DE FLUJO TERMICO"
55:
56: q_G=phi*B_G*(DELTAT_FLG/phi)^n_G {[W/m2]}
57:
58: B_G=81.97770 {interpolación de la TABLA A.4a hecha con la función de excel}

```

59: $\phi = (T_{smax} - T_{amb})/9$
 60: $n_G = 0.05594$ {interpolacion de la TABLA A.5a hecha con la funcion de excel}
 61: $\Delta T_{FLG} = \phi * (B_G / K_H)^{(1/(1-n_G))}$ {°C} "diferencia de temperatura limite entre el medio y el del local"
 62:
 63: "DISEÑO"
 64:
 65: $\sigma = T_{imp} - T_{ret}$
 66: $T_{med} = (T_{imp} + T_{ret})/2$
 67: $criterio1 = \sigma / \Delta T_{AT_FL}$
 68: $\Delta T_{AT_FL_dis} = \Delta T_{AT_FL} + \sigma/2$
 69:
 70: $m_H = A_F * q / \sigma_{cp_w}$ {kg/s} "caudal masico de agua maximo de diseño segun normativa"
 71:
 72: $m_{HV} = m_H * 3600$ {L/h}
 73:
 74: $v_H = m_H / (PI * (D - 2 * esp_tubo)^2 / 4 * dens_w)$ {m/s} "velocidad maxima de diseño aplicando normativa"
 75:
 76: {-----FINAL NORMATIVA-----}
 77:
 78: {-----DISEÑO-----}
 79:
 80: $q_{gen_w} = q$ {W/m²} "generacion de un circuito: se tomara la maxima permitida por la norma"
 81: $\{q_pas = n_L * q_C$ {W/m²} "densidad de flujo de calor por pasillo" {se tomara este valor para la generacion en las funciones de matlab}
 82: $Q_{tubo} = m_w * cp_w * \sigma$ {W} "potencia que disipa un circuito"
 83: $q_{gen_w} = n_L * Q_{tubo} / A_F$ {W/m²} "generacion que se tiene debajo de la losa, tiene que ser menor que q por norma"
 84:
 85: $Q_T = q_{gen_w} * 3 * A_F$ {W} "potencia total de la instalacion"
 86: $A = L * perimetro$ {m²}
 87: $A_{int} = PI * (D - 2 * esp_tubo)^2 / 4$ {m²} "seccion interior de los tubos"
 88: $perimetro = PI * D$ {m} "perimetro del tubo"
 89: $L = 40.08$ {m} "longitud disponible en el pasillo despues de hacer la zanja para que lleguen los tubos"
 90: $m_{dis} = m_w$ {kg/s} "caudal masico de diseño"
 91: $v_{dis} = m_w / (PI * (D - 2 * esp_tubo)^2 / 4 * dens_w)$ {m/s} "velocidad de diseño"
 92:
 93: $rend_K = 1.1$ "rendimiento de la caldera de condensacion"
 94: $rend_K = Q_T / P_K$ {W} "potencia requerida a la caldera"
 95: $P_K = m_f * PCI$ {kg/s} "caudal masico de combustible"
 96: $PCI = 45.27 * 10^6$ {J/kg} "poder calorifico inferior del propano"
 97: $NHF = 14$ {h/dia} "numero de horas de funcionamiento: sacado de matlab"
 98: $consumo_f = m_f / dens_prop * 3600 * NHF$ {L/dia} "consumo diario de combustible"
 99: $dens_prop = 0.52$ {kg/L}
 100: $total_f = consumo_f * 130$ {L/año}

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

A = 2.518

aD = 1.031

aT = 1.148

B0 = 6.7

consumor = 45.22 [L/dia]

D = 0.02

 $\Delta T_{FL_dis} = 48.96$ esp_{cp} = 0.025

KH = 4.962

 $\lambda_{u0} = 1$ m_r = 0.0004666m_T = -0.68

NHF = 14

n_{L,T} = 6.167 $\phi = 2.667$ q_G = 258.1 [W/m²]Q_{tubo} = 1291 $\sigma = 5$

T = 0.126

T_{imp} = 55T_{smax} = 30w_{pasillo} = 0.8 $\alpha = 10.8$ A_F = 33.6a_u = 1.051B_G = 81.98cp_w = 4180 $\Delta T_{FL} = 46.46$ dens_{prop} = 0.52esp_{min,disp} = 0.225

L = 40.08

m_D = 0m_H = 0.3706 [kg/s]m_u = -1.5n_G = 0.05594

PCI = 4.527E+07

P_K = 21123 [W]q_{gen,w} = 230.5rend_K = 1.1s_u = 0.06total_f = 5879 [L/año]T_{med} = 52.5V_{dis} = 0.3072a_B = 0.8763A_{int} = 0.0002011

B = 6.7

cond_{hor} = 1.63

criterio1 = 0.1076

 $\Delta T_{FLG} = 52.02$ dens_w = 1000esp_{tubo} = 0.002 $\lambda_E = 1.63$ m_{dis} = 0.06176m_{HV} = 1334m_w = 0.06176n_L = 6

perimetro = 0.06283

q = 230.5 [W/m²]Q_T = 23235 [W]R_{lambdab} = 0.03681s_{u0} = 0.045T_{amb} = 6 [°C]T_{ret} = 50v_H = 1.843

Parametric Table: Table 1

	T_{amb} [°C]	Q_T [W]	consumo _r [L/día]	total _r [L/año]	P_K [W]
Run 1	0	26239	51.07	6639	23853
Run 2	0.8889	25794	50.2	6527	23449
Run 3	1.778	25349	49.34	6414	23044
Run 4	2.667	24904	48.47	6301	22640
Run 5	3.556	24459	47.61	6189	22235
Run 6	4.444	24014	46.74	6076	21831
Run 7	5.333	23569	45.87	5964	21426
Run 8	6.222	23124	45.01	5851	21022
Run 9	7.111	22679	44.14	5738	20617
Run 10	8	22234	43.28	5626	20213

```

%%PROGRAMA PARA EL DISEÑO DEL SUELO RADIANTE POR AGUA
%%se trata de calcular el consumo de energia por parte del suelo para que
%%la superficie se encuentre a la temperatura de servicio en los horarios
%%que se plantearan

close all
clear
clc

% PROBLEMA DEL DISEÑO DE LA INSTALACION

%%DATOS

T_amb_med=4.69; %[°C]
T_amb_min=-1; %[°C]
T_amb_max=10.69; %[°C]

T_int=6; % [°C]

T_suelo_max=29; %[°C] temperatura maxima del suelo

horas_estacion=12; %[horas] 7.45 - 19.45

A_losa=42*0.8; % [m2] area de la losa de mortero

cp_w=4180; %[J/kg-K]
dens_w=1000; %[kg/m3]

cond_air=0.02474; % [W/m-K] conductividad termica del aire

cond_mor=1.4; %conductividad del mortero [W/m-K]
cond_pol=0.4; %conductividad del polietileno [W/m-K]

%-----%

%%variables de diseño

d_tubo=20; %%[mm] diametro del tubo
esp_tubo=2; % [mm] espesor del tubo
L_tubo=40.08; %%[m] longitud del tubo por pasillo, sacada del excel y AutoCAD
vel_dis=0.3072; %%[m/s] velocidad de diseño
esp_agua_min=0.04; %%[m] espesor minimo de la losa de mortero para suelo radiante por
agua

T_imp=55; %%[°C] "Temperatura maxima de impulsión del agua"
T_ret=T_imp-5; %%[°C] "diferencia maxima de temperatura"

%-----%

Area=L_tubo*pi*d_tubo*10^(-3); % [m2]
T_media=(T_imp+T_ret)/2;
T_amb=T_amb_med;
DELTA_T=T_media-T_amb;

esp_pol=esp_tubo;

```



```

esp_mor=0.05;

m_w=vel_dis*pi*((d_tubo-2*esp_tubo)/1000)^2/4*dens_w; % [kg/s] caudal masico de agua
G=6*m_w*cp_w*(T_imp-T_ret)/A_losa % [W/m2] generacion creada por el agua en el lado
inferior de la losa
% SE INTRODUCIRA ESTE VALOR DE LA GENERACION EN LAS FUNCIONES DEL CALCULO
% DE LOS CAMPOS DE TEMPERATURA

funcionamiento=3600*24; % estimacion del numero de horas que estaria en funcionamiento
la caldera
intervalo=funcionamiento/200; % numero de componentes del vector tiempo en la funcion
campo_T

T=campo_T(esp_mor,funcionamiento,intervalo); % matriz de 90 filas y 40 columnas, donde
se almacena en cada elemento
% la temperatura a la altura j y en el instante i

figure
enfriamiento(esp_mor) % enfriamiento de la losa al final del dia

function sol=campo_T(esp,fun,intervalo)

m = 0;
x = linspace(0,esp,40);
t = linspace(0,fun,intervalo);

sol = pdepe(m,@pdexlpde,@pdexlic,@pdexlbc,x,t);
u = sol(:,:,1);

surf(x,t,u)
title('Campo de Temperaturas')
xlabel('Espesor')
ylabel('Tiempo')

end

% -----

function [c,f,s] = pdexlpde(x,t,u,DuDx)
c = 10^7/7.409;
f = DuDx;
s = 0;
end

% -----

function u0 = pdexlic(x)
u0 = 6.5;
end

% -----

function [pl,ql,pr,qr] = pdexlbc(xl,ul,xr,ur,t)
pl = 230.5/1.63; % el numerador es la generacion superficial que crea el agua
ql = 1;
pr = (11.83)/1.63*(ur-4);
qr = 1;
end

```

Suelo radiante electrico: (EES y MatLab)

```

1: {DISEÑO DE INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE ELÉCTRICO}
2:
3: {DATOS}
4:
5: T_min=6 {[cm]} "paso minimo recomendado"
6: esp_min_disp=22.5 {[cm]} "espacio entre la bancada del frenometro y una arqueta de registro en linea de motos"
7: esp_bp=2.5 {[cm]} "espesor banda perimetral"
8: w_pasillo=80 {[cm]} "anchura del pasillo"
9: D=0.7 {[cm]} "diametro del cable"
10: n_L_T-1=(esp_min_disp-2*esp_bp-D)/(D+4)
11:
12: P_pasillo=4*1.855 {[kW]}
13: P_TOTAL=3*P_pasillo {[Kw]}
14:
15: coste_funcionamiento=precio_kWh*NHF*P_TOTAL {[€/año]}
16: precio_kWh=0.13 {[€/kWh]}
17: NHF=130*14 {[h/año]}

```

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

coste_funcionamiento = 5267

esp_bp = 2.5

NHF = 1820

precio_kWh = 0.13

P_TOTAL = 22.26

w_pasillo = 80

D = 0.7

esp_min_disp = 22.5

n_L_T = 4.574

P_pasillo = 7.42

T_min = 6

```

%%PROGRAMA PARA EL DISEÑO DEL SUELO RADIANTE ELECTRICO
%%se trata de calcular el consumo de energia por parte del suelo para que
%%la superficie se encuentre a la temperatura de servicio en los horarios
%%que se plantearan

close all
clear
clc

% PROBLEMA DEL DISEÑO DE LA INSTALACION

%%DATOS

T_amb_med=4.69; %[°C]
T_amb_min=-1; %[°C]
T_amb_max=10.69; %[°C]

T_int=6; % [°C]

T_suelo_max=29; %[°C] temperatura maxima del suelo

horas_estacion=12; %[horas] 7.45 - 19.45

A_losa=42*0.8; % [m2] area de la losa de mortero

cp_w=4180; %[J/kg-K]
dens_w=1000; %[kg/m3]

cond_air=0.02474; % [W/m-K] conductividad termica del aire

cond_mor=1.4; %conductividad del mortero [W/m-K]

%-----%

%%variables de diseño

d_cable=7; % [mm]
L_cable=104; % [m] misma longitud que el total por pasillo de agua
GL=18.19; % [W/m] generacion lineal del cable calefactor
esp_elec_min=0.04; % [m] espesor mínimo de la losa de mortero para suelo radiante
electrico
n_c=4 % numero de cables por pasillo

T_ope=40; % [°C] Temperatura de operacion del cable

%-----%

Area_cable=L_cable*pi*d_cable*10^(-3); % [m2]
T_amb=T_amb_med;
DELTA_T=T_ope-T_amb;
Area=42*0.8 % [m2]

esp_mor=0.04;

G=n_c*GL*L_cable/Area % [W/m2] generacion creada por el cable en el lado inferior de la

```

```

losa
% SE INTRODUCIRA ESTE VALOR DE LA GENERACION EN LAS FUNCIONES DEL CALCULO
% DE LOS CAMPOS DE TEMPERATURA

funcionamiento=3600*24; % estimacion del numero de horas que estaria en funcionamiento
la caldera
intervalo=funcionamiento/200; % numero de componentes del vector tiempo en la funcion
campo_T

T=campo_T_elec(esp_mor,funcionamiento,intervalo); % matriz de 90 filas y 40 columnas,
donde se almacena en cada elemento
% la temperatura a la altura j y en el instante i

figure
enfriamiento_elec(esp_mor) % enfriamiento de la losa al final del dia

function sol=campo_T_elec(esp,fun,intervalo)

m = 0;
x = linspace(0,esp,40);
t = linspace(0,fun,intervalo);

sol = pdepe(m,@pdex1pde,@pdex1ic,@pdex1bc,x,t);
u = sol(:, :, 1);

surf(x,t,u)
title('Campo de Temperaturas')
xlabel('Espesor')
ylabel('Tiempo')
end

% -----

function [c,f,s] = pdex1pde(x,t,u,DuDx)
c = 10^7/7.409;
f = DuDx;
s = 0;
end

% -----

function u0 = pdex1ic(x)
u0 = 6.5;
end

% -----

function [pl,ql,pr,qr] = pdex1bc(xl,ul,xr,ur,t)
pl = 225.2095/1.63; % el numerador es la generacion superficial
ql = 1;
pr = (11.83)/1.63*(ur-4);
qr = 1;
end

```

ANEXO III: DATOS DE LA INSTALACIÓN DE AGUA

20	diámetro del tubo (mm)
0,0003142	sección tubo (m ²)
0,0002011	sección interior (m ²)
0,063	perímetro del tubo (m)
1151,32	longitud tubo presupuesto (m)
240,48	longitud tubo por pasillo (m)
0,231	volumen de agua de la instalación (m ³)
231,49	volumen de agua de la instalación (L)
0,048	volumen de agua por pasillo (m ³)
48,351	volumen de agua por pasillo (L)
0,0081	volumen de agua por circuito (m ³)
8,059	volumen de agua por circuito (L)
15,110	área de intercambio tubo-losa (m ²)
44,970	porcentaje área cubierto con tubos (%)
0,307	velocidad del fluido (m/s)
0,222	caudal volumétrico (m ³ /h)
222,358	caudal volumétrico (L/h)
0,062	caudal másico (kg/s)
13,047	periodo de renovación del fluido (min)

Tabla III-1

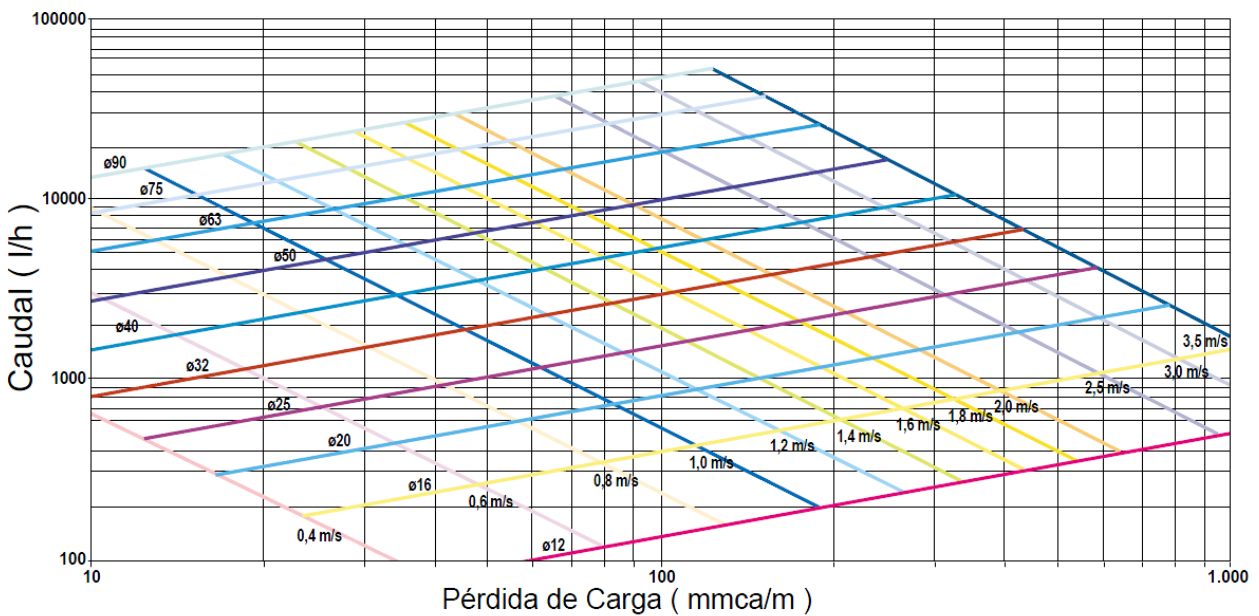


Ilustración III-1: Diagrama de pérdida de carga en tuberías de polietileno reticulado

PASILLO	CIRCUITO	LONGITUD (m)	DIAMETRO (mm)	CAUDAL (l/s)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL (l/h)	PERDIDAS (mmca)
1	COLECTOR	0,5	25	0,3706	1,0700	1334,150	35
	1	75,08	20	0,0618	0,3072	222,358	170,16
	2	75,08	20	0,0618	0,3072	222,358	170,16
	3	75,08	20	0,0618	0,3072	222,358	170,16
	4	75,08	20	0,0618	0,3072	222,358	170,16
	5	75,08	20	0,0618	0,3072	222,358	170,16
	6	75,08	20	0,0618	0,3072	222,358	170,16
2	COLECTOR	0,5	25	0,3706	1,0700	1334,150	35
	1	60,98	20	0,0618	0,3072	222,358	141,96
	2	60,98	20	0,0618	0,3072	222,358	141,96
	3	60,98	20	0,0618	0,3072	222,358	141,96
	4	60,98	20	0,0618	0,3072	222,358	141,96
	5	60,98	20	0,0618	0,3072	222,358	141,96
	6	60,98	20	0,0618	0,3072	222,358	141,96
3	COLECTOR	0,5	25	0,3706	1,0700	1334,150	35
	1	48,98	20	0,0618	0,3072	222,358	117,96
	2	48,98	20	0,0618	0,3072	222,358	117,96
	3	48,98	20	0,0618	0,3072	222,358	117,96
	4	48,98	20	0,0618	0,3072	222,358	117,96
	5	48,98	20	0,0618	0,3072	222,358	117,96
	6	48,98	20	0,0618	0,3072	222,358	117,96
IDA		20,04	32	1,1118	1,8056	4002,451	2004
RETORNO		20,04	32	1,1118	1,8056	4002,451	2004
TOTAL		1151,82					

Tabla III-2

El circuito con la pérdida de presión más desfavorable es cualquiera del pasillo 1 y es de unos 4.21 mca, unos 0.413 bar.

ANEXO IV: PRESUPUESTOS

Presupuesto para suelo radiante eléctrico

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 01 ACONDICIONAMIENTO DE TERRENOS				
01.01	<i>m3 EXC. ZANJAS, TIERRAS C. MEDIA, M. MECÁNICOS, PROF MÁX. 4 M</i>			
EXCZAN.001	EXCAVACIÓN EN ZANJAS, EN TIERRAS DE CONSISTENCIA MEDIA, REALIZADA CON MEDIOS MECÁNICOS HASTA UNA PROFUNDIDAD MÁXIMA DE 4 M, INCLUSO EXTRACCIÓN DE LOS BORDES Y PERFILADO DE FONDOS Y LATERALES. MEDIDO EL VOLUMEN EN PERFIL NATURAL.	12	4,17	50,04
01.02	<i>m3 TRANSPORTE TIERRAS VERTEDERO/VALORIZACIÓN, MÁX. 30 KM, CARGA M. MECÁNICOS</i>			
TRA.001	TRANSPORTE DE TIERRAS CON CAMIÓN A VERTEDERO ESPECÍFICO, INSTALACIÓN DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EXTERNA A LA OBRA O CENTRO DE VALORIZACIÓN O ELIMINACIÓN DE RESIDUOS, REALIZADO CON CAMIÓN BASCULANTE, A UNA DISTANCIA MÁXIMA DE 30 KM, INCLUSO CARGA MECÁNICA Y CÁNON DE VERTIDO. MEDIDO EL VOLUMEN SIN ESPONJAMIENTO.	12	3,55	42,60
01.03	<i>m2 CAPA DE HORMIGÓN DE LIMPIEZA HL-150/P/30 DE 10 CM DE ESPESOR</i>			
HL150,001	CAPA DE HORMIGÓN DE LIMPIEZA HL-150, CONSISTENCIA PLÁSTICA Y TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO 30 MM, DE 10 CM DE ESPESOR MÍNIMO, EN ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN, SUMINISTRADO Y PUESTO EN OBRA, INCLUSO P.P. DE AISLADO DE LA SUPERFICIE; SEGÚN INSTRUCCIÓN EHE Y CTE/DB-SE-C. MEDIDA LA SUPERFICIE TEÓRICA EJECUTADA.	12	5,15	61,80
01.04	<i>m2 SOLERA HA-25/B/20/IIA, E=10 CM, FRATASADO FINO #6C/150</i>			
SOL10CMACAB	DE SOLERA DE 10 CM DE ESPESOR, DE HORMIGÓN HA-25/B/20/IIA CON ÁRIDO RODADO DE DIÁMETRO MÁXIMO 20 MM. Y CONSISTENCIA BLANDA ARMADO CON SIMPLE MALLAZO DE ACERO B-500S DE DIÁMETRO 6 MM Y RETÍCULA DE 15 CM SEGÚN PLANOS, EJECUTADA SOBRE LOSA DE CIMENTACIÓN, ACABADA CON CUARZO CORINDÓN Y FRATASADO FINO, INCLUSO PARTE PROPORCIONAL DE ENCOFRADOS, JUNTAS DE RETRACCIÓN SEGÚN PLANOS Y JUNTAS PERIMETRALES DE CONTORNO EN ENCUENTRO CON PILARES RELLENAS CON POREXPÁN DE 1 CM. SE CONSIDERARÁ CONDICIÓN DE NO ACEPTACIÓN UNA FALTA DE PLANEIDAD SUPERIOR A 5 MM MEDIDA POR SOLAPE DE 1.50M DE REGLA DE 3 M. MEDIDA LA SUPERFICIE ENTRE EJES DE PILARES Y DEDUCIENDO HUECOS MAYORES DE 0.5 M2.	120	10,19	1222,80
TOTAL CAPÍTULO 01 ACONDICIONAMIENTO DE TERRENOS:				1377,24
CAPÍTULO 02 INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE				
SUBCAPÍTULO 02.01 ELEMENTOS INSTALACIÓN AGUA				
02.01.01	<i>m2 ELEMENTO BASE POL 22-45 PLUS (D.22)</i>			
SU100.145	ELEMENTO BASE POLYTHERM PLO 22/45 PLUS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO FORMADO POR DOS CAPAS PARA CUMPLIR CON LA RESISTENCIA TÉRMICA HACIA EL FORJADO SEGÚN NORMA UNE EN 1264-4 Y C.T.E..	120	7,5	900

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
02.01.02 TFPA8150	m TUBO POLYTHERM EVOHFLEX PLUS ANTIDIFUSIÓN PERT 15x1.5 (r. 120 m) TUBO POLYTHERM EVOHFLEX PLUS ANTIDIFUSIÓN Φ 15x1.5 PERT II. CERTIFICADO SEGÚN NORMA UNE EN ISO 22.391. INCORPORA RECUBRIMIENTO EXTERIOR DE POLÍMERO CON MICROPARTÍCULAS METÁLICAS PARA EVITAR QUE LA HUMEDAD ENTRE EN CONTACTO CON LA CAPA DE EVOH.	1152	0,87	1002,24
02.01.03 SU101.403	u DISTRIBUIDOR HKV 15-16, 3 CIRCUITOS DISTRIBUIDOR HKV COMPLETO PARA SUELO RADIANTE, COMPUESTO DE COLECTOR DE IMPULSIÓN CON VÁLVULAS PARA ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO INCORPORADAS; COLECTOR DE RETORNO CON MEDICIONES DE CAUDAL DE REGULACIÓN INTEGRADA EN CADA CIRCUITO; PURGADOR AUTOMÁTICO; GRIFO DE LLENAO Y PRUEBA; SOPORTES PARA FIJACIÓN EN CAJA O PARED; ADAPTADORES DE TUBOS DE Φ 15x1.5 Y Φ 15x1.8/2. TOTALMENTE MONTADO. BYPASS CON VÁLVULA DE PRESIÓN DIFERENCIAL PARA CONEXIÓN SOBRE TOMAS DE COLECTOR (OPCIONAL).	4	121	484
02.01.04 SU100.505	u VÁLVULA PARA DISTRIBUIDOR CONEXIÓN DIRECTA VÁLVULA DE ESFERA PARA DISTRIBUIDOR SIN ESTRATO. (NO VÁLIDA PARA DISTRIBUIDORES CON VÁLVULA CON PRESIÓN DIFERENCIAL EN LÍNEA).	6	11,95	71,70
02.01.05 SU100.937	u ARMARIO DRE 400 PARA DISTRIBUIDOR DE 2 A 3 CIRCUITOS ARMARIO PARA ALOJAR DISTRIBUIDOR Y PLACA ELECTRÓNICA, REALIZADO EN CHAPA DE ACERO PINTADA DE COLOR (RAL 9016), CON GUÍAS PARA FIJACIÓN DE SOPORTES DE LOS DISTRIBUIDORES Y PLACAS ELECTRÓNICAS. COLOCAR LA PARTE INFERIOR A 40 CM DEL FORJADO.	2	78,4	156,8
02.01.06 SU100.012	u CODOS GUÍA Φ 15-16 CURVA DE POLIPROPILENO REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO PARA LA PROTECCIÓN DE LOS TUBOS EN LA SALIDA DEL MORTERO HACIA EL DISTRIBUIDOR. SE INSTALAN 2 POR CIRCUITO.	36	0,99	35,64
02.01.07 SU100.100	m2 HOJA DE PE FILM DE POLIETILENO QUE SE INSTALA DEBAJO DEL AISLAMIENTO COMO BARRERA ANTIVAPOR EN AQUELLAS ZONAS QUE SE ENCUENTREN EN CONTACTO CON EL TERRENO O EN LAS QUE EXISTAN PROBLEMAS DE CONDENSACIÓN. ROLLOS DE 100 M2.	120	0,91	109,20
02.01.08 SU100.015	m TIRA PERIMETRAL BANDA DE ESPUMA DE POLIETILENO QUE SE INSTALA EN FORMA DE RODAPIÉ EN TODOS LOS PARAMENTOS VERTICALES PARA ABSORBER LAS DILATACIONES DE LOS PAVIMENTOS Y ELIMINAR LOS PUENTES TÉRMICOS CON LOS CERRAMIENTOS. INCORPORA UN FILM DE POLIETILENO PARA EVITAR LA FILTRACIÓN DE MORTERO ENTRE EL AISLAMIENTO PERIMETRAL Y AISLAMIENTO DEL SUELO. SUMINISTRO EN ROLLOS DE 50 M DE 15 CM DE ALTURA Y 7 MM DE ESPESOR.	240	0,68	163,20

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
02.01.09	kg ADITIVO ESTROLITH H.2000			
SU100.010	ADITIVO PARA MORTERO. MEJORA LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS MORTEROS. DOSIFICACIÓN: 0.33 L POR CADA 35 KG DE CEMENTO.	20	4,8	96
TOTAL SUBCAPÍTULO 02.01 ELEMENTOS INSTALACIÓN AGUA				3018,78
SUBCAPÍTULO 02.02 FUENTE DE CALOR				
02.02.01	u CALDERA JUNKERS CERAPUR SMART ZWB 28-3C			
JUN.ZWV28	MODELO DE 20 KW PARA AGUA CALIENTE SANITARIA Y 22 KW EN CALEFACCIÓN. ADAPTADA A LA NORMATIVA ERP - ELD. BOMBA DE ALTA EFICIENCIA. PRODUCCIÓN INSTANTÁNEA CON QUICK TAP. DISPLAY MULTIFUNCIÓN. TIRO FORZADO, MURAL INTERIOR.	1	849,9	849,90
02.02.02	u OBRA CIVIL			
OBRA.DEP	OBRA CIVIL NECESARIA PARA LA INSTALACIÓN DEL DEPÓSITO. INCLUYE ZANJA PARA TUBERÍA ENTERRADA, ASENTAMIENTOS DE HOMRIGÓN Y VALLADO DEL DEPÓSITO.	1	2355,3	2355,30
02.02.03	m TUBERÍA ACERO			
ACE.DN20	TUBERÍA DE ACERO PARA EL TRANSPORTE DE PROPANO. SEGÚN NORMA UNE - EN 10255. DIÁMETRO NOMINAL 20 MM	19	11	209
TOTAL SUBCAPÍTULO 02.03 FUENTE DE CALOR				3414,2
TOTAL CAPÍTULO 02 INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE				6432,98
CAPÍTULO 03 PINTURAS ESPECIALES				
03.01	m2 TRATAMIENTO SOBRE SOLERA IMPRIMACIÓN + PINTURA EN SUPERFICIE			
PIN.SOL	DE TRATAMIENTO EN SUPERFICIE SOBRE SOLERA FORMADO POR UNA CAPA DE 250 GR/M2 DE IMPRIMACIÓN EPOXÍDICA DE DOS COMPONENTES MARCA EUROQUÍMICA MODELO LITEPOX O EQUIVALENTE A APROBAR POR LA D.F. HASTA CONSEGUIR UN SELLADO TOTAL DE LA SUPERFICIE; DOS MANOS DE PINTURA DE POLIURETANO ALIFÁTICO, BRILLANE, DE DOS COMPONENTES MARCA EUROQUÍMICA MODELO PAVIPUR O EQUIVALENTE A APROBAR POR LA D.F. CON UN RENDIMIENTO DE 125 GR/M2 POR CAPA Y EN COLOR A ELEGIR POR LA D.F.; OBTENIENDO COMO RESULTADO UN SUELO CON CLASE AL RESBALAMIENTO C2 SEGÚN ESTABLECE EL CTE, UN ESPESOR DE 250 MICRAS MEDIDAS EN SECO, UNA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN CON VALOR DE 98 MG SEGÚN MÉTODO TÁBER REALIZADO CON DISCO ABRASIVO C17/1 KG/1000 CICLOS CONFORME A ASTM D4060/95 Y UNA DUREZA PENDULAR DE 253" SEGÚN PERSOZ CONFORME A UNE-EN ISO 1522:2001. MEDIDA LA SUPERFICIE EJECUTADA SIGUIENDO LAS INSTRUCCIONES DEL FABRICANTE.	120	10,25	1230
TOTAL CAPÍTULO 03 PINTURAS ESPECIALES:				1230
TOTAL PRESUPUESTO:				9040,22

El presupuesto asciende a NUEVE MIL CUARENTA EUROS Y VEINTIDÓS CÉNTIMOS.

Presupuesto para suelo radiante eléctrico

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 01 ACONDICIONAMIENTO DE TERRENOS				
01.01	<i>m3 EXC. ZANJAS, TIERRAS C. MEDIA, M. MECÁNICOS, PROF MÁX. 4 M</i>			
EXCZAN.001	EXCAVACIÓN EN ZANJAS, EN TIERRAS DE CONSISTENCIA MEDIA, REALIZADA CON MEDIOS MECÁNICOS HASTA UNA PROFUNDIDAD MÁXIMA DE 4 M, INCLUSO EXTRACCIÓN DE LOS BORDES Y PERFILADO DE FONDOS Y LATERALES. MEDIDO EL VOLUMEN EN PERFIL NATURAL.	10,08	4,17	42,03
01.02	<i>m3 TRANSPORTE TIERRAS VERTEDERO/VALORIZACIÓN, MÁX. 30 KM, CARGA M. MECÁNICOS</i>			
TRA.001	TRANSPORTE DE TIERRAS CON CAMIÓN A VERTEDERO ESPECÍFICO, INSTALACIÓN DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EXTERNA A LA OBRA O CENTRO DE VALORIZACIÓN O ELIMINACIÓN DE RESIDUOS, REALIZADO CON CAMIÓN BASCULANTE, A UNA DISTANCIA MÁXIMA DE 30 KM, INCLUSO CARGA MECÁNICA Y CÁNON DE VERTIDO. MEDIDO EL VOLUMEN SIN ESPONJAMIENTO.	10,08	3,55	35,78
01.03	<i>m2 CAPA DE HORMIGÓN DE LIMPIEZA HL-150/P/30 DE 10 CM DE ESPESOR</i>			
HL150,001	CAPA DE HORMIGÓN DE LIMPIEZA HL-150, CONSISTENCIA PLÁSTICA Y TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO 30 MM, DE 10 CM DE ESPESOR MÍNIMO, EN ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN, SUMINISTRADO Y PUESTO EN OBRA, INCLUSO P.P. DE AISLADO DE LA SUPERFICIE; SEGÚN INSTRUCCIÓN EHE Y CTE/DB-SE-C. MEDIDA LA SUPERFICIE TEÓRICA EJECUTADA.	10,08	5,15	51,91
01.04	<i>m2 SOLERA HA-25/B/20/IIA, E=10 CM, FRATASADO FINO #6C/150</i>			
SOL10CMACAB	DE SOLERA DE 10 CM DE ESPESOR, DE HORMIGÓN HA-25/B/20/IIA CON ÁRIDO RODADO DE DIÁMETRO MÁXIMO 20 MM. Y CONSISTENCIA BLANDA ARMADO CON SIMPLE MALLAZO DE ACERO B-500S DE DIÁMETRO 6 MM Y RETÍCULA DE 15 CM SEGÚN PLANOS, EJECUTADA SOBRE LOSA DE CIMENTACIÓN, ACABADA CON CUARZO CORINDÓN Y FRATASADO FINO, INCLUSO PARTE PROPORCIONAL DE ENCOFRADOS, JUNTAS DE RETRACCIÓN SEGÚN PLANOS Y JUNTAS PERIMETRALES DE CONTORNO EN ENCUENTRO CON PILARES RELLENAS CON POREXPÁN DE 1 CM. SE CONSIDERARÁ CONDICIÓN DE NO ACEPTACIÓN UNA FALTA DE PLANEIDAD SUPERIOR A 5 MM MEDIDA POR SOLAPE DE 1.50M DE REGLA DE 3 M. MEDIDA LA SUPERFICIE ENTRE EJES DE PILARES Y DEDUCIENDO HUECOS MAYORES DE 0.5 M2.	100,8	10,19	1027,15
TOTAL CAPÍTULO 01 ACONDICIONAMIENTO DE TERRENOS:				1156,88
CAPÍTULO 02 INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE				
SUBCAPÍTULO 02.01 ELEMENTO CALEFACTOR				
02.01.01	<i>u CABLE CALEFACTOR DOBLE CONDUCTOR (17 W/m A 230 V) DUCASA 17 AC DP - 1855 W</i>			
525768	EL CABLE CALEFACTOR DOBLE CONDUCTOR ESTÁ COMPUESTO DE UN CABLE APANTALLADO CON DOS CONDUCTORES, UNA UNIÓN, UNA COLA FRÍA (EN UN EXTREMO) Y UN TERMINAL FINAL (EN EL OTRO EXTREMO). EL CABLE CONDUCTOR CALEFACTOR Y SU PANTALLA ESTÁN CONECTADOS DE FORMA SEGURA.	12	240	2880
TOTAL SUBCAPÍTULO 02.01 ELEMENTO CALEFACTOR				2880

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
SUBCAPÍTULO 02.02 REGULACIÓN Y ACCESORIOS				
02.02.01 525319	u CRONOTERMOSTATO DIGITAL INTELIGENTE MOD TP520 CRONOTERMOSTATO DIGITAL INTELIGENTE mod TP520 LIMITADOR DE TEMPERATURA DE SUELO, PARA EMPOTRAR, CON Sonda SUELO INCLUIDA	6	120	720
02.02.02 525205	u TIRA METÁLICA TIRA METÁLICA PARA LA SUJECCIÓN DE CABLES. CAJA DE 25 M,	2	42	84
02.02.03 525073	u BANDA PERIMETRAL BANDA DE ESPUMA DE POLIETILENO QUE SE INSTALA EN FORMA DE RODAPIÉ EN TODOS LOS PARAMENTOS VERTICALES PARA ABSORBER LAS DILATAIONES DE LOS PAVIMENTOS Y ELIMINAR LOS PUENTES TÉRMICOS CON LOS CERRAMIENTOS. INCORPORA UN FILM DE POLIETILENO PARA EVITAR LA FILTRACIÓN DE MORTERO ENTRE EL AISLAMIENTO PERIMETRAL Y AISLAMIENTO DEL SUELO. SUMINISTRO EN ROLLOS DE 50 M DE 16 CM DE ALTURA Y 7 MM DE ESPESOR.	5	41	205
02.01.04 525250	u PLACA BASE PLACA BASE DE FIBRA. AISLANTE Y SOPORTE PARA CABLE CALEFACTOR. DIMENSIONES 120x100 CM.	84	8,8	739,20
02.01.05 525078	u ADITIVO PARA EL MORTERO ADITIVO PARA MORTERO. ENVASE DE 25 KG	1	78	78
TOTAL SUBCAPÍTULO 02.02 REGULACIÓN Y ACCESORIOS				1826,20
SUBCAPÍTULO 02.03 PROTECCIONES ELÉCTRICAS				
02.03.01 AR01675	u ICP-M-35/3N INTERRUPTOR DE CONTROL DE POTENCIA ICP, 35 A, 3PN, 4 MOD.	3	94,94	284,82
02.02.02 AR01681	u KLV-TC4 CAJA SUPERFICIE PARA ICP, 4 MÓDULOS.	3	8,43	25,29
02.02.03 AR01553	u DE-FI63-2-30.40 INTERRUPTOR DIFERENCIAL 40 A, 30 MA, 2 POLOS. PROTECCIÓN CLASE AC	3	15,55	46,65
TOTAL SUBCAPÍTULO 02.03 PROTECCIONES ELÉCTRICAS				356,76
TOTAL CAPÍTULO 02 INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE				5062,96

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 03 PINTURAS ESPECIALES				
03.01	<i>m2 TRATAMIENTO SOBRE SOLERA IMPRIMACIÓN + PINTURA EN SUPERFICIE</i>			
PIN.SOL	DE TRATAMIENTO EN SUPERFICIE SOBRE SOLERA FORMADO POR UNA CAPA DE 250 GR/M2 DE IMPRIMACIÓN EPOXÍDICA DE DOS COMPONENTES MARCA EUROQUÍMICA MODELO LITEPOX O EQUIVALENTE A APROBAR POR LA D.F. HASTA CONSEGUIR UN SELLADO TOTAL DE LA SUPERFICIE; DOS MANOS DE PINTURA DE POLIURETANO ALIFÁTICO, BRILLANE, DE DOS COMPONENTES MARCA EUROQUÍMICA MODELO PAVIPUR O EQUIVALENTE A APROBAR POR LA D.F. CON UN RENDIMIENTO DE 125 GR/M2 POR CAPA Y EN COLOR A ELEGIR POR LA D.F.; OBTENIENDO COMO RESULTADO UN SUELO CON CLASE AL RESBALAMIENTO C2 SEGÚN ESTABLECE EL CTE, UN ESPESOR DE 250 MICRAS MEDIDAS EN SECO, UNA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN CON VALOR DE 98 MG SEGÚN MÉTODO TÁBER REALIZADO CON DISCO ABRASIVO C17/1 KG/1000 CICLOS CONFORME A ASTM D4060/95 Y UNA DUREZA PENDULAR DE 253" SEGÚN PERSOZ CONFORME A UNE-EN ISO 1522:2001. MEDIDA LA SUPERFICIE EJECUTADA SIGUIENDO LAS INSTRUCCIONES DEL FABRICANTE.			
		100,8	10,25	1033,20
	TOTAL CAPÍTULO 03 PINTURAS ESPECIALES:			1033,20
	TOTAL PRESUPUESTO:			7253,04

El presupuesto asciende a SIETE MIL DOSCIENTOS CINCUENTA Y TRES EUROS CON CUATRO CÉNTIMOS.

REFERENCIAS

- [1] F. P. Incropera, Fundamentos de transferencia de calor, Prentice- Hall Hispanoamericana, 1999.
- [2] A. E. Mesa, «Sistemas de calefacción mediante radiadores a gas soportados en la cubierta de la nave de inspección de una estación,» Sevilla, 2016.
- [3] Y. A. Çengel, Transferencia de Calor y Masa: un enfoque práctico, Mc Graw Hill, 2007.
- [4] Ministerio de Ciencia y Tecnología, Gobierno de España, «Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión,» 2002.
- [5] Ministerio de la Vivienda, Gobierno de España, «Código Técnico de la Edificación,» 2013.
- [6] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Gobierno de España, «Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios,» 2013.
- [7] Comité Europeo de Normalización, «UNE-EN 2164: "Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies"».
- [8] Comité Europeo de Normalización, «UNE-EN ISO 7730: "Ergonomía del ambiente térmico"».
- [9] Verificaciones Industriales de Andauća S.A., «Proyecto de Estación para la inspección técnica de vehículos (I.T.V.) en Baza - Granada,» 2014.
- [10] Profesores del Departamento de Termotecnia de la Universidad de Sevilla, «Colección de Tablas y Gráficos de Transmisión de Calor».
- [11] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España, «Guía Técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto,» Madrid, 2010.
- [12] Center for the Built Environment, University of California Berkeley, «Thermal Comfort Tool,» 2013. [En línea]. Available: <http://cbe.berkeley.edu/comforttool/>.
- [13] Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo rural, Junta de Andalucía, «Estaciones agroclimáticas,» [En línea]. Available: <http://web5.ifapa.junta-andalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController>.
- [14] Wikipedia, «Suelo radiante,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Suelo_radiante.
- [15] «Instalaciones de suelo radiante,» Construmática, [En línea]. Available: http://www.construmatica.com/construpedia/Instalaciones_de_Suelo_Radiante.
- [16] «Sistemas de climatización frío/calor por suelo radiante,» Polytherm, [En línea]. Available: <http://www.polytherm.es/suelo-radiante/industrial/>.

- [17] «Suelo radiante,» Ceilhit, [En línea]. Available: <http://www.ceilhit.es/es/>.
- [18] «Elementos calefactores,» AS, [En línea]. Available: <http://www.sueloradiante.com/hilo-radiante.htm>.
- [19] «Climatización invisible Uponor,» Uponor, [En línea]. Available: <https://www.uponor.es/>.
- [20] «Calderas de condensación de baja temperatura,» Instalaciones y eficiencia energética, [En línea]. Available: <http://instalacionesyeficienciaenergetica.com/calderas-de-condensacion-y-de-baja-temperatura/>.
- [21] «Dudas suelo radiante,» Presupuestos de suelo radiante, [En línea]. Available: <http://www.presupuestosdesueloradiante.es/dudas-suelo-radiante>.
- [22] «Calderas Murales de Condensación ErP,» JUNKERS, [En línea]. Available: http://www.junkers.es/usuario_final/productos/categoria_productos_32640.
- [23] «Calderas de condensación,» ClimAhorro, [En línea]. Available: <http://www.climahorro.es/calderas-de-condensacion.html>.
- [24] «Puerta batiente PVC flexible,» MECALUX logismarket, [En línea]. Available: <https://www.logismarket.com.mx/infrac-mexico/puerta-batiente-pvc-flexible/2660948633-1323193734-p.html>.
- [25] «Cortinas de aire,» Airtecnicos, [En línea]. Available: http://www.cortinasdeaire.es/Tecnologia/-191-Como-funcionan-las-Cortinas-de-Aire_3/.
- [26] «Interruptor Control de Potencia,» DIRECT electro, [En línea]. Available: http://www.direct-electro.es/interruptor_control_de_potencia_icp.
- [27] «Verificaciones Industriales de Andalucía S.A.,» VEIASA, [En línea]. Available: <http://www.veiasa.es/>.
- [28] «Manual Técnico. Suelo radiante,» Industrial Blansol, [En línea]. Available: <http://www.blansol.es/>.
- [29] «Instalación suelo radiante eléctrico,» Ducasa, [En línea]. Available: <http://www.ducasa.com/#>.
- [30] «Sistema de suelo radiante. Manual técnico 1/2010,» ALB sistemas, [En línea]. Available: <http://www.alb.es/>.
- [31] Consejería de Economía y Hacienda, Comunidad de Madrid, «Guía Básica. Calderas de condensación».