

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN CENTRAL DE LA UNIDAD
DE DESARROLLO TECNOLÓGICO**

Informe de Habilitación Profesional
Presentado en conformidad a los requisitos
Para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Guía:
Sr. Luis Cerda Miskulini

Ingeniero Supervisor:
Sr. Jorge Provoste Alvial

GERMÁN ÍTALO JIMÉNEZ SAN MARTÍN

CONCEPCIÓN-CHILE
2017

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi familia, en especial a mi mujer y mi hijo quienes fueron el sustento en esta etapa tan importante y trascendental en mi vida. Sin duda alguna esta segunda etapa en la universidad fue muy diferente a la primera, cargada de responsabilidades y deberes que cumplir, personitas por quienes trabajar y por sobre todo el cariño de mi familia que día a día esperaba mi vuelta a casa.

Gracias Danita por tu apoyo, gracias a ti pude lograr mi tan anhelado sueño de volver a egresar de la Universidad, sé que cuando decidiste apoyarme en esta locura no asimilaste todo el trabajo que implicaría para ti, aun así siempre estuviste en los momentos importantes y me apoyaste a tu manera hasta el final. Mil gracias amorcito por la paciencia y el tiempo que le dedicaste a nuestra casa durante mis días de ausencia y mis largas noches de estudio, por haber decidido sacrificar tu trabajo y carrera por cuidar a nuestro hijo, sin duda algún día te lo agradecerá. Sin tu apoyo esto no hubiera sido posible.

Agradezco a mi hijito “mi bebé”, quien llegó a este mundo dos días antes de iniciar esta nueva aventura en la Universidad. Gracias por todo el amor que me entregas, por ser mi motivación y darme fuerzas para dar el máximo día a día y volver pronto a casa, siempre me recibes con una sonrisa y esos ojitos llenos de alegría de verme. Verte crecer y como te integras y sientes parte de nuestra familia me llena de orgullo y satisfacción.

Es imposible no mencionar a la persona que me formó y día a día me enseñó la importancia de estudiar y luchar por mis objetivos, mi padre, que aunque hace muchos años ya no estés presente, siempre estarás en mi corazón y nunca olvidaré todo lo que me enseñaste y me entregaste. Tú sabes cuánto me gustaría que estuvieras aquí y compartieras conmigo este momento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi equipo de trabajo de UDT, quienes me apoyaron y entregaron todo el soporte que necesité para el desarrollo del presente trabajo, en especial a mi jefatura por darme la posibilidad de compatibilizar mis estudios con el trabajo, sé que esto solo fue posible gracias a ustedes (Caro y Jorge), en ningún otro lugar existe tanto apoyo y flexibilidad como en nuestra área. Ustedes fueron los artífices de esta aventura de volver a la Universidad, jamás me lo hubiese siquiera planteado de no haber tenido su apoyo. Agradezco a mis compañeros quienes suplieron mi ausencia y apoyaron en todo momento, sin duda son un gran grupo de profesionales y por sobre todo un gran grupo humano.

A continuación, agradezco enormemente a mi profesor guía por su valioso aporte al desarrollo de este trabajo, sin duda su visión y perspectiva externa me ayudó a cumplir los objetivos planteados y mejorar la calidad del trabajo. Gracias también por todo el material técnico que entregó a mi disposición y por los conocimientos traspasados.

Finalmente, mencionar a todas las personas que encontré y reencontré en la Universidad, a mi amigo Felipe, mis ex tutorados Ángelo, Edson, Luis, y otras personas con quienes volví a compartir luego de muchos años como Bernardo y Álvaro. Gracias por compartir un rato de estudios, las materias olvidadas y por sobre todo ser buenos compañeros, fue muy grato volver a compartir con ustedes.

RESUMEN

La presente Habilitación Profesional tiene como objetivo principal realizar la evaluación técnica del sistema de calefacción central perteneciente a la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción, recinto ubicado en el parque industrial Coronel, el cual es utilizado como Centro de Investigación Científico Tecnológico.

Para dar cumplimiento con el objetivo principal, se realizó un levantamiento de la situación actual del sistema para posteriormente llevar a cabo el estudio de necesidades de cada recinto, pérdidas de cargas de redes de transporte de agua caliente y capacidades de los equipos generadores de calor. Resultado de este levantamiento es la verificación de las redes de calefacción y capacidades de calefacción disponibles en cada recinto, además de la documentación técnica generada.

La demanda energética de la edificación fue cuantificada mediante el cálculo de las cargas térmicas de cada recinto, necesarias para mantener acondicionados éstos a una temperatura de confort de 20°C, considerando una temperatura exterior de 5°C. Para lo anterior se consideraron las indicaciones de la norma chilena NCh 853-2007. La demanda total de calefacción calculada es de 81,7 [kW], con una tasa de calefacción promedio de 66,13 [W/m²]. Al realizar una comparación entre la carga de calefacción requerida y la potencia térmica de 150 [kW] disponible en la caldera principal de calefacción, se concluye que el sistema de calefacción central cuenta con la capacidad necesaria para satisfacer plenamente las necesidades de la edificación.

A través del estudio se determinó la existencia de recintos con déficit energético, en donde se plantea la implementación de las mejoras que permitan subsanar estas situaciones. El recinto de mayor demanda energética, corresponde al centro de extensiones, cuya carga de calefacción asciende a 23,5 [kW]. Para este caso se plantea la posibilidad de habilitar un sistema de calefacción basado en una unidad manejadora de aire, la cual, mediante la utilización de agua caliente entregue la energía necesaria al recinto.

Los costos asociados a las implementaciones planteadas en el presente trabajo ascienden a 12,1 [Millones de pesos], este costo se desglosa a grandes rasgos en el mejoramiento de las redes de distribución de agua e implementación de nuevos equipos de calefacción.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Origen del tema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN.....	4
2.1 Descripción de la edificación.....	4
2.2 Vistas generales de la edificación.....	6
2.3 Caracterización del sistema de calefacción.....	9
2.3.1 Sectorización del sistema de calefacción existente.....	13
2.4 Características generales de la edificación.....	20
2.4.1 Puertas.....	20
2.4.2 Ventanas.....	23
2.4.3 Muros exteriores y paredes interiores.....	25
2.4.4 Pisos.....	31
2.4.5 Cielos y cubiertas.....	31
CAPÍTULO 3: SISTEMAS DE CALEFACCIÓN.....	34
3.1 Breve historia de los sistemas de calefacción.....	34
3.2 Sistemas de calefacción central en la actualidad.....	35
3.2.1 Calefacción por radiadores.....	36
3.2.2 Sistema de calefacción por piso radiante.....	40
3.3 Calderas de calefacción.....	41
3.3.1 Clasificación por tipo de combustibles.....	41
3.3.2 Clasificación por tipo de producción.....	42

3.3.3 Clasificación según la cámara de combustión, contaminación y evacuación de gases.....	42
3.3.4 Clasificación según normativa vigente en Chile.....	42
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS TÉRMICO DE LA EDIFICACIÓN	44
4.1 Conductividad de los materiales empleados	51
4.2 Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor	52
4.2.1 Conducción	52
4.2.2 Convección	52
4.2.3 Radiación	53
4.2.4 Coeficiente global de transferencia (U):	53
4.3 Cálculo cargas térmicas	65
4.4 Verificación equipos existentes	73
4.4.1 Calefactor Runtal –RC.....	74
4.4.2 Calefactor Ocean DK 500.....	75
4.4.3 Losa Radiante	76
4.5 Verificación del circuito hidráulico	82
4.5.1 Caudal requerido y pérdida de carga	88
4.5.2 Verificación bombas existentes	91
4.6 Costos de calefacción anual.....	94
4.6.1 Carga de calefacción anual	94
4.6.2 Costo anual de combustible	96
CAPÍTULO 5: RECOMENDACIÓN DE MEJORAS	100
5.1 Equipos de calefacción murales.....	100
5.2 Unidad de calefacción para centro de extensión.....	103
5.3 Circuitos hidráulicos existentes	111

5.4 Sistemas de control de temperatura	114
5.5 Costos de implementaciones.....	115
CAPÍTULO 6: Conclusiones	118
REFERENCIAS.....	121
ANEXOS	125
Anexo A: Planillas de Cálculo Coeficientes Globales de Transferencia U.....	125
Anexo B: Hoja de Cálculo de Cargas Térmicas	132

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

En la actualidad existen una gran variedad de alternativas para el acondicionamiento ambiental, las cuales proporcionan a los usuarios la posibilidad de desenvolverse en ambientes cálidos o frescos dependiendo de la estación del año, aumentando la sensación de confort y bienestar de las personas. En el caso de las empresas, existen diversos estudios que demuestran que el desempeñarse en ambientes confortables mejora la productividad de los trabajadores y la permanencia de éstos.

A través de la climatización de ambientes se puede proporcionar recintos confortables aun cuando las condiciones exteriores sean desfavorables, esto se logra por medio de la utilización de equipos capaces de extraer o entregar calor a un ambiente según se requiera. Para esto los equipos de climatización deben ser calculados de acuerdo a las condiciones de diseño definidas para el recinto, materialidad y condiciones exteriores.

Para el caso del presente trabajo realizado en la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción, se realizará un análisis detallado del sistema de acondicionamiento ambiental existente, el cual considera únicamente la utilización de equipos calefactores mediante un sistema de calefacción central, es decir, se trata de un sistema de invierno el cual aporta el calor a los ambientes. En este caso, el calor es aportado mediante una caldera de calefacción, dispuesta en un sector aledaño a la edificación. No se abordará el estudio de acondicionamiento ambiental en períodos de verano ya que no existe interés de la empresa en realizar una inversión en este ámbito.

1.2 Origen del tema

Actualmente la Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) de la Universidad de Concepción, cuenta con un sistema de calefacción central compuesto por una caldera principal a pellet y una caldera de respaldo la cual funciona mediante GLP. Por medio de estas dos unidades se alimentan tres circuitos de calefacción independientes, que en conjunto calefaccionan una zona de alrededor de 1.500 m². Mediante calefactores térmicos se entrega la carga térmica a cada recinto.

Dicho sistema presenta deficiencias de funcionamiento, principalmente debido a un desequilibrio hidráulico y falta de control del flujo de agua entregado a los calefactores, además existen zonas sin acondicionamiento ambiental y por ende se tienen temperaturas por debajo de la temperatura de confort deseada en periodo invernal. Otro aspecto relevante es la inexistencia de sistemas de control en cada recinto, dejando a criterio del usuario la regulación de las unidades térmicas.

Por lo anterior se plantea la necesidad de realizar una evaluación del actual sistema de calefacción y proponer soluciones que permitan mejorar su funcionamiento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el actual sistema de calefacción de la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Realizar un levantamiento del actual sistema de calefacción.
2. Determinar las necesidades energéticas de la edificación y comparar con la capacidad disponible.
3. Calcular la carga térmica de calefacción y capacidad de los equipos requeridos.
4. Redimensionamiento y/o verificación de la red de distribución de agua caliente.
5. Proponer soluciones para los eventuales problemas que se detecten.
6. Realizar una evaluación de costos de calefacción mediante otras alternativas de combustibles.
7. Realizar la evaluación económica de las soluciones propuestas.

CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN

2.1 Descripción de la edificación

La edificación en estudio corresponde a la Unidad de Desarrollo Tecnológico, Centro Científico Tecnológico de la Universidad de Concepción emplazado en la comuna de Coronel, específicamente en Avenida Cordillera 2634 Parque Industrial Coronel.

Las instalaciones se componen de una superficie construida de alrededor de 5.557 m², conformadas por 7 laboratorios, 17 plantas pilotos, 5 bodegas de almacenamiento y un taller técnico, además de oficinas de trabajo, sector de comedor y un auditorio. En estas instalaciones trabajan alrededor de 127 personas, principalmente investigadores, profesionales y técnicos (UDT, 2017).

El espacio a estudiar corresponde a los sectores utilizados como oficinas y laboratorios, excluyendo las salas de procesos, bodegas de almacenamiento y talleres, los cuales no cuentan con sistemas de aporte calórico. Este espacio en estudio se denomina como “Edificio principal” (figura 2.1) y corresponde a un edificio de dos niveles y en él se alberga al personal de oficinas y laboratorios. En las figura 2.2, 2.3 y 2.4 ilustran los diferentes sectores de las instalaciones.



Figura 2. 1 Edificio principal Unidad de Desarrollo Tecnológico



Figura 2. 2 Sala de procesos I



Figura 2. 3 Sala de procesos II



Figura 2. 4 Sector de bodegas

2.2 Vistas generales de la edificación

Tal como se mencionó, el estudio se realizará en el sector denominado como “Edificio principal”, excluyendo las salas de procesos y el sector de bodegas. En la figura 2.5 se muestra una vista de planta con el edificio principal y las dos salas de proceso.

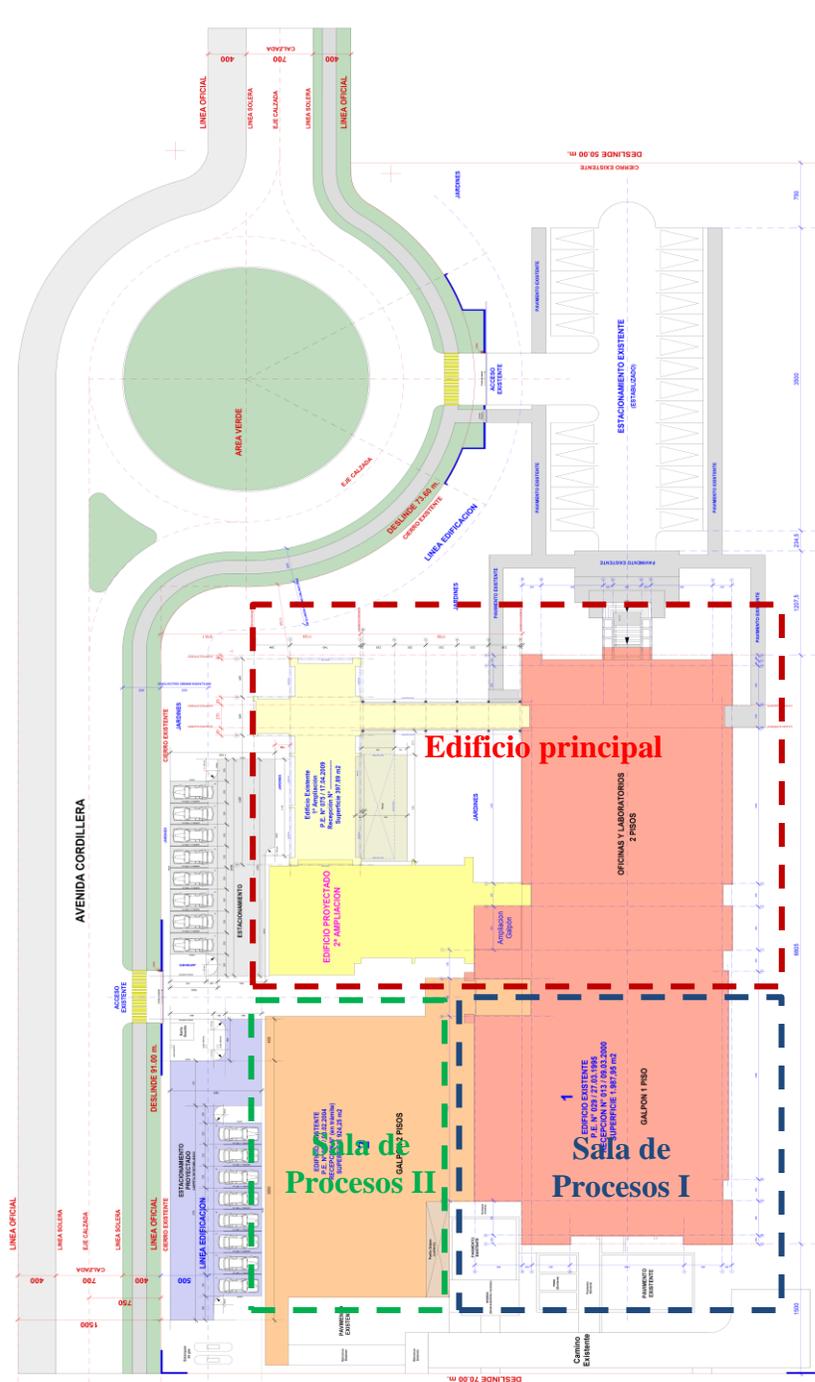


Figura 2. 5 Planta general

A continuación se muestran algunas vistas de la edificación.

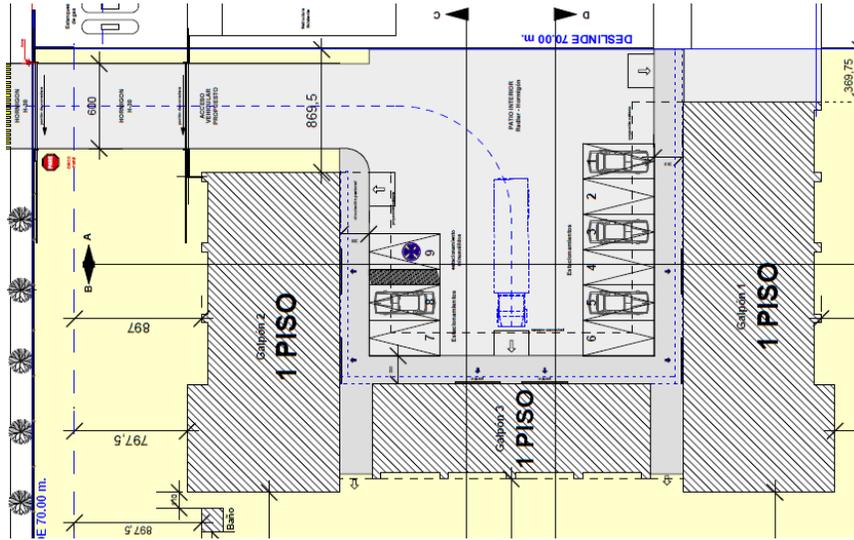


Figura 2. 6 Sector de bodegas

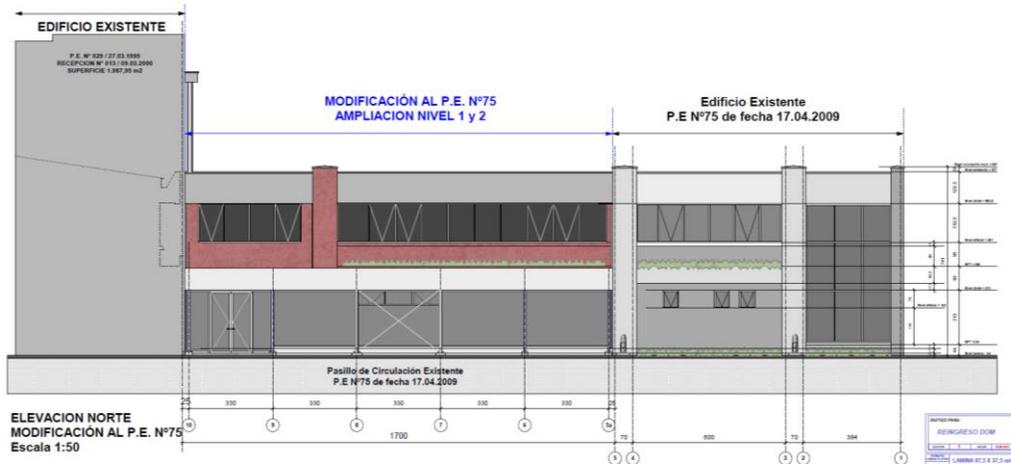


Figura 2. 7 Elevación Norte

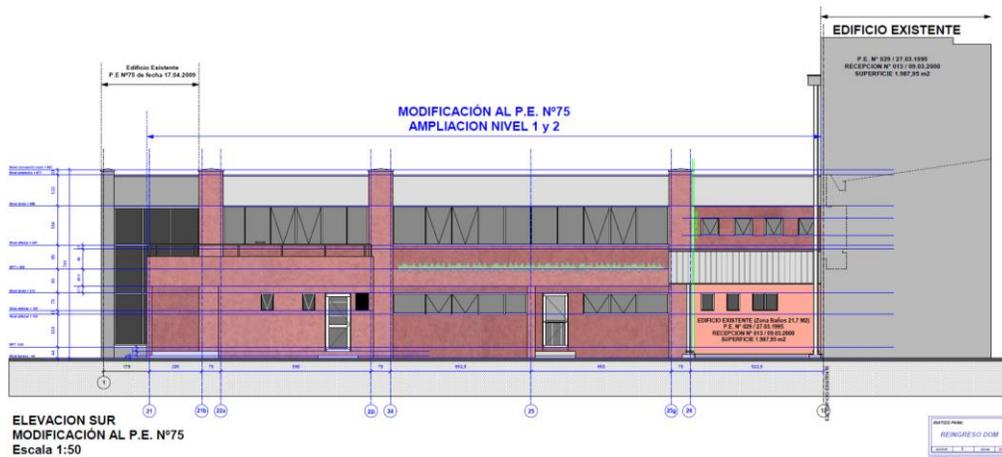


Figura 2. 8 Elevación Sur

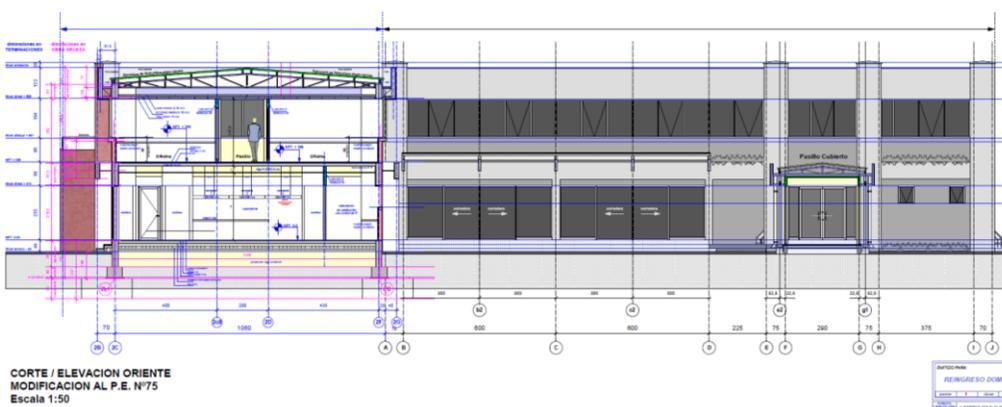


Figura 2. 9 Elevación Oriente

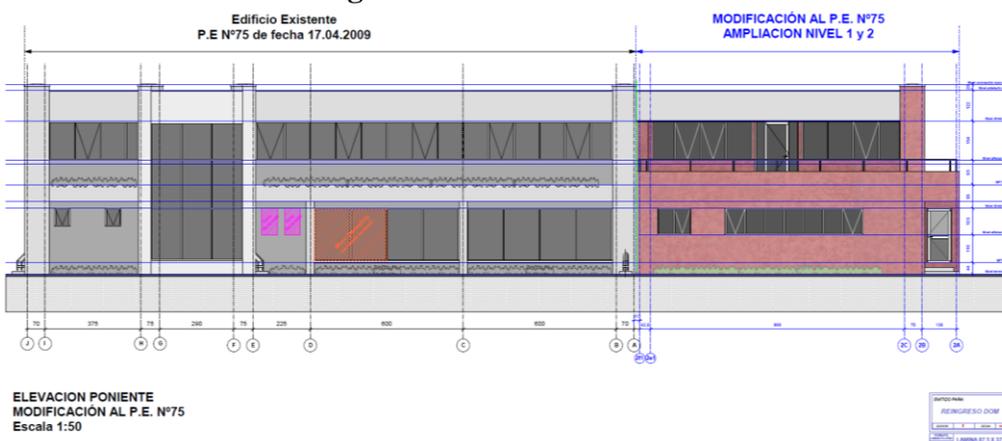


Figura 2. 10 Elevación Poniente

2.3 Caracterización del sistema de calefacción

Las condiciones bajo las cuales se dimensiona un sistema de acondicionamiento ambiental, dependen de varios aspectos, siendo uno de los más relevantes el tipo de utilización o actividad a desarrollar en el recinto, sectores colindantes y materialidad de la edificación.

La edificación en estudio cuenta con tres sectores calefaccionados en el edificio principal (figuras 2.18 y 2.19), cada sector es alimentado desde el manifold de calefacción principal (figuras 2.11) ubicado en la sala de suministros, por medio de tres bombas de recirculación independientes, una para cada sector.



Figura 2. 11 Manifold de distribución de agua



Figura 2. 12 Caldera de GLP

En la figura 2.11 se muestran los manifolds de alimentación y retorno de agua junto a las bombas recirculadoras de los sectores dos y tres (de derecha a izquierda). La bomba de recirculación del sector 1 se encuentra en un lugar de difícil acceso, detrás de la caldera a gas, lo cual hace muy difícil su visualización y control (figura 2.12). La unidad térmica ilustrada en la figura 2.12 corresponde a una caldera a Gas Licuado (GLP) SIME modelo RMG 10 export de 124,25 kW, con quemador atmosférico de tiro natural (SIME, 1995).

Tal como se aprecia en las imágenes 2.11 y 2.12 el sistema de distribución de agua no cuenta con instrumentación que permita verificar los caudales de agua que efectivamente alimentan a los tres sectores de calefacción, imposibilitando la verificación de la potencia térmica que realmente se está entregando a cada sector. Además de lo

anterior, la falta de espacio hace bastante compleja la operación de los diferentes elementos que componen este sistema.

La figura 2.13 muestra la caldera de calefacción principal, la cual utiliza como combustible pellet de madera. La caldera corresponde a una caldera KWB Powerfire 150, de procedencia austriaca, con un rango de potencia de 45 a 150 kW (KWB, 2010). De acuerdo a lo indicado en su ficha técnica el rendimiento de este equipo es de 91,5% al utilizar pellet de madera como combustible.



Figura 2. 13 Caldera a pellet

La generación de agua caliente se realiza por medio de dos unidades térmicas, la caldera principal corresponde a la ilustrada en la figura 2.13. Normalmente esta caldera es utilizada individualmente puesto que su costo operacional es significativamente menor al costo operacional de la caldera a GLP ilustrada en la figura 2.12. Esta segunda unidad, es utilizada únicamente cuando existen problemas de disponibilidad de pellet o detenciones no programadas en la caldera principal.

Las unidades antes mencionadas entregan el agua caliente a un manifold principal ubicado en la sala de suministros, y por medio de un sistema de válvulas manuales, se permite la alimentación de agua desde la unidad térmica en uso. En la figura 2.14 se muestra el diagrama de conexiones de las calderas de calefacción y los manifolds de distribución de agua.

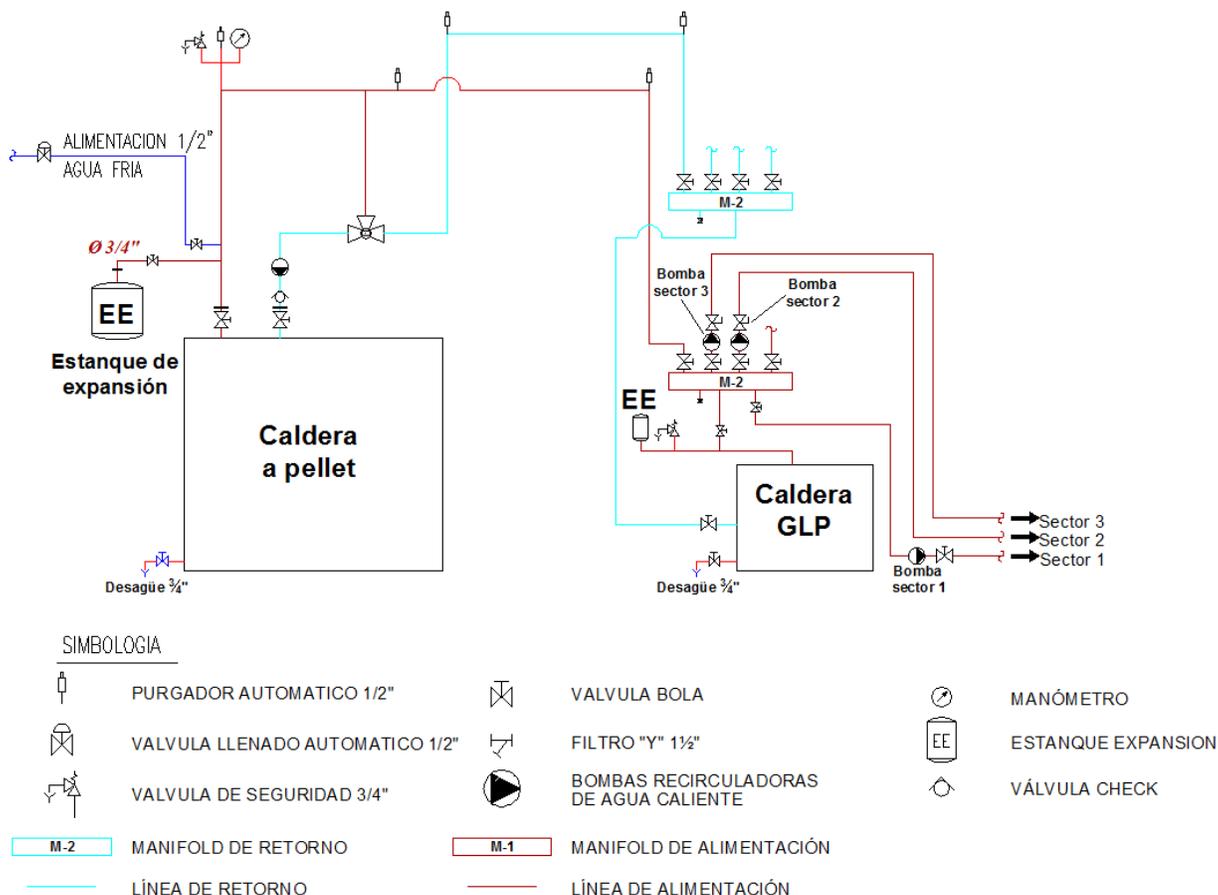


Figura 2. 14 Diagrama conexión calderas - Manifolds

Tal como se mencionó, la actual configuración del sistema de circulación de agua está posicionada en un lugar de difícil acceso y sin la instrumentación necesaria para una correcta visualización de los parámetros bajo los cuales se distribuyen los flujos de agua. Por lo anterior se hace necesario el reposicionamiento de los manifolds surtidores de agua además de la incorporación de la instrumentación necesaria. En las figuras 2.15 y 2.16 se muestra la actual configuración del sistema surtidor de agua (incluidas implementaciones), en donde básicamente se dispone de un mayor espacio y accesibilidad para facilitar la operación, además de la incorporación de manómetros y medidores de flujo los cuales permitan verificar los flujos de agua que alimentan a cada sector.



Figura 2. 15 Sistema surtidor de agua modificado

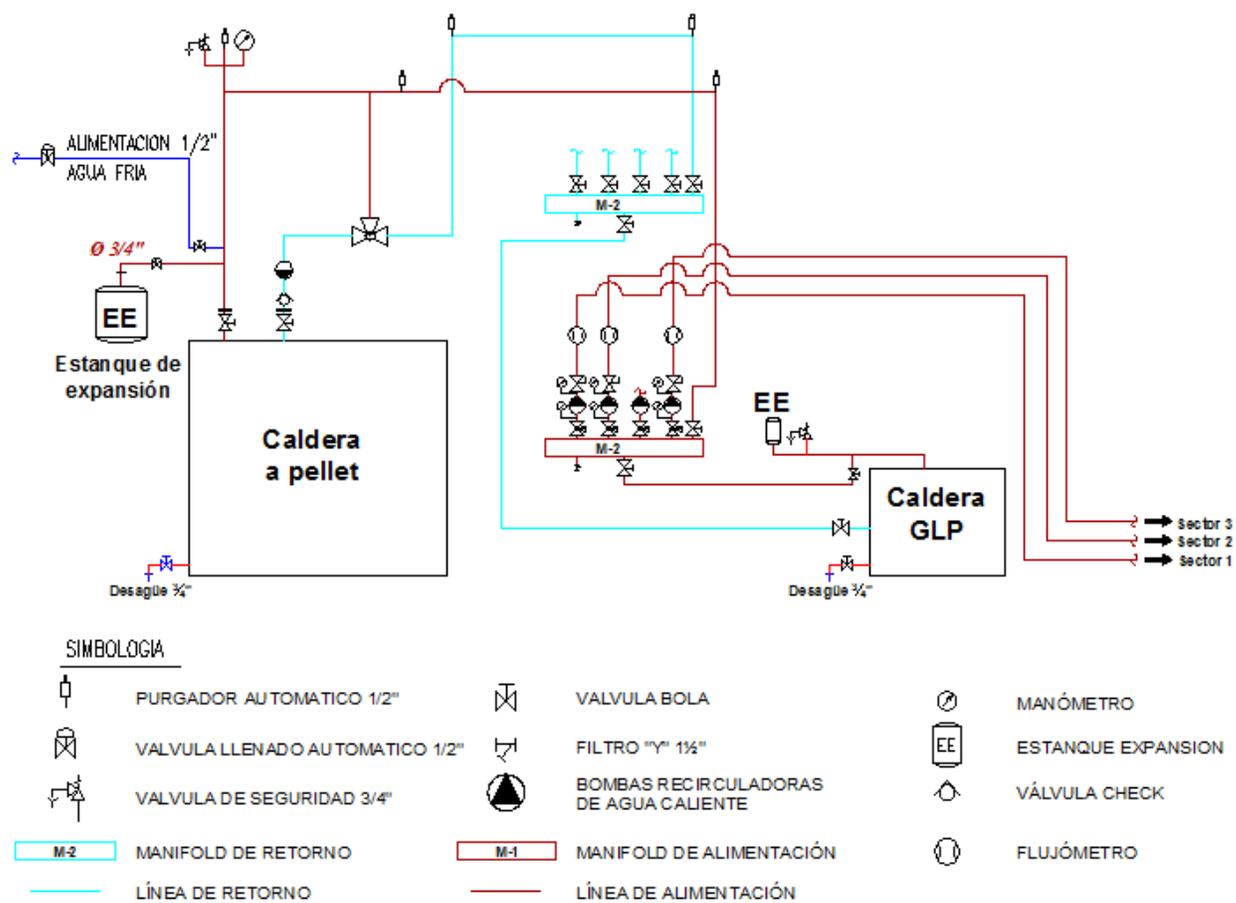


Figura 2. 16 Diagrama sistema surtidor de agua modificado

Otra parte importante del sistema distribuidor de agua es el sistema utilizado para alimentar y controlar los calefactores del primer nivel del sector 2, en este espacio se cuenta con una losa radiante de calefacción, la cual utiliza agua de calefacción a una temperatura menor de la temperatura de la red de alimentación de agua caliente. Dicho mecanismo se compone de dos manifolds y una válvula mezcladora, la cual mediante la apertura proporcional de sus tres vías permite alimentar el agua de calefacción a una temperatura menor. La figura 2.17 muestra un diagrama con el detalle de este sistema.

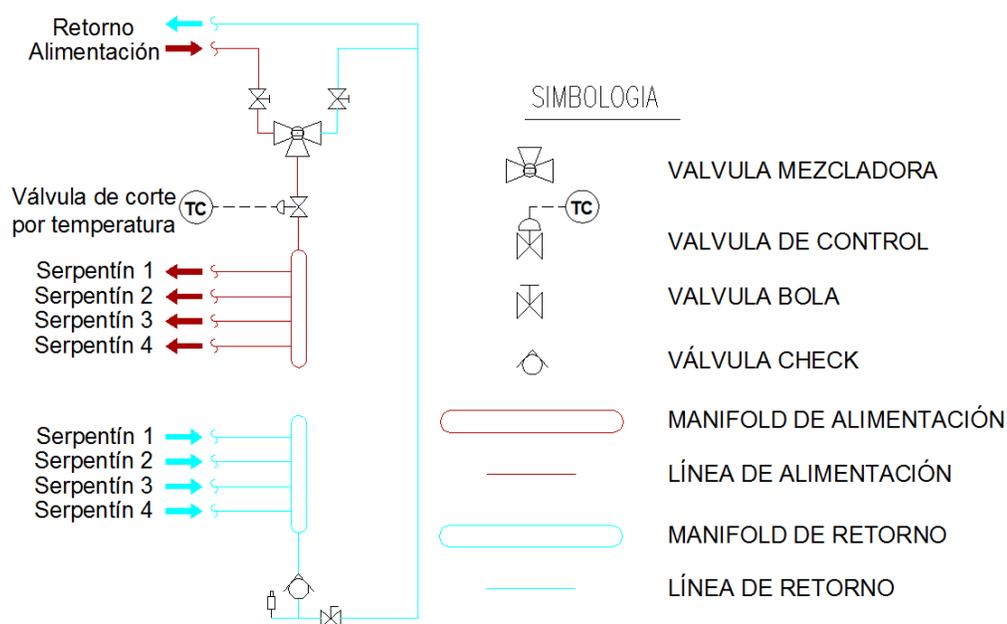


Figura 2. 17 Diagrama sistema surtidor losa radiante

2.3.1 Sectorización del sistema de calefacción existente

A continuación se presenta una planta general con los tres sectores calefaccionados mediante el sistema de calefacción existente. Es importante mencionar que no todos los recintos del edificio principal son calefaccionados por medio del sistema en estudio, ya que en algunos casos y debido al tipo de labores que se realizan, existen sistemas de climatización por medio de equipos de aire acondicionado y en otros casos simplemente no se considera acondicionamiento ambiental. Todas estas variables serán descritas más adelante.

En la figura 2.18 se muestra una vista con la planta del primer nivel del edificio principal, demarcando cada sector, luego, en la figura 2.19 se muestra el segundo nivel.

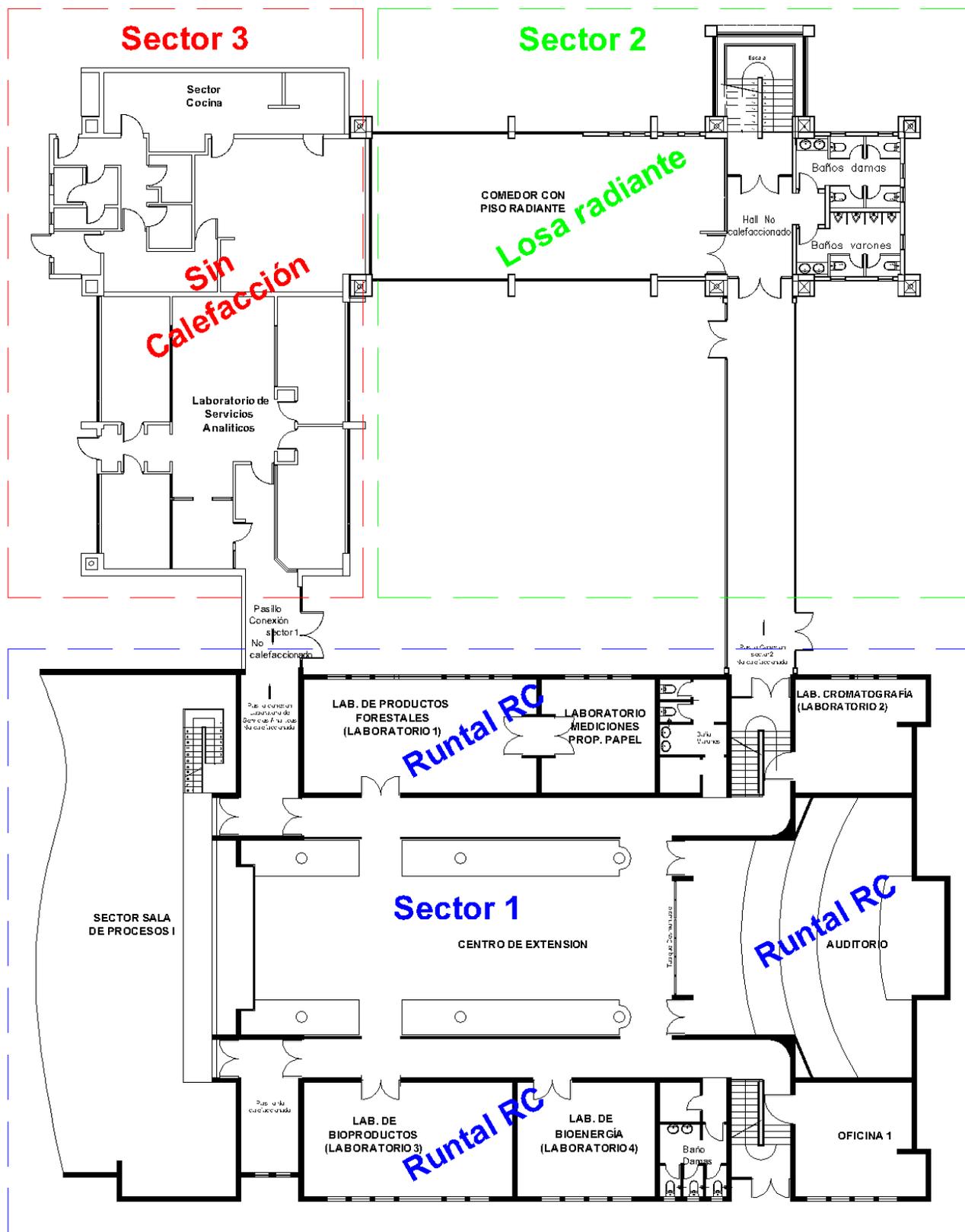


Figura 2. 18 Planta nivel 1



Figura 2. 19 Planta nivel 2

En las tablas 2.1, 2.2 y 2.3 se indican los recintos que componen los diferentes sectores presentes en el sistema de calefacción, considerando únicamente los recintos calefaccionados a través del sistema en estudio, se indica además las características principales de cada recinto y el tipo y modelo de calefactor disponible en dicho recinto.

Tabla 2. 1 Recintos Sector 1

Sector	Nivel	Recinto	Area (m ²)	Volumen (m ³)	Calefactor
Sector 1	Nivel 1	Laboratorio 1	47,0	124,7	Runtal RC 560x1390 Runtal RC 560x1390
		Laboratorio 2	24,6	65,2	Runtal RC 560x1700
		Laboratorio 3	42,2	111,9	Runtal RC 560x1700
		Laboratorio 4	29,0	73,8	Runtal RC 560x1700
		Auditorio	103,0	292,3	Runtal RC 560x2390 Runtal RC 560x2390
		Oficina 1	24,6	65,2	Runtal RC 560x1590
	Nivel 2	Oficina 2	18,4	48,5	Runtal RC 490x3000
		Oficina 3	14,6	38,5	Runtal RC 490x1400
		Oficina 4	14,6	38,5	Runtal RC 490x1400
		Oficina 5	18,4	48,5	Runtal RC 490x1140
		Oficina 6		32,6	Runtal RC 560x1400
		Oficina 7	14,6	38,5	Runtal RC 490x1400
		Oficina 8	14,6	38,5	Runtal RC 490x1400
		Sala de computación	39,2	98,0	NO DISPONE
		Sala de reuniones 1	37,9	94,6	Runtal RC 560x1400 Runtal RC 560x1400
		Sala de reuniones 2	23,8	59,5	Runtal RC 560x1400
	Sala de extensión		275,0	1.422,4	Runtal RC 490x1580 Runtal RC 560x1600

Tabla 2. 2 Recintos sector 2

Sector	Nivel	Recinto	Area (m ²)	Volumen (m ³)	Radiador
Sector 2	Nivel 1	Losa radiante	91,1	241,3	Serpentín 80mx0,2m
					Serpentín 80mx0,2m
					Serpentín 80mx0,2m
					Serpentín 80mx0,2m
	Nivel 2	Oficina 18	11,9	29,7	OCEAN DK 500.800
		Oficina 19	11,9	29,8	OCEAN DK 500.700
		Oficina 20	11,8	29,6	OCEAN DK 500.700
		Oficina 21	11,8	29,6	OCEAN DK 500.700
		Oficina 22	11,9	29,8	OCEAN DK 500.700
		Oficina 23	23,1	57,7	OCEAN DK 500.1500
		Oficina 24	14,2	35,5	OCEAN DK 500.900
Pasillos S2 y S3	152,6	388,7	OCEAN DK 500.1400 OCEAN DK 500.1300 OCEAN DK 500.1300		

Tabla 2. 3 Recintos circuito 3

Sector	Nivel	Recinto	Area (m ²)	Volumen (m ³)	Radiador
Sector 3	Nivel 2	Oficina 9	17,4	43,4	OCEAN DK 500.1200
		Oficina 10	13,3	33,1	OCEAN DK 500.700
		Oficina 11	13,0	32,4	OCEAN DK 500.800
		Oficina 12	19,4	48,6	OCEAN DK 500.1100
		Oficina 13	12,3	30,8	OCEAN DK 500.800
		Oficina 14	12,3	30,8	OCEAN DK 500.800
		Oficina 15	12,3	30,8	OCEAN DK 500.800
		Oficina 16	11,8	29,5	OCEAN DK 500.800
		Oficina 17	12,7	31,8	OCEAN DK 500.800
		Sala de reuniones 3	12,7	31,8	OCEAN DK 500.800

El primer nivel del sector 3 no cuenta con aporte calórico proveniente del sistema de calefacción central en estudio, ya que cuenta con sistemas de climatización independiente, por lo tanto no se considerarán en el estudio de cargas térmicas.

La edificación cuenta a grandes rasgos con 4 tipos de recintos, repartidos entre laboratorios, oficinas, salas de reuniones y espacios de uso común tales como pasillos auditorios y centro de extensión.

A continuación se presentan algunas imágenes de los recintos en estudio.

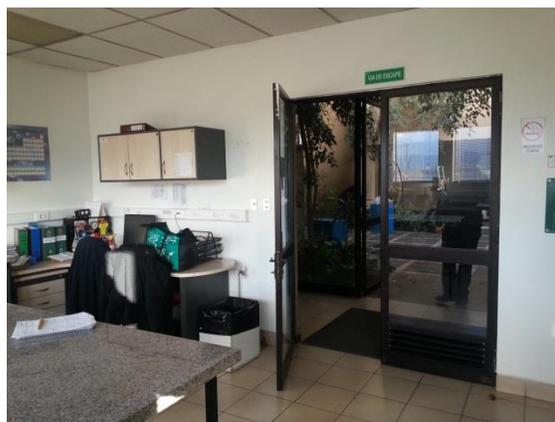


Figura 2. 20 y Figura 2. 21 Laboratorio edificio principal

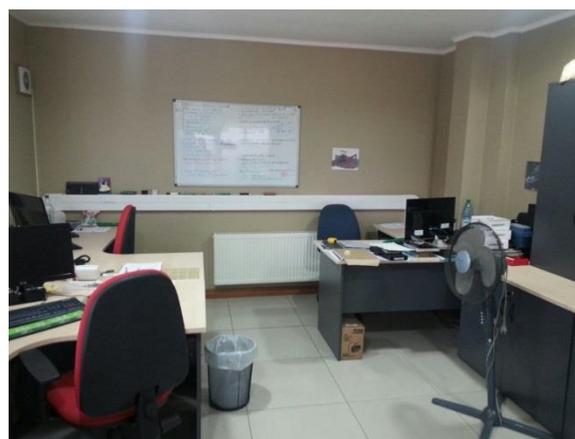
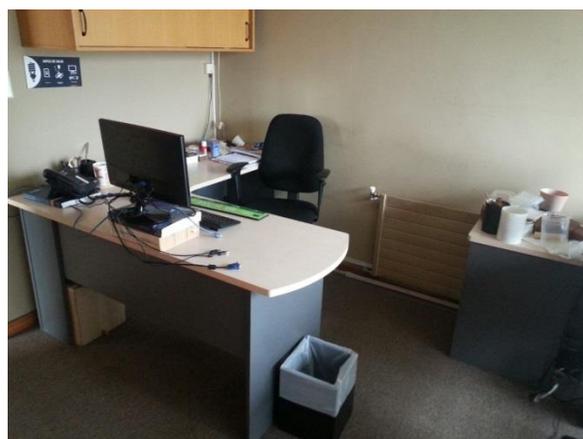


Figura 2. 22 y Figura 2. 23 Oficinas de trabajo



Figura 2. 24 Sala de reuniones 1



Figura 2. 25 Sala de reuniones 2



Figura 2. 26 Sala de reuniones 3



Figura 2. 27 Auditorio



Figura 2. 28 Comedor con losa radiante

2.4 Características generales de la edificación

Es importante destacar las diferencias que existen en la edificación, en cuanto a la materialidad de los elementos constructivos tales como puertas, ventanas, muros y tabiques, pisos, cielos y cubiertas. A continuación se describen las características técnicas principales de la edificación. Estas características son la base del cálculo de la carga térmica requerida por cada recinto.

2.4.1 Puertas

La edificación presenta 6 tipos de puertas, las cuales serán caracterizadas en cuanto a su materialidad a continuación.

Puerta tipo 1: Este tipo de puertas vidriadas se componen de marcos de aluminio anodizado color bronce e incluyen brazo hidráulico en una de sus hojas, la segunda hoja se utiliza normalmente fija. El cristal transparente utilizado es de 6mm de espesor.

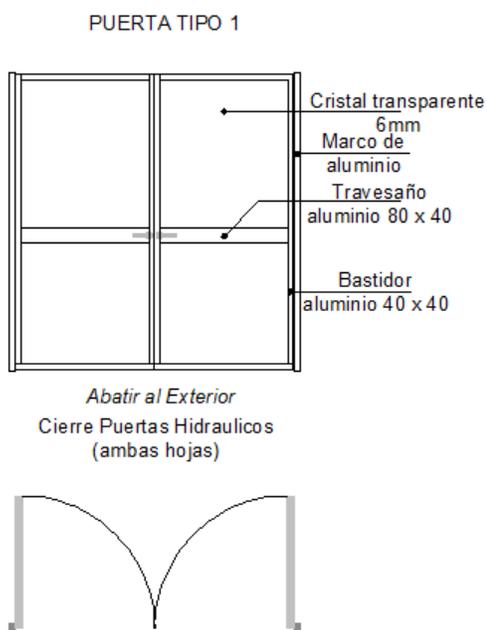


Figura 2. 29 Esquema puerta tipo 1



Figura 2. 30 Puerta tipo 1

La puerta descrita anteriormente, es utilizada en sectores interiores y exteriores de la edificación, esta condición será considerada en el cálculo de la resistencia térmica y el coeficiente global de transferencia “ U ”.

Puerta tipo 2: Este tipo de puertas interiores son enchapadas en madera terciada de 5 mm de una hoja con apertura abatible hacia adentro del recinto. Posee cámara de aire de 30mm de espesor.

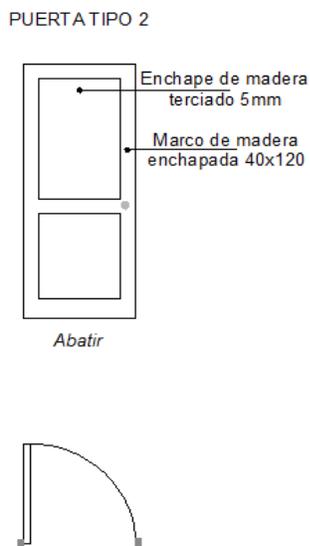


Figura 2. 31 Esquema puerta tipo 2

Figura 2. 32 Puerta tipo 2

Puerta tipo 3: Este tipo de puertas interiores, tiene características similares a la puerta *tipo 2* con enchapadas en madera terciada de 5 mm, de dos hoja con apertura abatible hacia el interior del recinto, la segunda hoja se utiliza normalmente fija. Posee cámara de aire de 30mm de espesor.

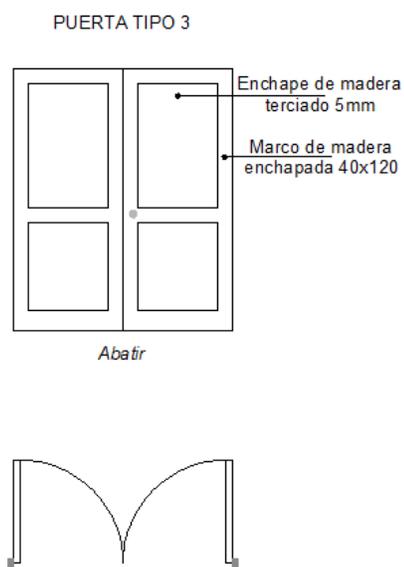


Figura 2. 33 Esquema puerta tipo 3

Figura 2. 34 Puerta tipo 3

Puerta tipo 4: Este tipo de puertas interiores vidriadas se componen de un marco de aluminio anodizado color titanio abatible hacia el interior del recinto. El cristal transparente utilizado es de 6mm de espesor.

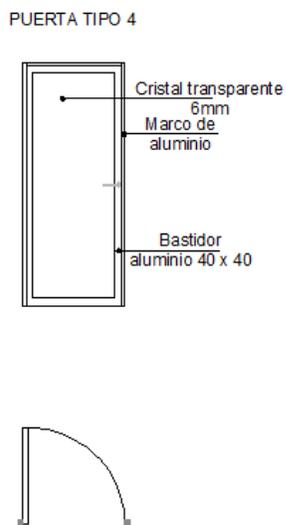


Figura 2. 35 Esquema puerta tipo 4

Figura 2. 36 Puerta tipo 4

Puerta tipo 5: Este tipo de puertas vidriadas se componen de marcos de aluminio anodizado color titanio e incluyen brazo hidráulico en una de sus hojas, la segunda hoja se utiliza normalmente fija. El cristal transparente utilizado es de 6mm de espesor.

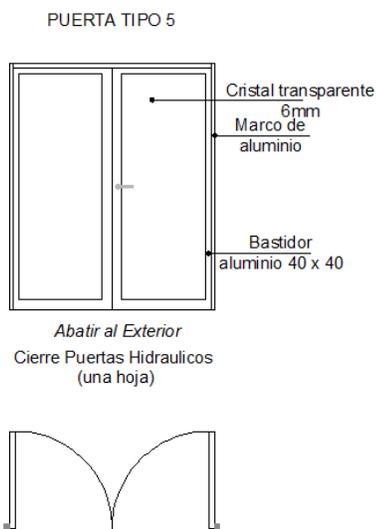


Figura 2. 37 Esquema puerta tipo 5

Figura 2. 38 Puerta tipo 5

Puerta tipo 6: Este tipo de puertas interiores enchapadas en madera terciada de 5 mm, de una hoja con apertura abatible hacia adentro del recinto. Utilizadas en los baños de los sectores 2 y 3. Posee cámara de aire de 30mm de espesor.

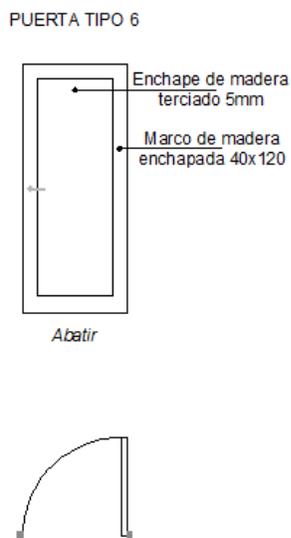


Figura 2. 39 Esquema puerta tipo 6



Figura 2. 40 Puerta tipo 6

2.4.2 Ventanas

Casi la totalidad de las ventanas exteriores utilizan sistemas de termopaneles (DVH) compuestos por dos cristales transparentes con espesores según normas. Existen casos puntuales en donde se instalaron ventanales normales, es decir un cristal transparente lo cual es muy perjudicial energéticamente.

La edificación presenta entonces 2 tipos de ventanas, las cuales serán caracterizadas en cuanto a su materialidad a continuación.

Ventana tipo 1: Este tipo de ventana se compone de un termopanel transparente tipo DVH abatible, con marcos de aluminio anodizado color titanio. Con cámara de aire de 5mm.

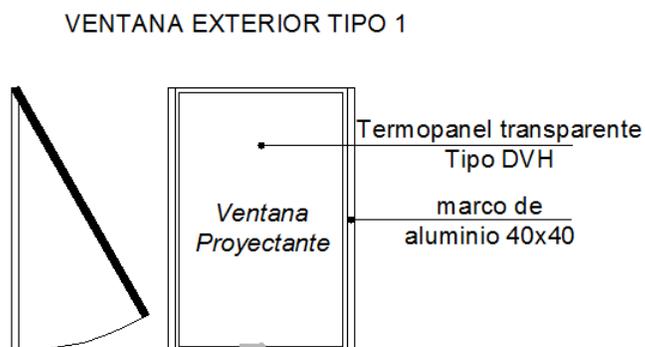


Figura 2. 41 Esquema ventana tipo 1

Figura 2. 42 Ventana tipo 1

Ventana tipo 2: Este tipo de ventana se compone de un termopanel transparente tipo DVH fijo, con marcos de aluminio anodizado color titanio. Con cámara de aire de 5mm. Las características de este tipo de ventanas son idénticas a las ventanas tipo 1, siendo su única diferencia el tipo de marcos, en este caso la ventana posee marco fijo.

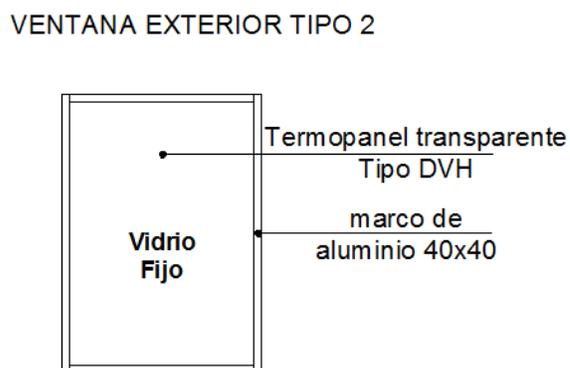


Figura 2. 43 Esquema ventana tipo 2

Figura 2. 44 Ventana tipo 2

2.4.3 Muros exteriores y paredes interiores

El edificio en estudio fue diseñado en base a la normativa vigente según código ACI 318-05 y la norma NCh 430-08. Existen diferentes denominaciones de hormigón utilizado en la construcción de la edificación, dependiendo de la utilización de los elementos. Para el caso del edificio en estudio se ha utilizado para las fundaciones, muros, pilares, vigas, columnas y losas, un hormigón grado H-25 con una resistencia característica $R_{28} \geq 250 \text{ kgf/cm}^2$ a los 28 días y 90% de confiabilidad (**NCh 430-08**).

A continuación, en las figuras 2.45 y 2.46 se presenta la distribución de los 2 tipos de muros exteriores y los 3 tipos de paredes interiores existentes en la edificación. Tal como se aprecia, se ha puesto énfasis al detalle de los recintos que forman parte del sistema de calefacción central sin entregar grandes detalles de los recintos que cuentan con sistemas de climatización propios como el Laboratorio de Servicios Analíticos y zonas sin calefacción.

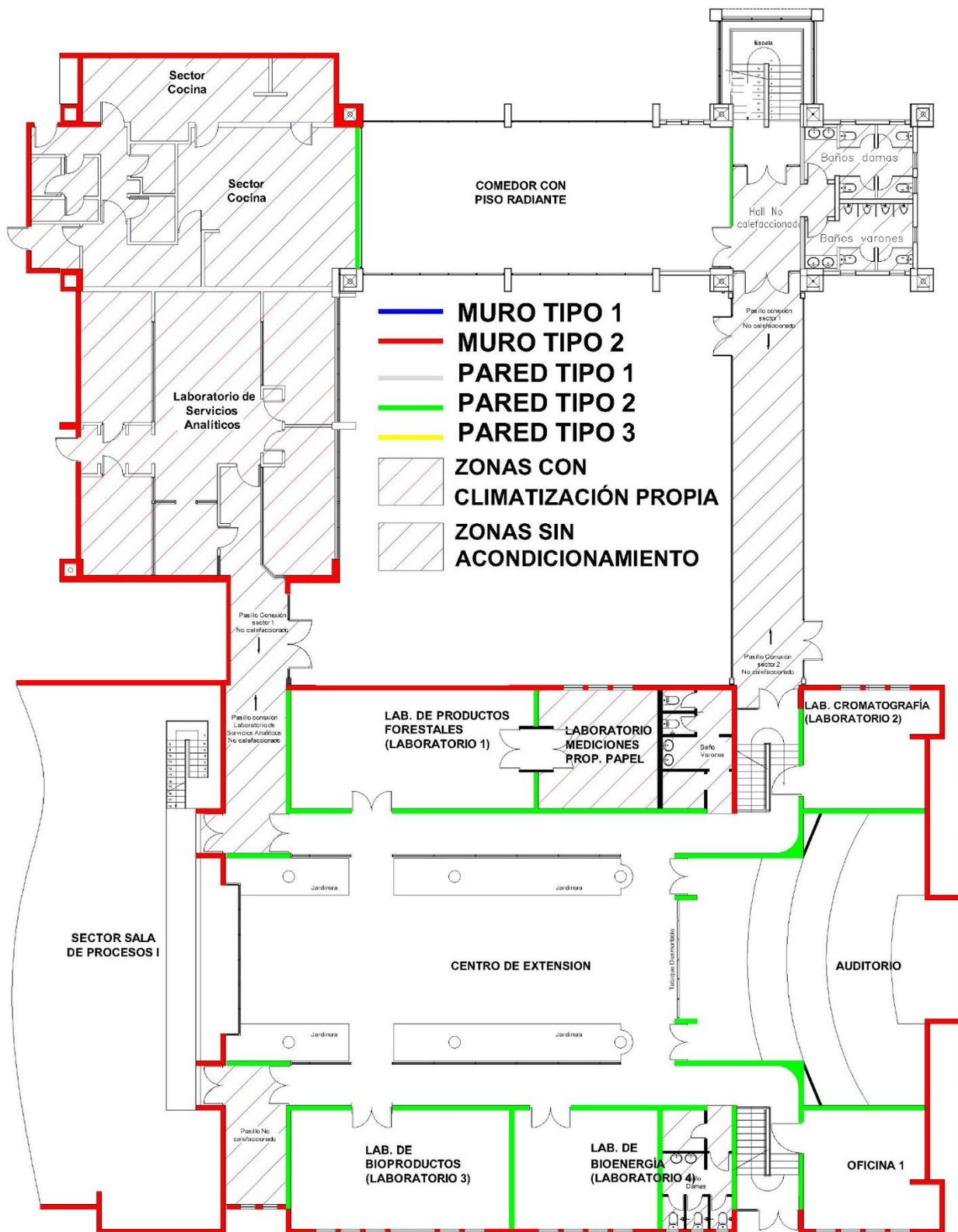


Figura 2. 45 Planta nivel 1

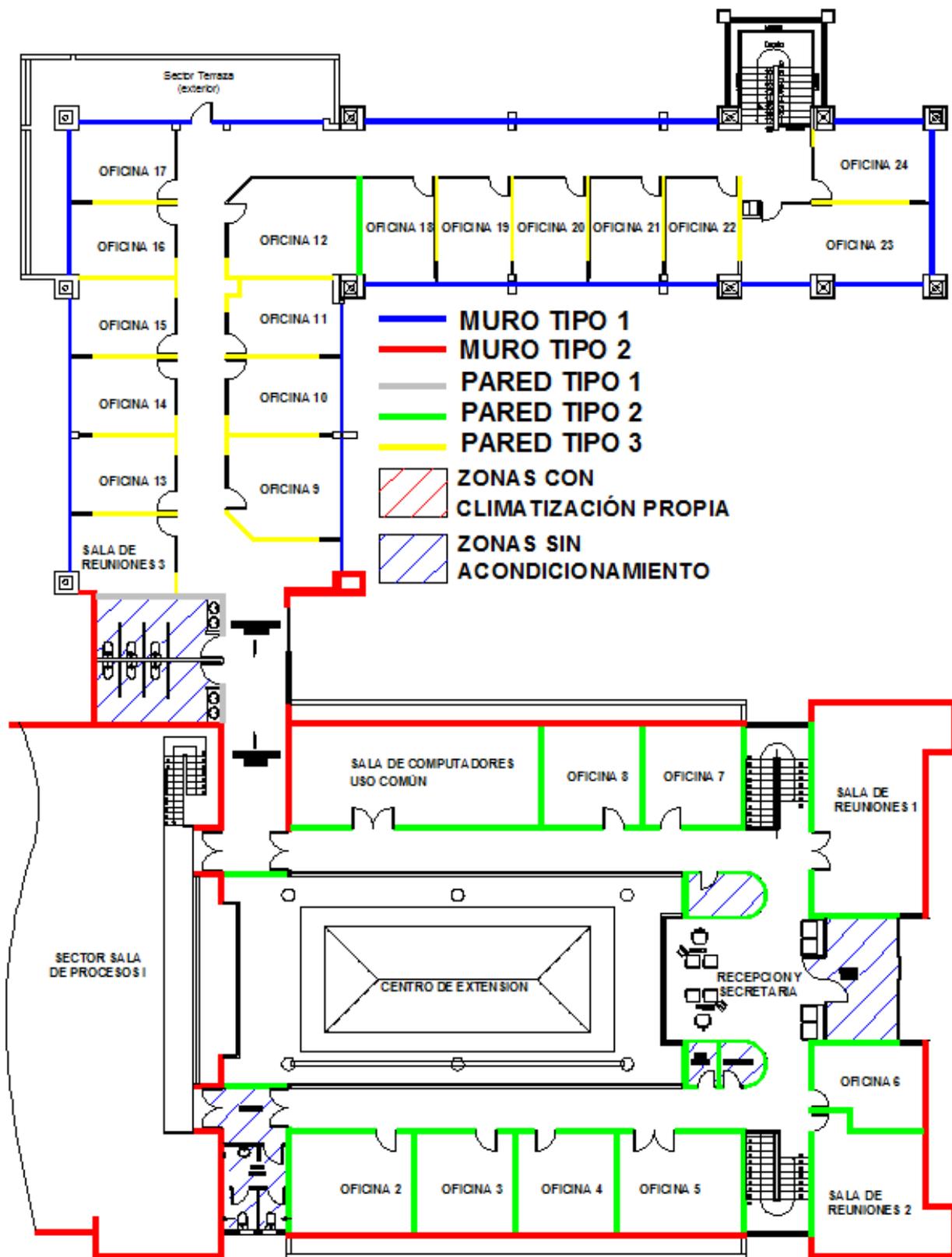


Figura 2. 46 Planta nivel 2

Cada muro indicado en las figuras anteriores, presenta una materialidad diferente acorde a su utilización, lo cual implica diferentes características térmicas, por lo anterior es importante definir la materialidad de cada tipo de muro o pared, para posteriormente cuantificar su conductividad térmica y su coeficiente global de transferencia. Estas variables serán determinadas en el capítulo 3 del presente trabajo.

A continuación se presentan los esquemas con las materialidades de los diferentes tipos de muros y paredes.

Muro tipo 1: Este tipo de muro es utilizado en zonas exteriores de la edificación, su material corresponde a hormigón armado con una capa de estuco mortero en ambas caras y un enlucido de yeso en la cara interior.

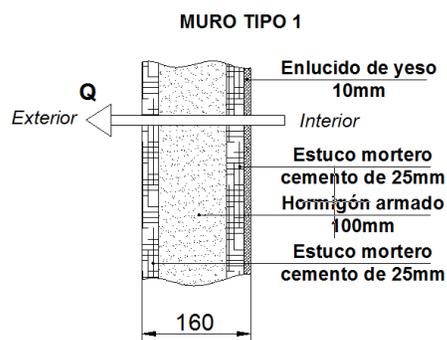


Figura 2. 47 Muro tipo 1

Muro tipo 2: Este tipo de muro es utilizado en zonas exteriores de la edificación, sus características son idénticas al muro tipo 1, cambiando únicamente en el espesor de su centro de hormigón armado.

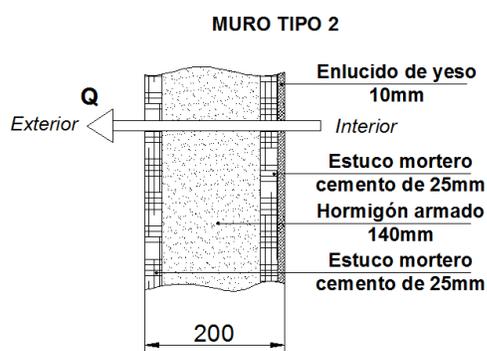


Figura 2. 48 Muro tipo 2

Pared tipo 1: Este tipo de pared es utilizada en zonas interiores de la edificación, definidas como zonas húmedas, tales como: baños y cocinas. La zona húmeda de la muralla cuenta con un porcelanato de 10mm. Sus características son idénticas al muro tipo 1.

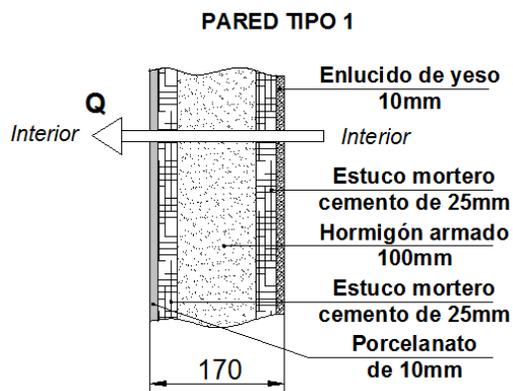


Figura 2. 49 Pared tipo 1

Pared tipo 2: Este tipo de pared es utilizada en zonas interiores de la edificación, sus características son idénticas al muro tipo 2, cambiando únicamente en que esta pared cuenta con dos capas de enlucido de yeso, aumentando el espesor total de la pared.

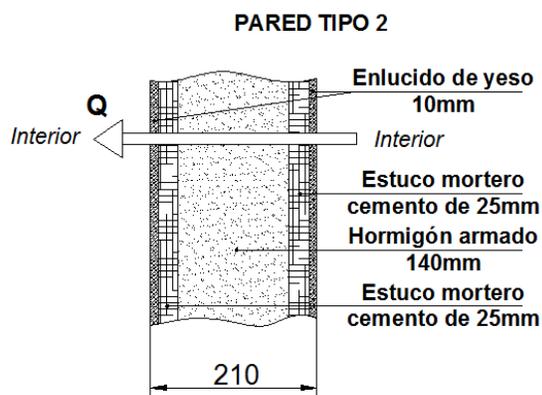


Figura 2. 50 Pared tipo 2

Pared tipo 3: Este tipo de pared es utilizada en zonas interiores de la edificación, específicamente en la división de las oficinas de los sectores 2 y 3, la finalidad de esta pared es generar aislación acústica entre las oficinas, puesto que al ser zonas interiores la transferencia de calor es mínima. La construcción de esta pared se realizó por medio de estructuras livianas de metalcon.

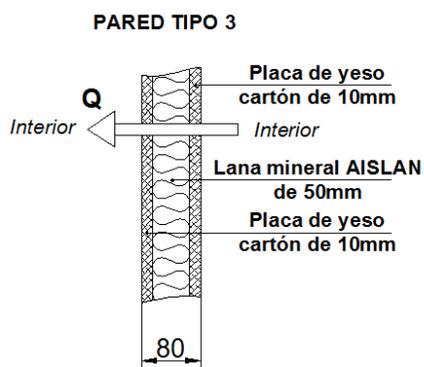


Figura 2. 51 Pared tipo 3

Pared tipo 4: Este tipo de pared vidriada es utilizada en zonas interiores de la edificación, específicamente en la división de las oficinas de los sectores 2 y 3. La composición de este tipo de pared es de un cristal transparente de 6mm en marcos de aluminio,

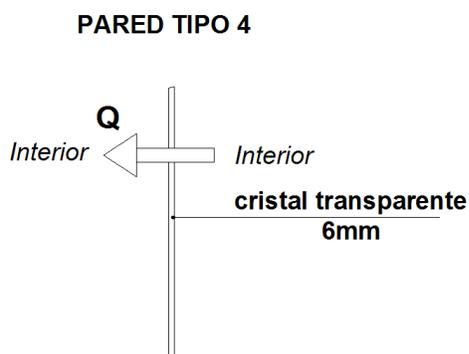


Figura 2. 52 Pared tipo 4

2.4.4 Pisos

En general los pisos de la edificación corresponden a losas de hormigón armado tipo H25 de 10 cm con un afinado de 2 cm, con cerámico de terminación, salvo en el auditorio, en donde se utiliza alfombra como elemento de terminación.

Bajo la losa se cuenta con dos capas de arena de 5cm separadas con polietileno de 0,2mm entre capa, además de una capa de ripio de 20 cm con su debida compactación.

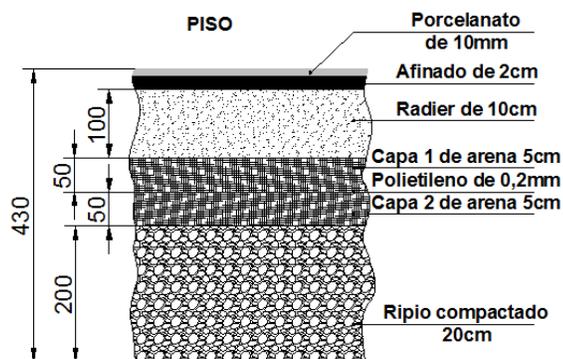


Figura 2. 53 Detalle Piso

2.4.5 Cielos y cubiertas

Existen 4 tipos de cielos, 3 de estos se utilizan en el primer piso separando el ambiente de los recintos de la losa del segundo nivel. El cuarto tipo de cielo corresponde a la separación del ambiente del segundo nivel con el ático de la edificación. A continuación se describen los diferentes tipos de cielos de acuerdo a su materialidad y distanciamiento.

Cielo tipo 1: Se compone de una placa de yeso cartón de 15mm, una cámara de aire de 235 mm y la estructura de la losa más su revestimiento de porcelanato. Este tipo de cielo es utilizado en el sector de oficinas del primer nivel del sector 2 y 3.

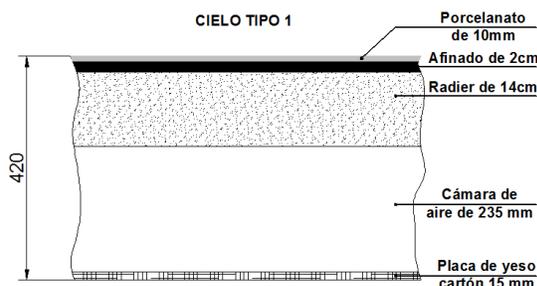


Figura 2. 54 Cielo tipo 1

Cielo tipo 2: Este cielo es de similares características al cielo tipo 1, difiriendo únicamente en el revestimiento de la estructura de la losa en donde en este caso se utiliza alfombra. Este tipo de cielo es utilizado en los pasillos del primer nivel del sector 1.

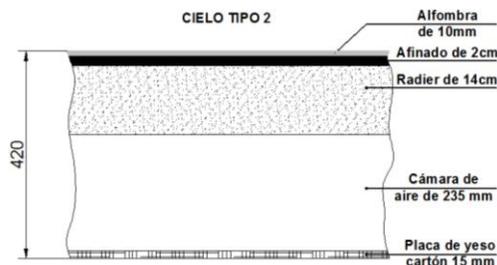


Figura 2. 55 Cielo tipo 2

Cielo tipo 3: Utilizado en el primer nivel del área de laboratorios del sector 1 y 2, además del sector de comedores. Este tipo de cielo es denominado como cielo modular con sistema de cielo americano con placa de fibra mineral *sand* módulo 0,61 x 0,61 canto rebajado sobre perfilaría electro galvanizada y termo esmaltada color blanco.

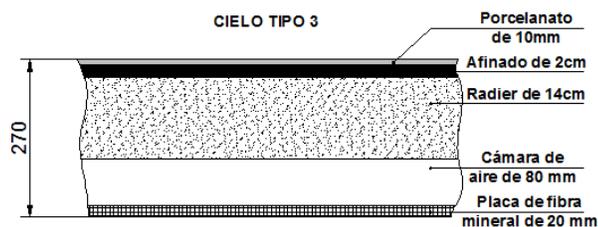


Figura 2. 56 Cielo tipo 3

Cielo tipo 4: Este tipo de cielo es utilizado en la separación del segundo nivel con el ático, se compone de dos placas de yeso cartón, cámara de aire y material aislante.

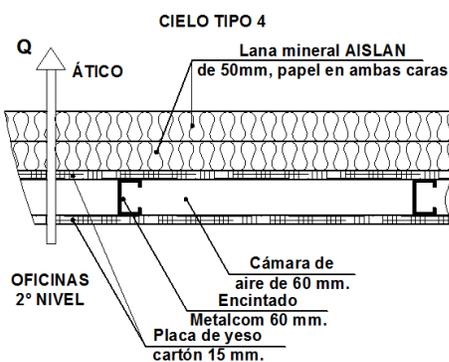


Figura 2. 57 Cielo Tipo 4

Cielo tipo 5: Este tipo de cielo es utilizado en el espacio denominado como centro de extensión (patio central) del sector 1, el cual se compone de planchas de policarbonato alveolar carbolux blanco transparente de 10mm expuestos directamente al exterior, sin cámara de aire ni aislante térmico.

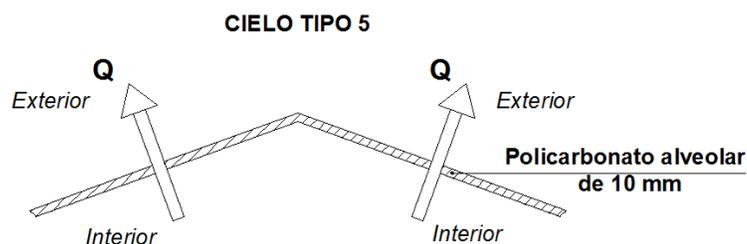


Figura 2. 58 Cielo tipo 4

Cubierta: En cuanto a las cubiertas, se utilizan cubiertas de paneles INSTAPANEL E-KOVER PV-4 de 0,5 mm, prepintado al horno, color gris perla. Este tipo de cubiertas posee un relleno de poliuretano de 50mm, lo cual mejora considerablemente la aislación térmica del techo, evitando pérdidas de calor en invierno y la formación de condensado (CINTAC, 2015).

Las cubiertas proyectadas son dispuestas en costaneras metálicas previa instalación de un fieltro asfáltico de 15 lbs.

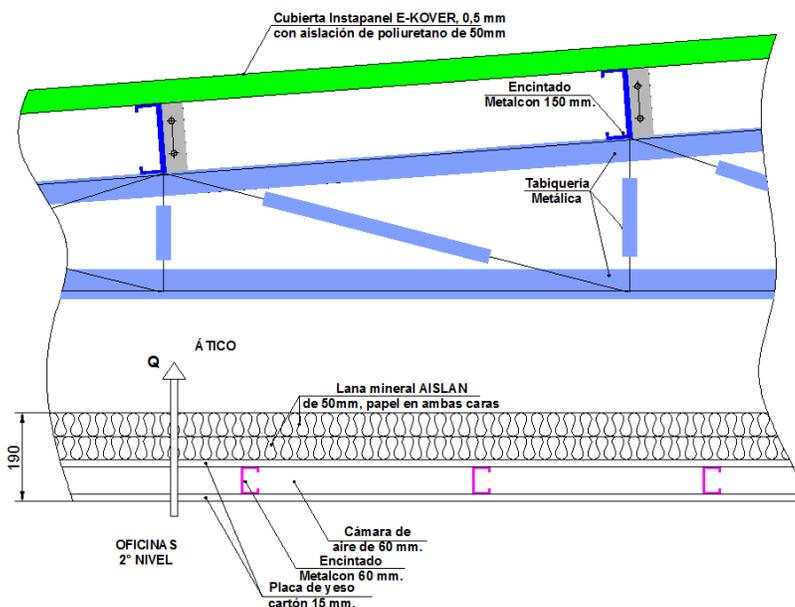


Figura 2. 59 Detalle cubiertas

CAPÍTULO 3: SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

3.1 Breve historia de los sistemas de calefacción

El ser humano ha necesitado de abrigo adicional a su anatomía natural puesto que la piel y el pelaje del ser humano no son capaces de soportar las bajas temperaturas a las que se expone en su ambiente natural. Para ello el ser humano ha utilizado lo que ha tenido a su alcance para poder disminuir y soportar la gran pérdida de calor que de forma natural ocurre al exponerse a ambientes con temperaturas más bajas que las temperaturas de confort que el ser humano necesita. Por lo anterior, la calefacción ha sido muy importante en el desarrollo del ser humano y de ella ha dependido en gran medida su adaptación a zonas del planeta con bajas temperaturas.

Antes del descubrimiento del fuego, el ser humano se protegía en las épocas de frío utilizando pieles de animales para cubrirse y asentándose en lugares de climas cálidos, sin una gran variación de temperaturas, reduciéndose el radio de habitabilidad del hombre a zonas templadas del planeta.

El utilizar el fuego como medio de calefacción tiene sus inconvenientes, principalmente porque necesita una gran cantidad de oxígeno, su combustión desprende gases tóxicos y es peligroso si no se delimita bien su espacio. A lo largo de la historia se han ido diseñando sistemas de calefacción a través del fuego y de la evacuación del humo, desde el Hipocausto utilizado por los romanos hasta las estufas a leñas y los sistemas de calefacción central utilizados en la actualidad.

Llegó la Revolución Industrial y con ella la utilización del vapor como elemento de potencia y también de calefacción. De esta manera aparecieron las calderas que calentaban fluidos y éstos eran transportados a través de conductos o tuberías hacia los locales o viviendas a calentar. La principal ventaja es que la sala de la caldera podía estar en un espacio muy ventilado en un local separado de las viviendas y transportar la energía calorífica a habitáculos, edificios y hasta barrios enteros (calefacción urbana). Más adelante, el vapor fue sustituido por agua, elemento que hemos utilizado hasta hoy en día (**GIACOMINI, 2015**). El combustible más utilizado en estos sistemas de calefacción ha sido el fueloil (petróleo N°6), la leña, el GLP y el gas natural, a los que se ha añadido la electricidad como elemento productor de calor y el pellet de madera.

Actualmente los sistemas de calefacción central permiten además de la calefacción de ambientes, la posibilidad de disponer de agua caliente sanitaria, lo cual es muy ventajoso. En la figura 3.1 se muestra un sistema de calefacción mixto, el cual además de ser utilizado para calefacción de ambientes, entrega agua caliente sanitaria (ACS) para uso y consumo humano.

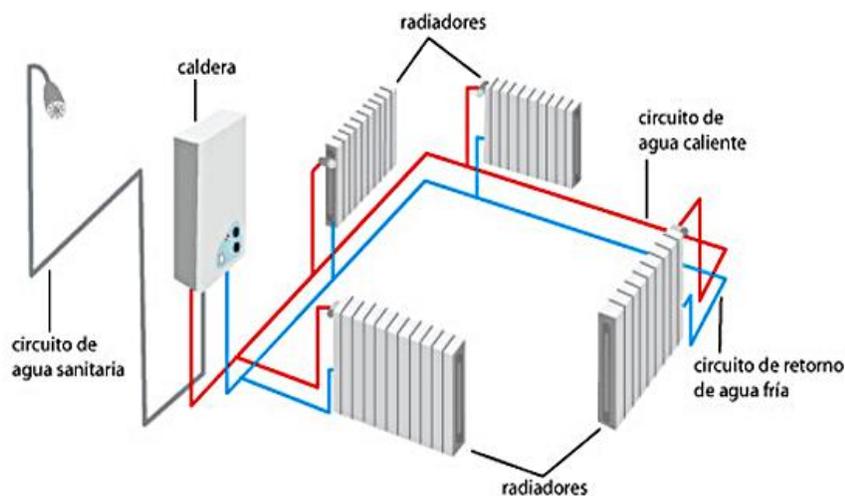


Figura 3. 1 Sistema de calefacción central mixto

3.2 Sistemas de calefacción central en la actualidad

Actualmente los sistemas de calefacción central son uno de los sistemas de calefacción más utilizados a nivel domiciliario, comercial e industrial puesto que presentan características favorables a los usuarios, permitiendo a éstos calefaccionar recintos de manera limpia, estética y segura. Este sistema funciona mediante el flujo de agua caliente generada en una caldera, distribuyéndose por un sistema de tuberías hasta los calefactores.

Las principales ventajas de la calefacción central son que gracias a su capacidad calorífica se puede lograr con mayor rapidez la temperatura deseada, es un sistema de calefacción totalmente sectorizable y gracias al alto rendimiento de los sistemas de generación de calor se logra una mayor eficiencia. También es relevante que este tipo de sistemas de calefacción no generan contaminación intradomiciliaria puesto que el generador de calor es ubicado fuera del recinto a calefaccionar, evitando que la contaminación generada por la combustión entre en contacto con los usuarios, evacuando las emisiones contaminantes hacia un ambiente exterior al recinto.

La figura 3.2 muestra un sistema de calefacción central aplicado en una vivienda. En este esquema se cuenta con una caldera ubicada en el nivel inferior y dos niveles superiores calefaccionados con piso radiante y radiador de pared, cada recinto es controlado desde un termostato, el cual permite o no permite el paso de agua dependiendo de la necesidad de aporte calórico del recinto.

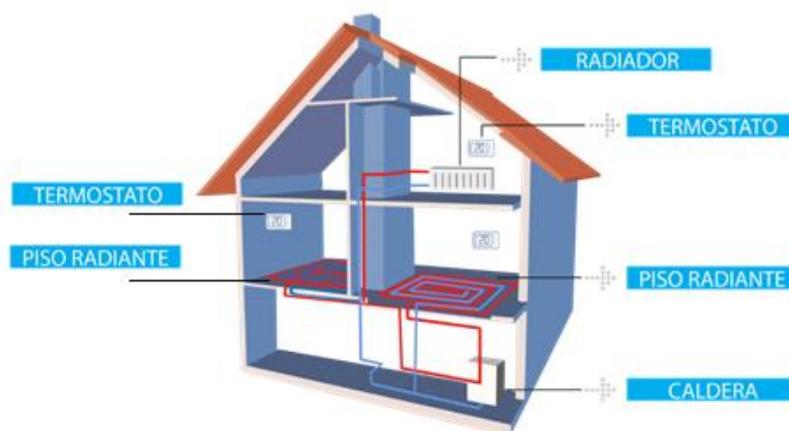


Figura 3. 2 Sistema de calefacción central

3.2.1 Calefacción por radiadores

Este método de calefacción se sustenta en el uso de equipos de transferencia de calor conocidos comúnmente como radiadores, los cuales son intercambiadores de calor concebidos para elevar la temperatura de un recinto. Una bomba de circulación impulsa el agua caliente procedente de la caldera hacia el conjunto de equipos de intercambio calórico dispuestos de acuerdo a las necesidades de los diferentes recintos a calefaccionar.

El nombre de radiadores se les dio a estos equipos, puesto que cuando se inventaron se suponía que el calor se intercambiaba por radiación (propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas), de ahí la palabra, pero este fenómeno, a grandes rasgos, solamente es cierto en los casos en los que la temperatura superficial supera los 70° C (QUIMICA, 2014). Hoy en día se sabe que la mayor parte del calor se intercambia por convección, ya que en condiciones ideales de operación los calefactores utilizan agua de entrada no mayor a 90°C, por otro lado, por motivos de seguridad los calefactores no deben alcanzar altas temperaturas de operación puesto que pueden ocasionar quemaduras por contacto directo.

La convección es una transferencia de calor que se caracteriza porque se produce a través de un fluido (aire o agua) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. Así, el aire de una habitación, al calentarse, aumenta su volumen específico de modo que disminuye su densidad y asciende, desplazando el fluido que se encuentra en la parte superior y que está a menor temperatura. Convección en sí es el transporte de calor por medio de las corrientes ascendente y descendente del fluido.

En el mercado existen una gran cantidad de equipos para transferencia de calor, a continuación se mencionan los principales tipos de intercambiadores de calor conocidos como radiadores.

Convectores de zócalo (guardapolvos)

Este tipo de equipos se trata de uno o más tubos de cobre que transportan el agua caliente, recubiertos de aletas de aluminio permitiendo la transferencia de calor por efecto de la convección natural. La capacidad del calefactor dependerá del tipo de equipo, número de tubos y el largo. Los modelos que existen en la actualidad son:

- TD-T
- Muricel MU-MUD
- Pluricel P
- Base R

Generalmente se utiliza la siguiente nomenclatura: MODELO-TAMAÑO (Ancho x Alto x Diámetro del tubo), ejemplo: MUD-4 x 4 x 1 ¼"

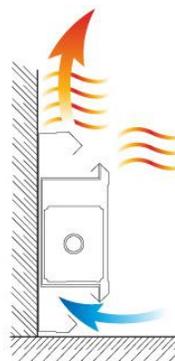


Figura 3. 3 Esquema convector de zócalo

Radiador Runtal y Runtal RC

Conocidos también como sistema de paneles radiantes o radiadores extraplanos. Este radiador es formado por paneles de acero (placas horizontales) generalmente de un ancho de 70 mm. La capacidad del equipo depende del tipo de radiador ya sea con placa convectiva (modelo Runtal RC) o sin placa convectiva (modelo Runtal R), la cantidad de placas y el largo del equipo. Actualmente este equipo no se utiliza en proyectos nuevos, sin embargo, en las instalaciones anteriores al año 2000 fue muy utilizado, por lo tanto es muy necesario conocer sus características para realizar evaluaciones de sistemas de calefacción existentes. Generalmente se utiliza la siguiente nomenclatura: MODELO-ALTURA-LARGO (altura en cm, largo en m), ejemplo: RC-56-2



Figura 3. 4 Radiador Runtal

Radiador modelo BIG

Este tipo de calefactor se forma por un conjunto de elementos verticales cuyos largos son determinados por el modelo a emplear. La capacidad del equipo dependerá del modelo del calefactor y el número de elementos a utilizar. Los modelos disponibles en este tipo de calefactores son: el modelo 350, 500, 600, 700 y 800, en donde el modelo indica la altura en mm del elemento, el ancho del elemento es de 80mm y su profundidad es de 99mm. Generalmente se utiliza la siguiente nomenclatura: MODELO/N° DE ELEMENTOS, ejemplo: 350/6

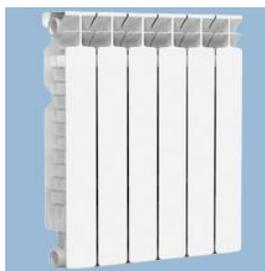


Figura 3. 5 Radiador modelo BIG

Radiador modelo SIMUN

Al igual que el modelo BIG, este tipo de calefactor se forma por un conjunto de elementos verticales cuyos largos son determinados por el modelo a emplear. La capacidad del equipo dependerá del modelo del calefactor y el número de elementos a utilizar. La diferencia con el modelo BIG es en la forma geométrica de los elementos verticales. Los modelos disponibles en este tipo de calefactores son: el modelo 500, 600, 700 y 800, en donde el modelo indica la altura en mm del elemento y en todos los modelos el ancho del elemento es de 80mm, su profundidad puede ser de 80 ó 100mm. Generalmente se utiliza la siguiente nomenclatura: MODELO/PROFUNDIDAD, ejemplo: 500/80



Figura 3. 6 Radiador modelo SIMUN

3.2.2 Sistema de calefacción por piso radiante

El sistema de calefacción por piso radiante es un sistema de calefacción compuesto por una o más redes de tuberías distribuidas uniformemente bajo pavimentos (ver figura 3.7) que después de aportar su calor al ambiente convergen en uno o varios colectores de retornos. El pavimento absorbe la energía térmica del agua y éste a su vez emite la energía al recinto mediante radiación y en menor grado por convección natural.

Una de las ventajas que presenta este sistema de calefacción es que se puede aprovechar una gran superficie de intercambio, siendo posible calentar entornos con agua a bajas temperaturas. Otra ventaja, es que la distribución de la temperatura es más homogénea en comparación a la utilización de radiadores, en donde la temperatura es más alta en la zona cercana al equipo. La principal desventaja de este tipo de sistemas de calefacción es que son de muy difícil acceso, por lo tanto en caso de presentar una filtración su reparación es muy costosa. Otra desventaja es que la temperatura de entrada del agua es de 40 – 50°C, ya que la temperatura de la superficie del piso no debe ser mayor a 29°C, esto genera que el tiempo necesario para alcanzar la temperatura de confort sea mayor, en relación a los sistemas de calefacción que utilizan radiadores (**ORTEGA, 2001**).

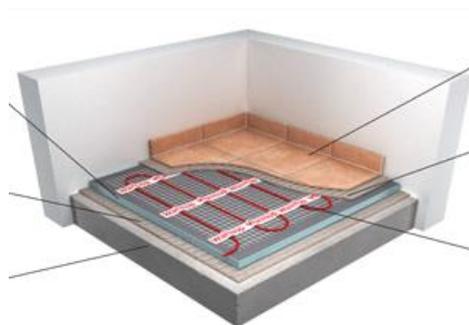


Figura 3. 7 Sistema de calefacción por piso radiante

3.3 Calderas de calefacción

Las calderas de calefacción son recipientes metálicos que tienen por objeto transferir la energía térmica producida por la combustión de un combustible o resistencias eléctricas a un fluido para posteriormente transportarlo hasta la fuente de intercambio de calor, en este caso generalmente se utiliza agua líquida como fluido para el transporte del calor.

Tal como se muestra en la figura 3.8 una caldera está compuesta por un hogar, en donde se realiza la combustión, un intercambiador de calor, chimenea y accesorios.

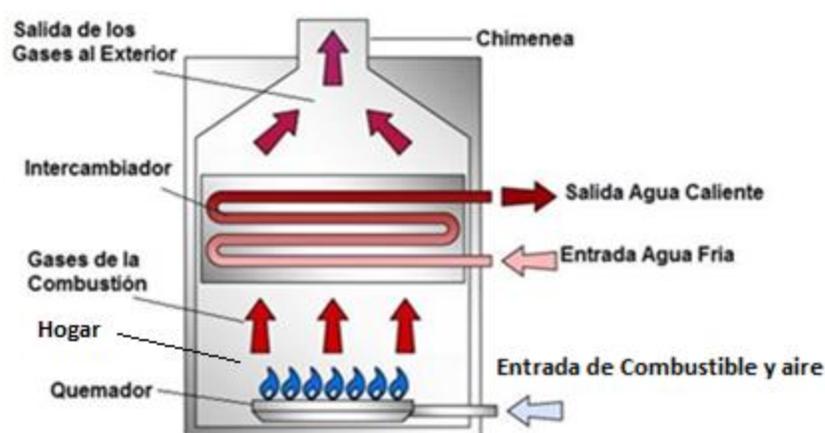


Figura 3. 8 Esquema caldera de calefacción

Existen varias clasificaciones para las calderas de calefacción siendo las más utilizadas las siguientes:

3.3.1 Clasificación por tipo de combustibles

Las calderas utilizan distintas fuentes de calor y dependiendo de ésta, la caldera utiliza distintos tipos de quemadores, hogar y accesorios, a continuación se mencionan las fuentes de calor más comunes.

- **Combustible líquido: Petróleo, kerosene, otros**
- **Combustibles a gas: Gas Natural, Gas licuado (GLP), BioGas**
- **Combustibles sólidos: Biomasa, carbón**
- **Electricidad**

3.3.2 Clasificación por tipo de producción

Esta clasificación tiene relación con la prestación que permite la caldera de calefacción existiendo calderas que solo permiten realizar calefacción por medio de intercambiadores de calor y otras que además permiten la producción de agua caliente sanitaria (ACS).

- **Solo calefacción**
- **Mixta instantánea (Calefacción y agua caliente sanitaria)**
- **Mixta con acumulación**

3.3.3 Clasificación según la cámara de combustión, contaminación y evacuación de gases

Las calderas lanzan distintos tipos de gases a la atmosfera cuando están en funcionamiento. Estos gases son más o menos contaminantes dependiendo del combustible que utilizan y del tipo de combustión que realizan las calderas del combustible que consumen. Todas las calderas domesticas tienen la consideración de atmosféricas al necesitarse en todos los casos la presencia de oxígeno en la cámara de combustión, independientemente de si la cámara de combustión es abierta o estanca.

- **Atmosférica o de tiro natural**
- **Tiro Forzado**
- **Presurizada**
- **Estanca**
- **Caldera de condensación**

3.3.4 Clasificación según normativa vigente en Chile.

El Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción a través del DS 66 del 2 de Febrero del 2007, establece el reglamento de instalaciones interiores y medidores de gas, en este reglamento existe una definición y clasificación técnica para las calderas de calefacción o calentadores de agua (**DS 66, 2007**).

Los calentadores de agua se definen como artefactos a gas diseñados para proveer agua caliente destinada, generalmente, para fines sanitarios y/o calefacción, domésticos o

comerciales. Desde el punto de vista de su diseño, funcionalidad e instalación los calentadores de agua se clasifican en los siguientes tipos:

Caldera a gas: Artefacto de combustión a gas auto-contenido para proveer vapor o agua caliente, para aplicaciones industriales, calefacción y/o usos sanitarios.

Caldera a gas de agua caliente: Aquella destinada a proveer agua caliente, para calefacción y/o usos sanitarios.

- a) Caldera de baja presión. Artefacto a gas diseñado exclusivamente para proveer agua caliente para calefacción o suministro de ésta, a temperatura de hasta de 121 (°C) (250 °F) y presión de hasta 1.100 kPa (160 psig) o, alternativamente, para generar vapor de agua a una presión de hasta 100 kPa (15 psig).
- b) Caldera mural. Aquella diseñada para ser instalada fija a un muro o pared.
- c) Caldera de pie. Aquella diseñada para ser instalada fija al suelo.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS TÉRMICO DE LA EDIFICACIÓN

La Unidad de Desarrollo Tecnológico cuenta con tres circuitos de calefacción repartidos en tres sectores del edificio principal tal como se ilustró en las figuras 2.18 y 2.19. Estos sectores son alimentados desde un manifold principal por medio de tres bombas de recirculación de rotor húmedo. El sistema de calefacción de la UDT utiliza principalmente calefactores tipo Runtal RC en el sector 1 y OCEAN tipo DK 500 en los sectores 2 y 3, además de lo anterior, en el sector 2 se dispone de un sistema de calefacción de piso radiante el que calefacciona el sector de comedores (ver figuras 2.18 y 2.19, páginas 14 y 15). La disminución de la temperatura del agua de calefacción necesaria para el piso radiante se consigue mediante la regulación de una válvula mezcladora (ver figura 2.17, página 13), la cual restringe la temperatura máxima del agua de entrada al piso radiante mediante la mezcla de agua caliente con agua de retorno, de esta forma, la temperatura de entrada para el piso radiante no supera en ningún caso los 45°C máximos permitidos para este tipo de sistemas de calefacción (**ORTEGA, 2001**).

Como condiciones de diseño, se considerarán los recintos que actualmente cuentan con un sistema de climatización diferente a la red de calefacción central, con una temperatura igual a la temperatura de confort definida para los diferentes recintos a calefaccionar. Lo anterior implica que no se generará transferencia de calor desde dichos recintos hasta los colindantes calefaccionados por medio del sistema de calefacción central sin la necesidad de sumar requerimiento a la carga térmica calculada. Por otra parte, al tratarse de un sistema de calefacción central (solo aporte de calor), se considera como condición de diseño más desfavorable, que el recinto no recibe aporte energético de las personas, equipos eléctricos, luces, radiación solar, etc (**CARRIER, 2009**).

A continuación en las figuras 4.1 a 4.6 se presentan las vistas de planta con los detalles de cada sector del edificio principal, especificando los recintos sin acondicionamiento ambiental en achurado AZUL y los que ya cuentan con un sistema de climatización ajeno a la red de calefacción en estudio achurado en ROJO. Lo anterior es muy relevante en dicho trabajo puesto que condicionará en gran medida los requerimientos térmicos de cada recinto demandante.

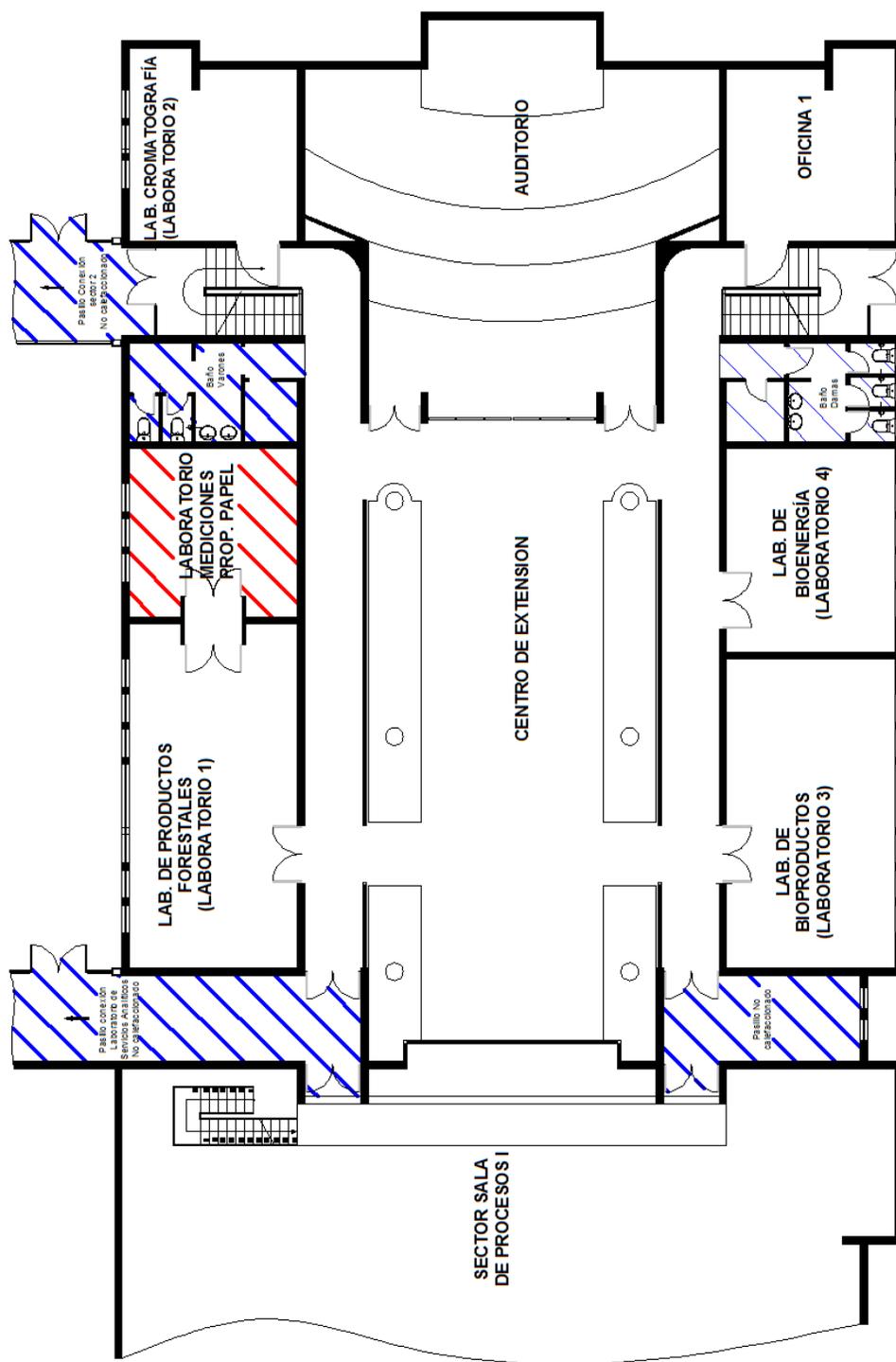


Figura 4. 1 Primer nivel sector 1

En la figura 4.1 las zonas no calefaccionadas corresponden a los recintos achurados en color azul. En el primer nivel del sector 1 existen 5 recintos que se consideran como espacios sin calefacción.

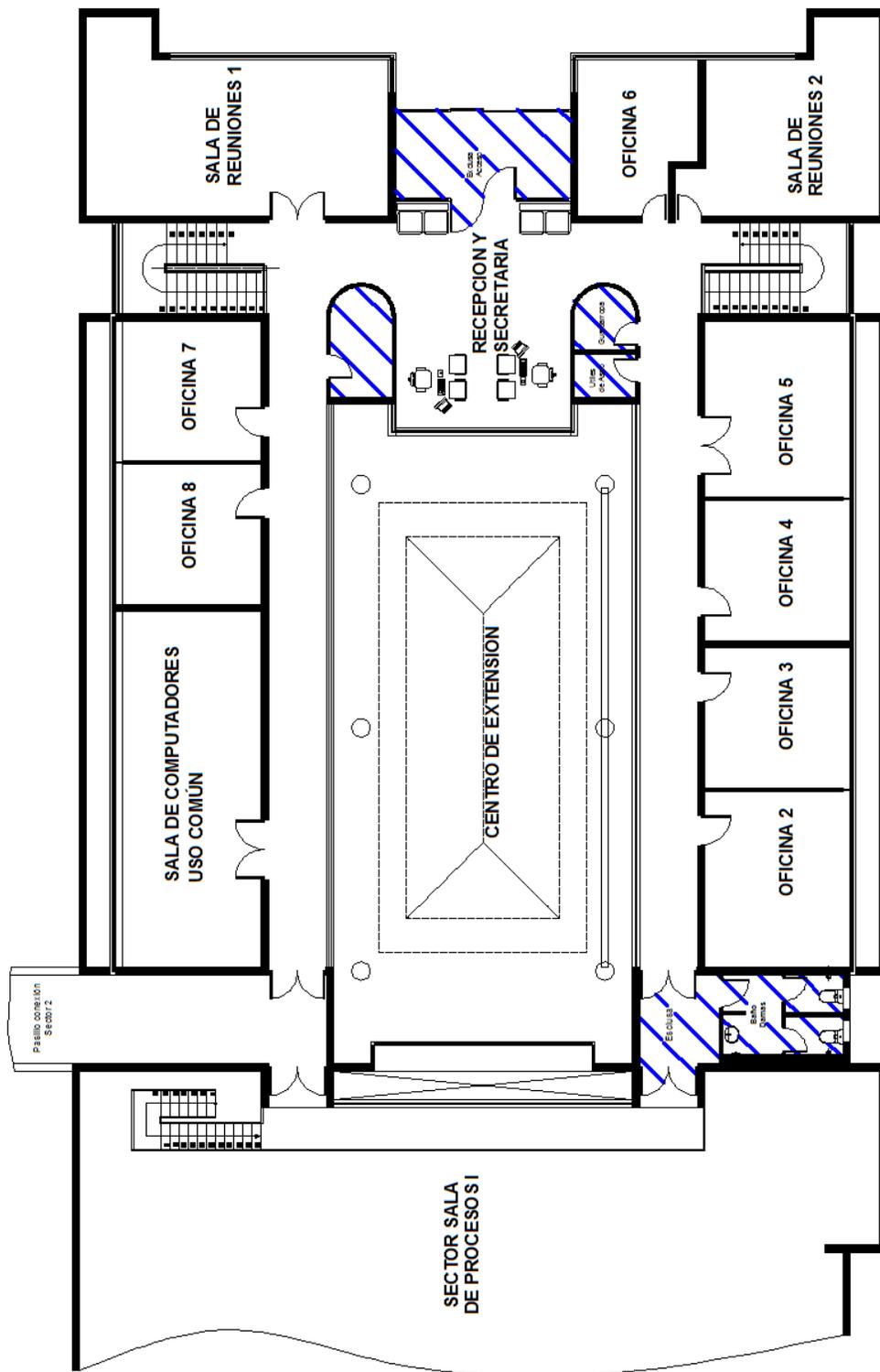


Figura 4. 2 Segundo nivel sector 1

Tal como se aprecia en la figura 4.2, en el segundo nivel del sector 1 existen 3 recintos que se consideran como espacios sin calefacción.

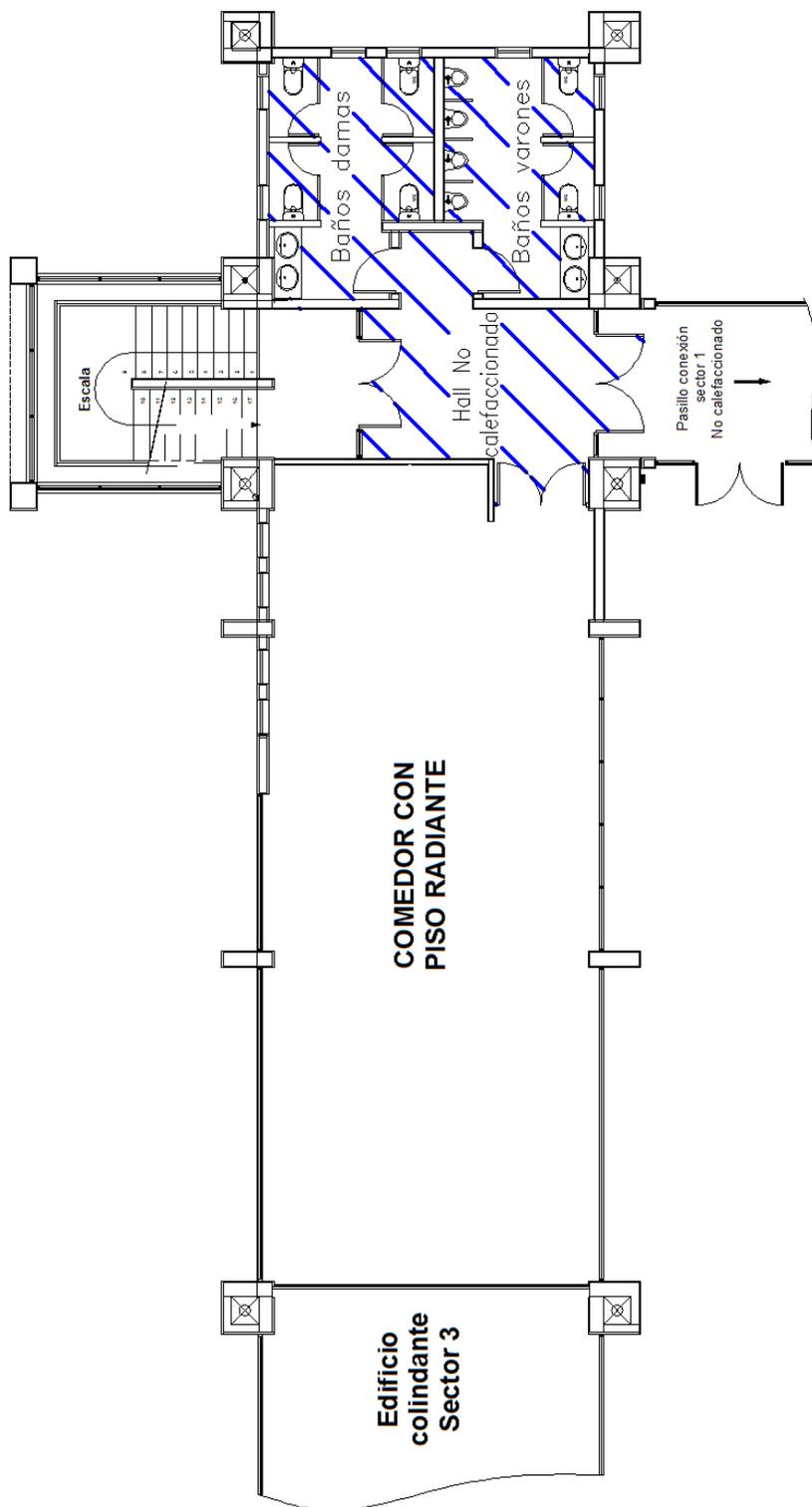


Figura 4. 3 Primer nivel sector 2

Tal como se aprecia en la figura 4.3, en el primer nivel del sector 2 existen 2 recintos que se consideran como espacios sin calefacción.

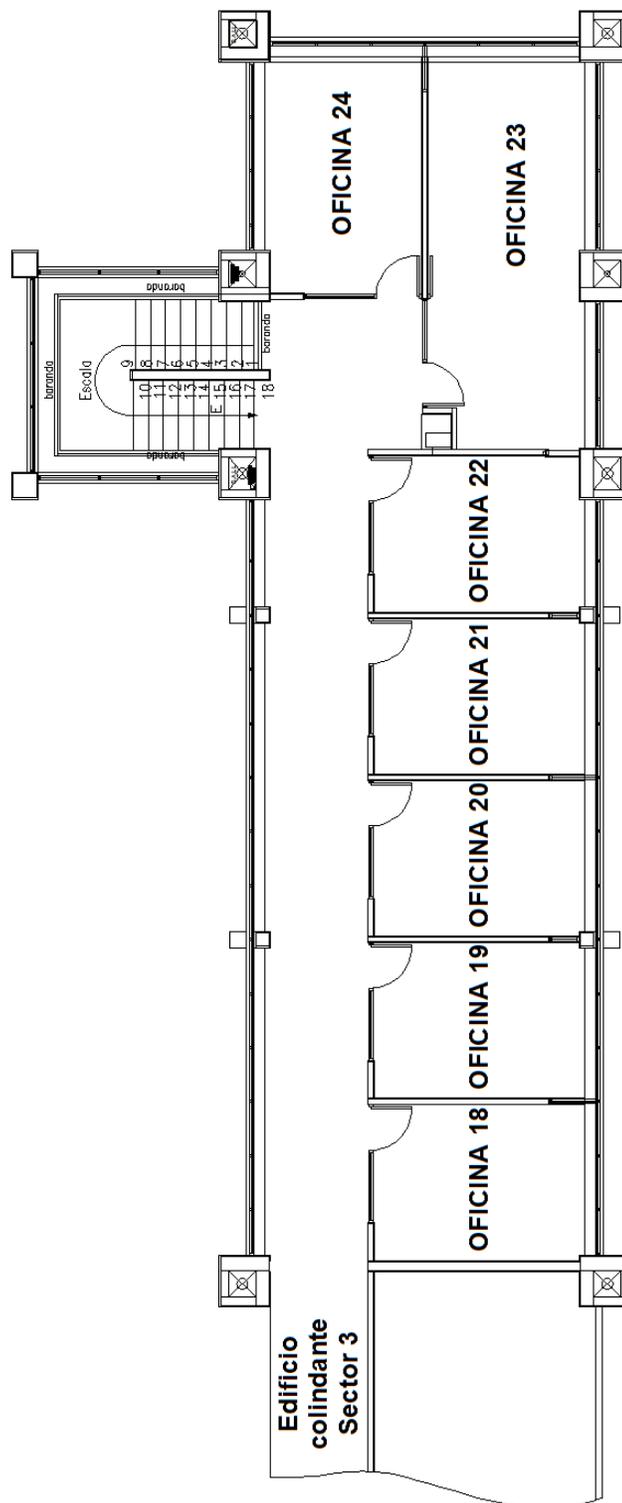


Figura 4. 4 Segundo nivel sector 2

Tal como se aprecia en la figura 4.4, en el segundo nivel del sector se consideran todos los recintos con acondicionamiento ambiental.

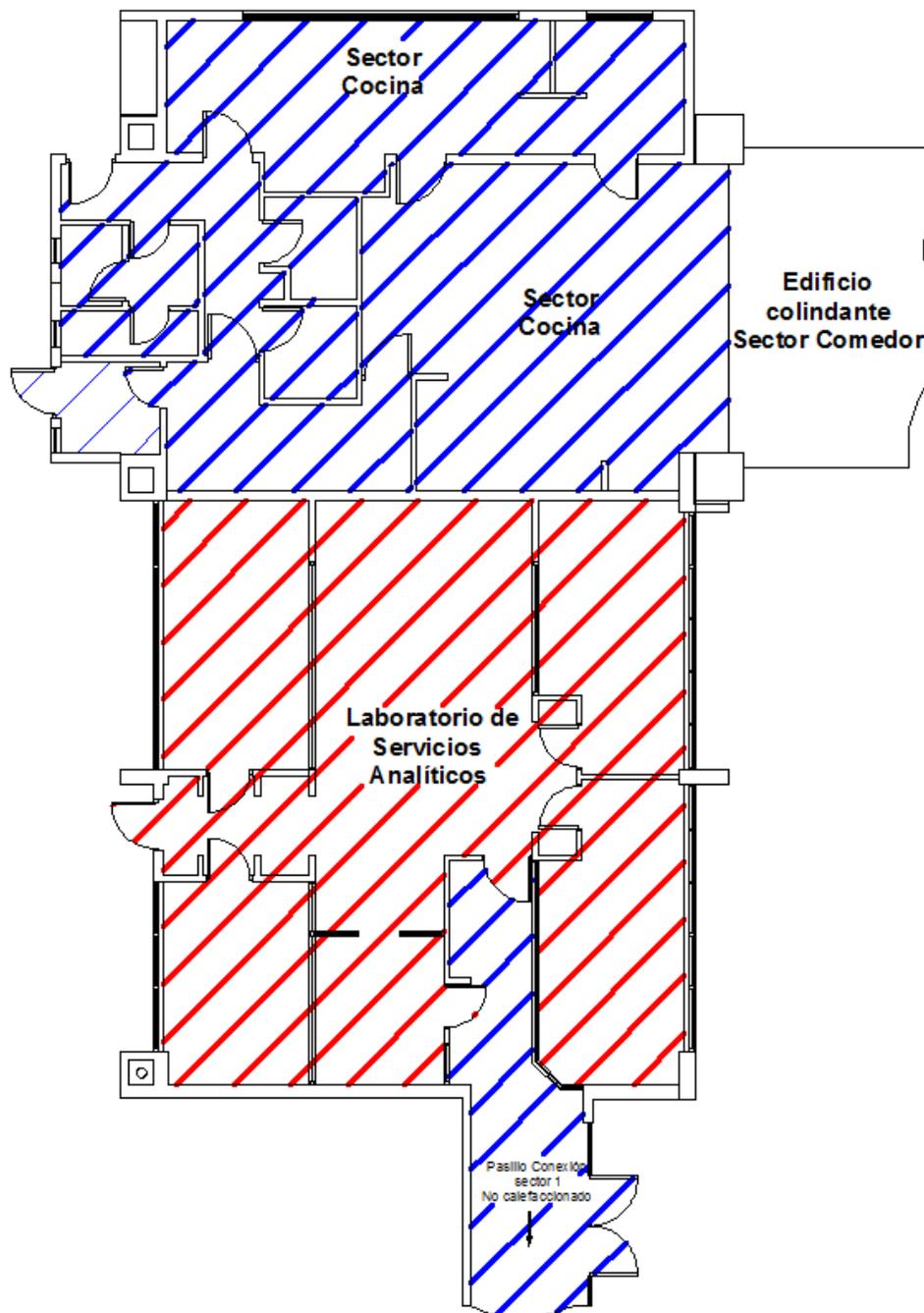


Figura 4. 5 Primer nivel sector 3

Tal como se aprecia en la figura 4.5, en este sector ninguno de sus recintos forma parte del sistema de calefacción central. El laboratorio de servicios analíticos cuenta con unidades de climatización independientes del tipo “Split cassette”, por otro lado el sector de cocina y sus alrededores se consideran como recintos sin calefacción ya que no disponen de calefactores para aporte energético externo.

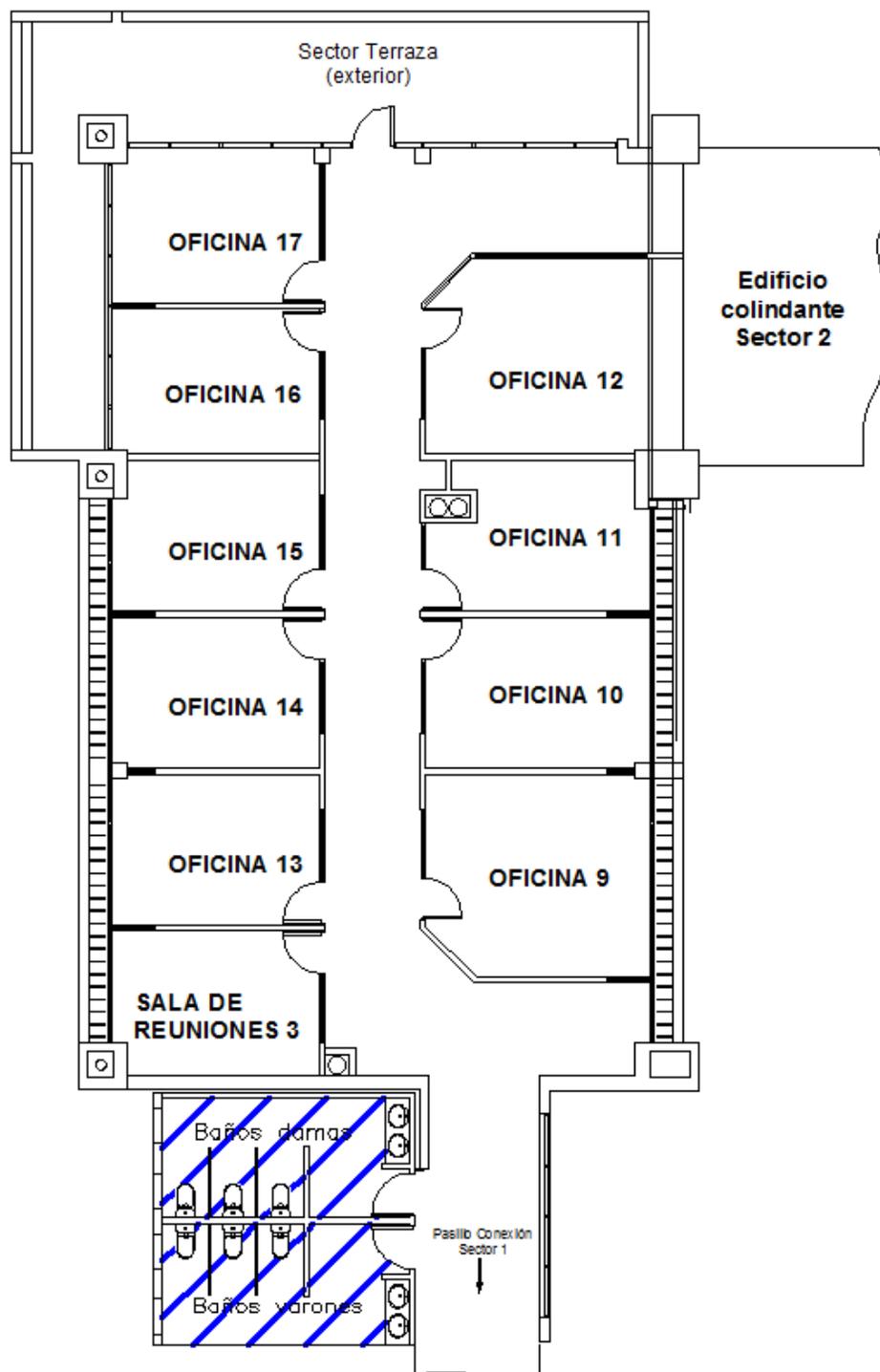


Figura 4. 6 Segundo nivel sector 3

Tal como se aprecia en la figura 4.6, los recintos destinados a baños de damas y de varones se consideran como recintos sin calefacción, los demás recintos serán considerados como parte de la red de calefacción central.

4.1 Conductividad de los materiales empleados

La conductividad térmica de los materiales es la propiedad de éstos de transmitir calor expresada en W/mK y se determina experimentalmente de acuerdo a la NCh850 ó NCh851.

En el capítulo 2 del presente trabajo se describieron los materiales utilizados en la construcción de la edificación en estudio, las diferentes configuraciones de materiales arrojarán una resistencia térmica total. Mientras menor sea ésta, mayor es la pérdida de calor del recinto o dicho de otro modo, mayor será la carga térmica requerida.

A continuación en la tabla 4.1 se presenta un extracto de la tabla A.1 – Conductividad térmica de materiales de la norma NCh853-2007, incluyendo únicamente los materiales utilizados en el edificio en estudio facilitando la extracción de datos cuando se requiera.

Tabla 4. 1 Propiedades de los materiales

Propiedades de los materiales (Norma NCh 853-2007)		
Material	Densidad Aparente kg/m³	Conductividad térmica, k (W/mK)
Vidrio	2500	1,2
Terciado	500	0,14
Enlucido de yeso	800	0,35
Estuco mortero cemento	1800	0,84
Hormigón armado	2400	1,75
Placa yeso cartón	800	0,2
Lana mineral AISLAN	80	0,038
Cerámico muro	-	1,75
Alfombra	-	0,035
Placa de fibra mineral (Cielo americano)	45	0,033

4.2 Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor

Un proceso de transferencia de calor consiste en el traspaso de flujos de calor desde un medio caliente a uno más frío, separados por diferentes medios o materiales. Existen tres formas de transferencia de calor.

- Conducción
- Convección
- Radiación

En los procesos de transferencia de calor reales se realiza el traspaso de los flujos de calor mediante una combinación de los mecanismos de transferencias antes mencionados, siendo, en el caso del acondicionamiento ambiental la conducción y la convección, las formas de transferencia más relevantes. A continuación se entrega una breve descripción de las 3 formas de transferencias de calor antes mencionadas.

4.2.1 Conducción: Es la transferencia de calor desde una región de alta temperatura a otra región de menor temperatura, a través de un medio físico (sólido, líquido o gaseoso), o entre medios físicos diferentes, que se encuentren en contacto físico directo, sin transporte de masa. Para pared plana en estado de régimen permanente, para flujo unidireccional, la conducción se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$Q_k = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L} \quad (W) \quad (1)$$

Donde:

Q_k es el flujo de calor, en W

K es la conductividad térmica del material en W/mK

A es el área de transferencia perpendicular al flujo en m^2

ΔT es la diferencia de temperatura entre las caras en $^{\circ}C$ o en K

L es el espesor de la pared en m

4.2.2 Convección: Es la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido en movimiento en contacto directo con la superficie, existiendo una diferencia de temperatura entre ambos. Si la superficie tiene mayor temperatura que el fluido, el calor fluye, en primer lugar por conducción desde la superficie hacia las partículas de fluido adyacentes que se

encuentran en reposo. Lo anterior origina un aumento de la temperatura de esas partículas y por lo tanto disminuye su densidad, originando un movimiento hacia la región del fluido con menor temperatura, donde se mezclaran y transferirán parte de su energía a otras partículas del fluido. Existen dos tipos de convección:

- **Convección natural:** Cuando el fluido se mueve o se traslada por diferencia de densidades, causado por la diferencia de temperaturas.
- **Convección forzada:** Cuando el fluido es inducido por algún agente externo, tal como por un ventilador (gases), una bomba (líquidos), un agitador o por la acción del viento.

El calor transferido por convección se puede cuantificar a través de la siguiente ecuación:

$$Q_C = h \cdot A \cdot \Delta T \text{ (W)} \quad (2)$$

Donde:

Q_C es el flujo de calor, en W

h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, en W/m^2K

A es el área de transferencia perpendicular al flujo en m^2

ΔT es la diferencia de temperatura entre las caras interior y exterior en $^{\circ}C$ o en K

4.2.3 Radiación: El término “radiación” se aplica generalmente a todas las clases de procesos que transmiten energía por medio de ondas electromagnéticas. Aquí se analizará la “radiación térmica” que es la radiación emitida por los cuerpos o superficies debido a la temperatura que poseen. Este medio de transferencia de calor toma importancia a medida que la temperatura de la superficie aumenta, ya que esta energía es proporcional a la temperatura absoluta (K), elevada a la cuarta potencia. Para el presente estudio no se considera este tipo de transferencia de calor.

4.2.4 Coeficiente global de transferencia (U):

Para los sistemas de acondicionamiento ambiental los medios de transferencia de calor más relevantes son la Conducción y la Convección, debido principalmente a que las temperaturas de trabajo hacen que la transferencia de calor por radiación no sea influyente.

Al considerar únicamente la transferencia de calor por conducción y convección se deben considerar las resistencias térmicas producidas por efectos de convección interior, conductividad térmica del o los materiales y convección exterior. Obteniendo la siguiente expresión:

$$R_T = R_{ci} + \Sigma R_k + R_{ce} \quad (3)$$

donde:

R_T es la resistencia térmica total en m^2K/W

$R_{ci} = \frac{1}{h_i}$ es la resistencia térmica a la convección interior en m^2K/W

$R_{ce} = \frac{1}{h_e}$ es la resistencia térmica a la convección exterior en m^2K/W

$R_k = \frac{l}{k}$ es la resistencia térmica a la conducción que opone el material en m^2K/W , esta ecuación se aplica a cada material que compone la pared, donde l es el espesor del material y k la conductividad térmica. A su vez se tiene que:

h_i es el coeficiente de transferencia de calor por convección interior, en W/m^2K y se determina de acuerdo al tipo de transferencia de calor ya sea horizontal, vertical ascendente o descendente de acuerdo a la NCh. 853-2007.

h_e es el coeficiente de transferencia de calor por convección exterior, en W/m^2K y se determina de acuerdo a la velocidad del viento, dependiendo de la magnitud de estas se debe utilizar una de las dos ecuaciones que a continuación se indican.

$$h_e = 5,8 + 4 \cdot V, \text{ con } V < 5 \text{ m/s} \quad (4)$$

$$h_e = 7,15 \cdot V^{0,78}, \text{ con } V \geq 5 \text{ m/s} \quad (5)$$

Donde V corresponde a la velocidad en m/s

Finalmente se tiene que el coeficiente global de transferencia es la inversa de la resistencia térmica total R_T , por lo tanto:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (6)$$

Donde

U corresponde al coeficiente global de transferencia en W/m^2K

El recinto cuenta con variadas tipos de materialidades para paredes, cielos, ventanas, puertas, tabiques, etc, los cuales fueron descritos en el capítulo 2, por medio de estas descripciones se procederá a determinar los coeficientes globales de transferencias en cada caso. Lo primero es determinar las resistencias térmicas a la convección, para el caso de R_{Ci} y R_{Ce} se consulta la tabla 2 de la norma NCh 853-2007. Dependiendo del caso se tomará un valor de la tabla citada.

El caso más común corresponde a paredes planas verticales en donde los valores de estas resistencias son los siguientes:

$R_{Ci} = 0,12$ para elementos interiores y exteriores

$R_{Ce} = 0,12$ para elementos interiores

$R_{Ce} = 0,0318$ para elementos interiores considerando una velocidad del viento de 24 km/h

Existen otros casos de valores para R_{Ci} y R_{Ce} , los cuales serán indicados en las tablas de cálculos.

A continuación se presenta el cálculo de los coeficientes globales de transferencias considerando únicamente los casos en donde si hay transferencia de calor de un recinto a otro.

Termopaneles

La utilización de los termopaneles es siempre como medio en contacto con el exterior, por lo tanto los valores de R_{Ci} y R_{Ce} a utilizar son únicos. Para el cálculo de la cámara de aire de la ventana termopanel se tiene una resistencia térmica $R_a = 0,105$ debido a que la cámara de aire es vertical y el flujo térmico es horizontal, con un espesor de 5 mm, las absorptividades en contacto $a_1 = a_2 = 0,9$ de donde $a' = 0,82$. Datos obtenidos de la tabla C.1 de la norma chilena NCh853-2007

Tabla 4. 2 Coeficiente global Termopaneles

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $Rk=L/K$ ($m^2 k/W$)
1	Vidrio	0,006	1,2	0,0050
2	Cámara de aire	0,005	-	0,1050
3	Vidrio	0,006	1,2	0,0050
			Rk TOTAL	0,1150
			R_{ci}	0,1200
			R_{ce}	0,0318
			R_{Total}	0,2668
			U	3,7475

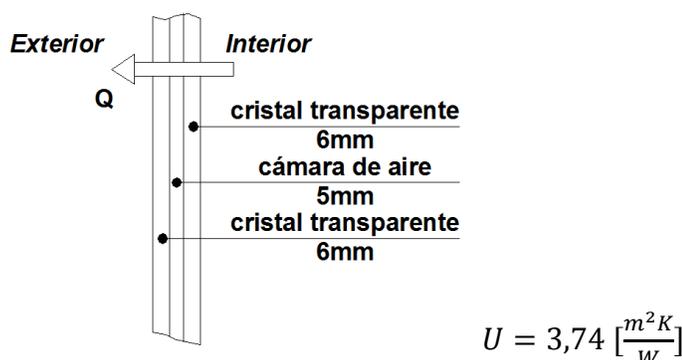


Figura 4. 7 Esquema termopanel

Ventanas y puertas de cristal transparente

La utilización de este tipo de elementos es en su mayoría como elemento de separación de ambientes interiores, lo cual concuerda con su escasa resistencia térmica, sin embargo existen algunos casos en que son utilizados como medio en contacto con el exterior, por lo tanto los valores de R_{ce} a utilizar son dos. Por lo anterior se determinará el Coeficiente global de transferencia para dos ambientes interiores y para un ambiente interior y otro exterior.

Tabla 4. 3 Coeficiente global de transferencia Ventanas y Puertas cristal. Interior - Interior

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $Rk=L/K$ ($m^2 k/W$)
1	Vidrio	0,006	1,2	0,0050
			Rk TOTAL	0,0050
			R_{ci}	0,1200
			R_{ce}	0,1200
			R_{Total}	0,2450
			U	4,0816

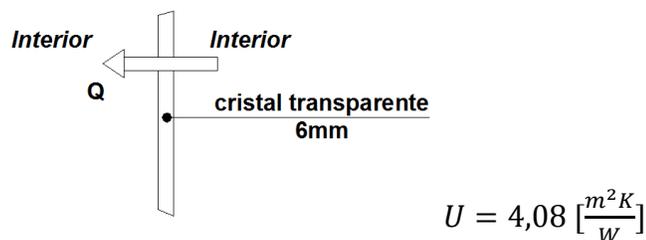


Figura 4. 8 Esquema Ventanas y Puertas de cristal. Interior - Interior

Este tipo de esquema corresponde Ventanas interiores, pared tipo 4 y puertas tipo 1, 4 y 5 de acuerdo a la designación entregada a los elementos en el capítulo 2.4 *Características generales de la edificación.*

Tabla 4. 4 Coeficiente global de transferencia Ventanas y Puertas cristal. Interior - Exterior

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Vidrio	0,006	1,2	0,0050
			R_k TOTAL	0,0050
			R_{ci}	0,1200
			R_{ce}	0,0318
			R_{Total}	0,1568
			U	6,3757

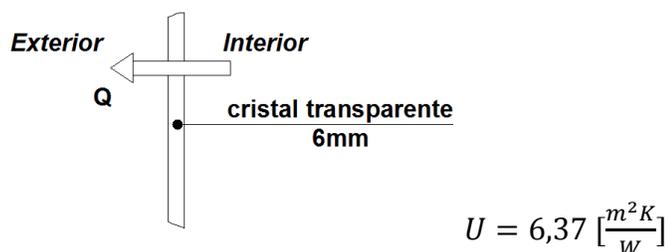


Figura 4. 9 Esquema Ventanas y Puertas de cristal. Interior - Exterior

Mediante el procedimiento realizado en los dos casos anteriores se procederá a calcular los coeficientes globales de transferencia “ U ” para cada uno de los tipos de elementos del edificio. A continuación se describirán las materialidades y las condiciones térmicas bajo las cuales se calcularon los coeficientes U . El detalle del cálculo se presenta en ANEXO A.

Puertas interiores Con enchape de madera

Se utilizan como medio de separación en ambientes interiores, por lo tanto los valores de R_{Ci} y R_{Ce} a utilizar son iguales. Para el cálculo de la cámara de aire de la puerta con enchape de madera se tiene una resistencia térmica $R_a = 0,16$ debido que la cámara de aire es vertical y el flujo térmico es horizontal, con un espesor de 30 mm, las absorptividades en contacto $a_1 = a_2 = 0,9$ de donde $a' = 0,82$. Datos obtenidos de la tabla C.1 de la norma chilena NCh853-2007

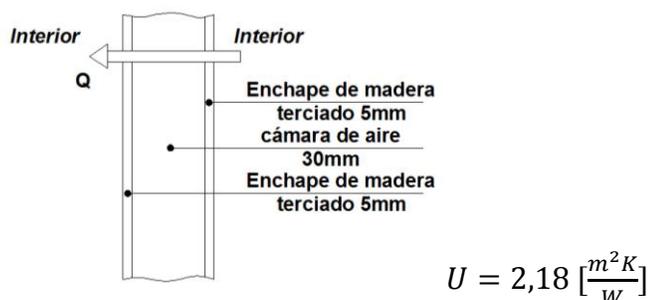


Figura 4. 10 Esquema puertas con enchape de madera

Este tipo de esquema corresponde a puertas tipo 2, 3 y 6 de acuerdo a la designación entregada a los elementos en el numeral 2.4 *Características generales de la edificación.*

Muros exteriores tipo 1

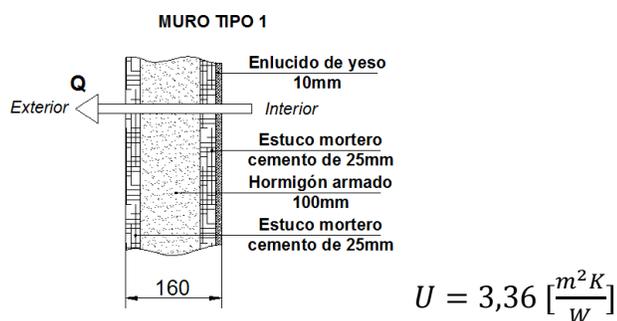


Figura 4. 11 Esquema muros tipo 1

Muros exteriores Tipo 2

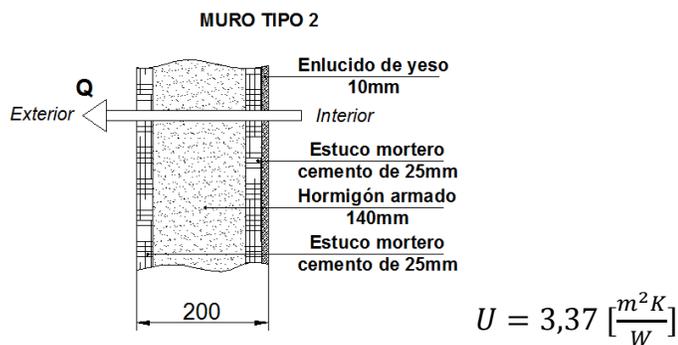


Figura 4. 12 Esquema muros tipo 2

Pared tipo 1

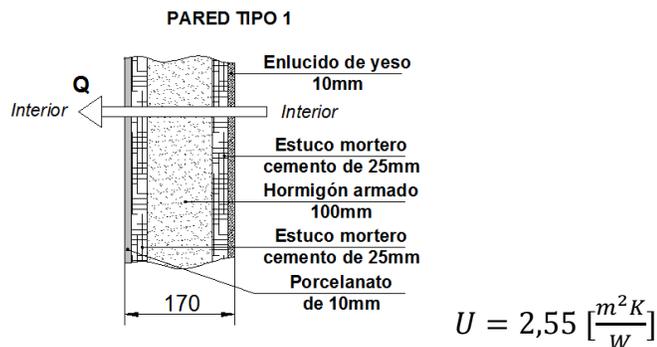


Figura 4. 13 Esquema pared tipo 1

Pared tipo 2

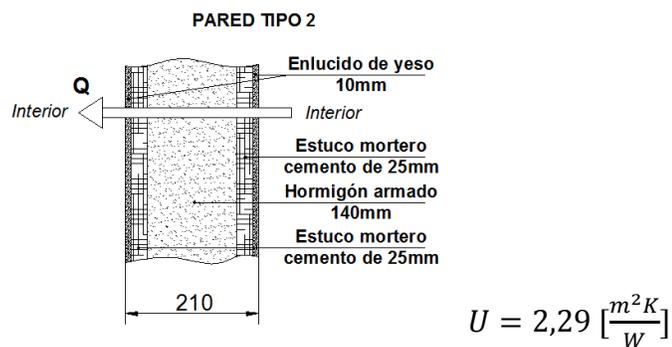


Figura 4. 14 Esquema pared tipo 2

Pared tipo 3

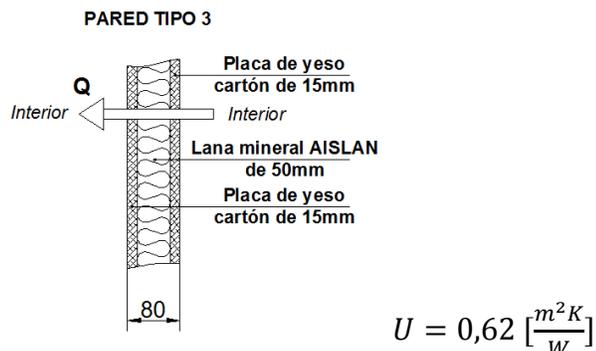


Figura 4. 15 Esquema pared tipo 3

Cielo tipo 1: Este tipo de cielo presenta casos de transferencia de flujo de calor ascendente y descendente para elementos interiores. Para determinar las resistencias térmicas a la convección R_{Ci} y R_{Ce} se consulta la tabla 2 de la norma NCh 853, en este caso se obtienen:

- Para flujo de calor ascendente: $R_{Ci} = 0,11$ y $R_{Ce} = 0,11$.
- Para flujo de calor descendente: $R_{Ci} = 0,17$ y $R_{Ce} = 0,17$.

Para el cálculo de la cámara de aire de este tipo de cielo se deben considerar las dos situaciones de flujo de calor, por lo tanto para flujo de calor ascendente se tiene una resistencia térmica $R_a=0,15$ debido que la cámara de aire es horizontal y el flujo térmico es ascendente, con un espesor de 235 mm ($e \geq 100$), las absorptividades en contacto $a_1=a_2=0,9$ de donde $a'=0,82$. Datos obtenidos de la tabla C.2 de la norma chilena NCh853-2007. Para flujo de calor descendente se tiene una resistencia térmica $R_a=0,2$ debido que la cámara de aire es horizontal y el flujo térmico es descendente, con un espesor de 235 mm ($e \geq 100$), las absorptividades en contacto $a_1=a_2=0,9$ de donde $a'=0,82$. Datos obtenidos de la tabla C.3 de la norma chilena NCh853-2007.

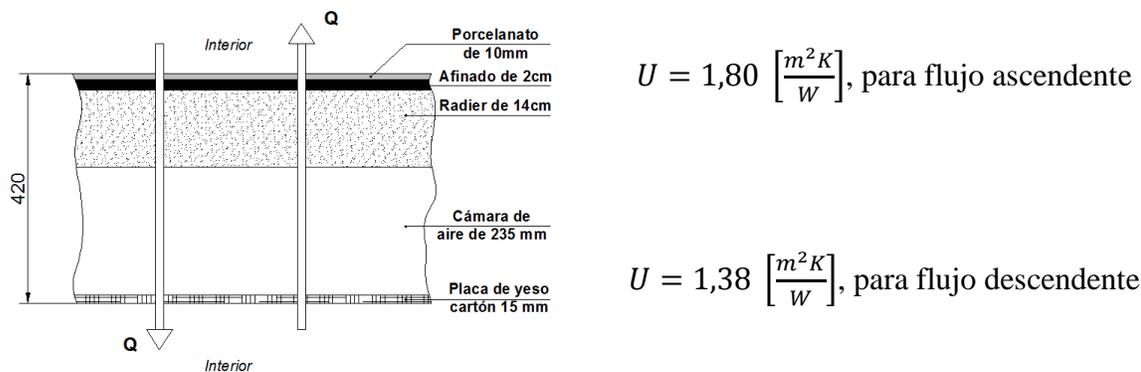


Figura 4. 16 Esquema cielo tipo 1

Cielo tipo 2: En este caso se deben calcular los coeficientes de transferencia para caso de flujo ascendente y descendente, ya que se presentan las dos situaciones. Los valores de R_{Ci} y R_{Ce} son en ambos casos los correspondientes a ambientes interiores:

- Para flujo de calor ascendente: $R_{Ci} = 0,11$ y $R_{Ce} = 0,11$.
- Para flujo de calor descendente: $R_{Ci} = 0,17$ y $R_{Ce} = 0,17$.

Para el cálculo de la cámara de aire de este tipo de cielo se consideran los mismos valores obtenidos en el cielo tipo 1 debido a que sus características en cuanto a cámara de aire son iguales, por lo tanto:

- Para flujo de calor ascendente: $R_a = 0,15$
- Para flujo de calor descendente: $R_a = 0,2$

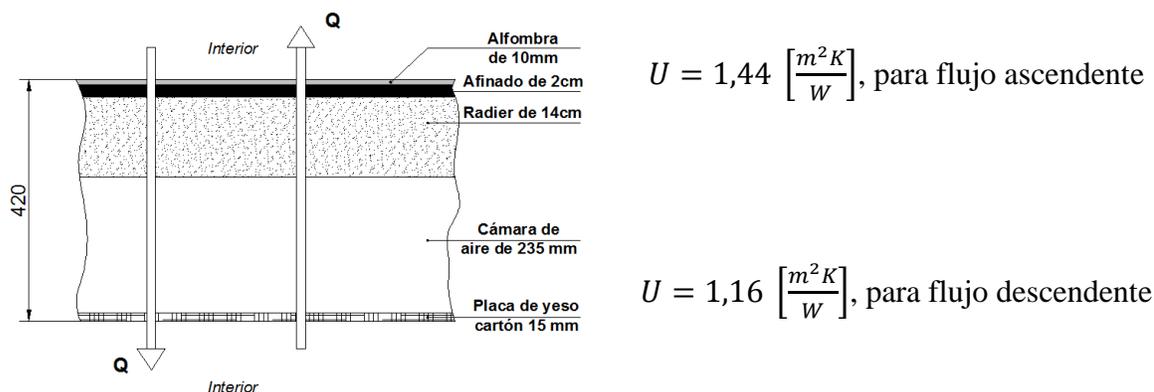


Figura 4. 17 Esquema cielo tipo 2

Cielo tipo 3: Este tipo de cielo presenta únicamente casos de transferencia de flujo de calor descendente para elementos interiores. Los valores de R_{Ci} y R_{Ce} son idénticos al caso del cielo tipo 1, con $R_{Ci} = 0,17$ y $R_{Ce} = 0,17$.

Para el cálculo de la cámara de aire de este tipo de cielo se tiene una resistencia térmica $R_a=0,2$ debido que la cámara de aire es horizontal y el flujo térmico es descendente, con un espesor de 80 mm, las absorptividades en contacto $a_1=a_2=0,9$ de donde $a'=0,82$. Datos obtenidos de la tabla C.3 de la norma chilena NCh853-2007.

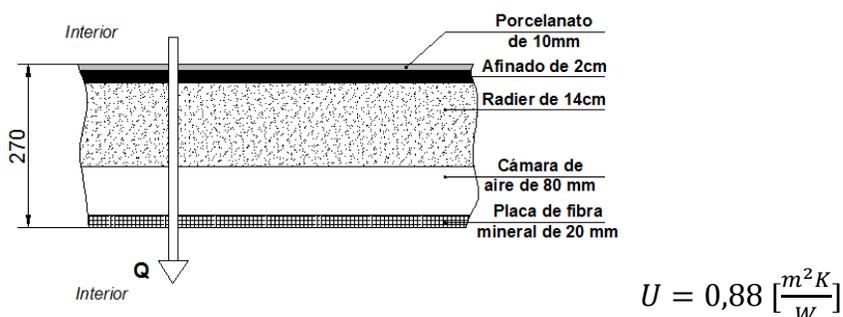


Figura 4. 18 Esquema cielo tipo 3

Cielo tipo 4: Este tipo de cielo presenta únicamente casos de transferencia de flujo de calor ascendente para elementos interiores. Los valores de R_{Ci} y R_{Ce} son idénticos al caso del cielo tipo 1, con $R_{Ci} = 0,11$ y $R_{Ce} = 0,11$.

Para el cálculo de la cámara de aire de este tipo de cielo se tiene una resistencia térmica $R_a=0,14$ debido que la cámara de aire es horizontal y el flujo térmico es ascendente, con un espesor de 60 mm, las absorptividades en contacto $a_1=a_2=0,9$ de donde $a'=0,82$. Datos obtenidos de la tabla C.3 de la norma chilena NCh853-2007.

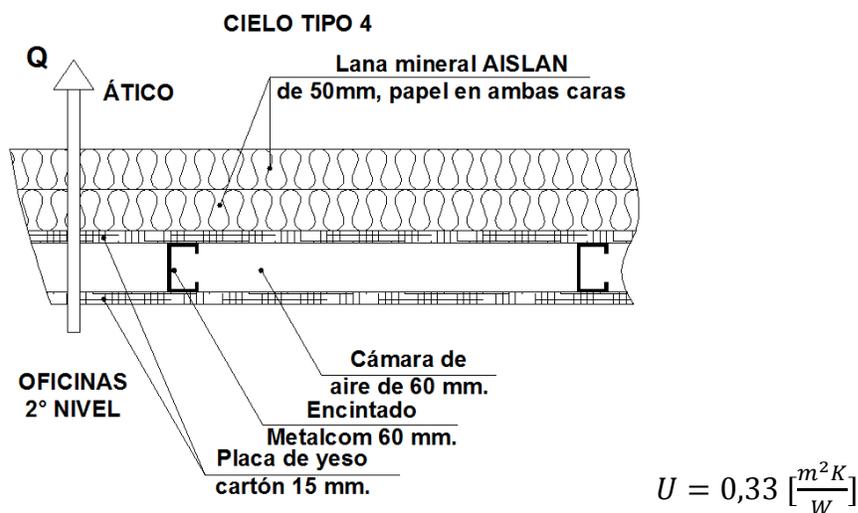


Figura 4. 19 Esquema cielo tipo 4

Cielo tipo 5: Este tipo de cielo presenta únicamente casos de transferencia de flujo de calor ascendente para elementos interiores – exteriores ligeramente inclinados. Los valores de R_{Ci} y R_{Ce} son idénticos al caso del cielo tipo 1, con $R_{Ci} = 0,1$ y $R_{Ce} = 0,318$, considerando una velocidad exterior de 24 km/h .

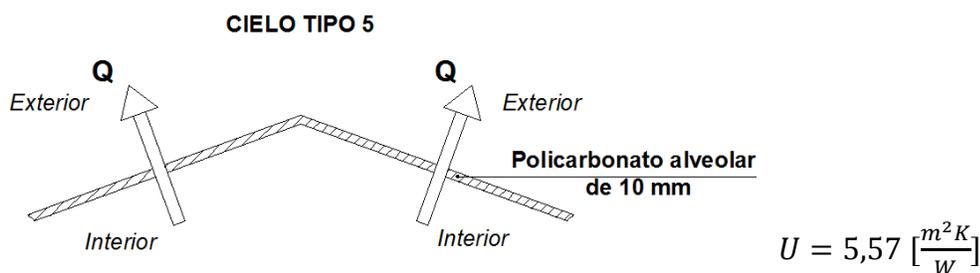


Figura 4. 20 Esquema cielo tipo 5

A continuación se presenta en la tabla 4.5 un resumen con los valores de coeficientes globales de transferencias obtenidos. Estos valores serán utilizados posteriormente en el cálculo de las cargas térmicas de los diferentes recintos.

Tabla 4. 5 Resumen coeficientes U

	Coeficiente U [W/m ² K]
Termopaneles	3,74
Ventanas y puertas de cristal transparente, Interior-Interior	4,08
Ventanas y puertas de cristal transparente, Interior-Exterior	6,37
Puertas interiores con enchape de madera	2,18
Muros exteriores tipo 1	3,36
Muros exteriores tipo 2	3,37
Pared tipo 1	2,55
Pared tipo 2	2,29
Pared tipo 3	0,62
Cielo tipo 1, ascendente	1,80
Cielo tipo 1, descendente	1,38
Cielo tipo 2, ascendente	1,44
Cielo tipo 2, descendente	1,16
Cielo tipo 3, descendente	0,88
Cielo tipo 4, ascendente	0,33
Cielo tipo 5, ascendente	5,57

4.3 Cálculo cargas térmicas

La carga de calefacción es la cantidad de energía que debe suministrar el equipo de calefacción en el recinto para compensar las pérdidas a través de su estructura sumado a la energía requerida por el aire frío infiltrado. La carga de calefacción en general se define a través de la siguiente ecuación:

$$Q_{calefacción} = Q_{Transferido} + Q_{aire\ infiltrado} \quad (7)$$

A su vez:

$$Q_{Transferido} = \sum U_i \times A_i \times \Delta T_i \quad (8)$$

$$Q_{aire\ infiltrado} = m_{aire} \times C_{p_{aire}} \times \Delta T \quad (9)$$

donde:

m_{aire} corresponde a la masa de aire infiltrado, en kg/s

$C_{p_{aire}}$ corresponde al calor específico del aire, en J/kgK

ΔT diferencia de temperatura en valor absoluto entre el interior y exterior, en K

Para el cálculo de la carga de calefacción de debe agregar a la ecuación (7) los requerimientos energéticos correspondientes a pérdidas de calor por el piso y otros suplementos, los cuales corrigen el cálculo de carga de calefacción en función de las condiciones reales del recinto en estudio.

Condiciones de diseño

Las condiciones de diseño corresponden a las temperaturas interiores y exteriores que serán consideradas en los cálculos de las cargas térmicas, estas definiciones se realizarán en base a la norma NCh 1073.c73, la cual define las condiciones de invierno y verano en ciudades costeras de la Octava región del Bío-Bío. Para el caso del presente trabajo solo se consideran las condiciones de invierno.

Tabla 4. 6 Condiciones de diseño

Tipo de recinto	Temperatura de diseño (°C)
Ambiente exterior	5
Ambiente interior calefaccionado	20
Ambiente interior no calefaccionado (COCINA)	17
Ambiente interior no calefaccionado (Pasillos)	13
Ambiente interior no calefaccionado (BAÑOS)	13
Ático no calefaccionado, provisto de aislación	14
Galpón no calefaccionado colindante a otro si calefaccionado	13

Para la definición de la temperatura para *Ático no calefaccionado provisto de aislación* se utiliza la tabla 3 de la NCh. 1078.c73, relacionada con la temperatura de recintos no calefaccionados. A través de esta tabla se determina que en nuestro caso se cuenta con un *ático no calefaccionado, inmediatamente después del tejado provisto de aislación térmica*, con una temperatura exterior de 5°C, obteniendo una temperatura de 14°C.

A modo de definir de mejor manera el método de cálculo empleado se detallará paso a paso el procedimiento para obtener la carga térmica de uno de los recintos, en este caso se presenta el cálculo de la carga térmica del recinto denominado *Oficina 1*. A continuación, en la figura 4.21 se presenta una vista con la planta de la oficina 1.

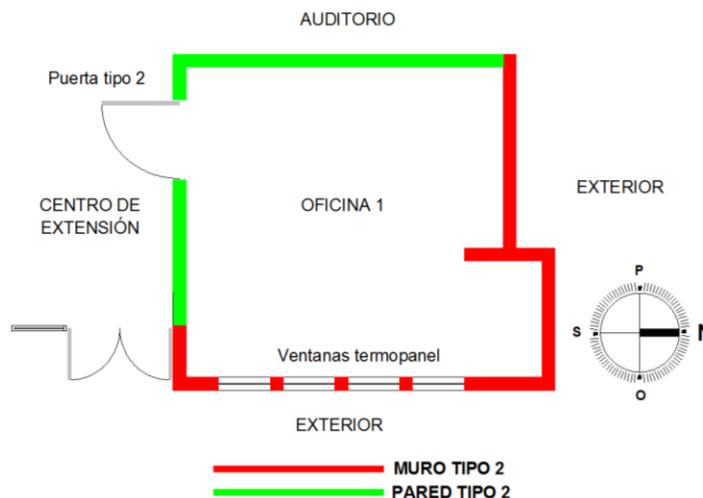


Figura 4. 21 Planta oficina 1

En primer lugar se calcularán las pérdidas térmicas por las ventanas, muros y puertas del recinto además de las pérdidas de calor por el cielo y piso. Posteriormente se definirán los valores correspondientes a los diferentes suplementos de la carga de calefacción para determinar la capacidad del equipo de calefacción. Para el recinto denominado como *Oficina 1* se obtuvo un valor de calor transferido de:

$Q_{Transferido} = 1.788,19 (W)$, a este valor se le agregarán las pérdidas de calor por infiltración de aire frío. A continuación se presenta el procedimiento utilizado para la obtención de la capacidad.

Pérdidas de calor por el piso

Para el cálculo de las pérdidas por el piso se considera únicamente el perímetro del recinto, pero solamente el que se encuentra en contacto con el exterior.

$$Q_{piso} = H \times P \times \Delta T \tag{ 10}$$

donde:

H es el coeficiente de transferencia de calor perimetral en W/mK , se obtiene a partir de la tabla 4 de la norma NCh 853-2007

P es el perímetro del piso al exterior en m

ΔT diferencia de temperatura en valor absoluto entre el interior y exterior, en K

Considerando las características de la Oficina 1 se tiene entonces un valor de H de 1,2 (W/mK), correspondiente a un piso medianamente aislado. El perímetro del piso exterior P es de 12,66 m, el ΔT corresponde a 15 K. Finalmente las pérdidas por el piso son:

$$Q_{piso} = 1,2 \times 12,66 \times 15$$

$$Q_{piso} = 227,88 \text{ W}$$

Pérdidas de calor por el aire frío infiltrado

Al igual que las pérdidas de calor por el piso, las pérdidas de calor por aire frío infiltrado, aumentan el requerimiento energético del recinto, esta pérdida se debe a que siempre existirá en mayor o menor medida un flujo de aire exterior (frío) que se infiltrará a nuestro ambiente calefaccionado alterando las condiciones de humedad y temperatura que se desea mantener en el recinto. El calor correspondiente a pérdidas por el aire infiltrado se calcula por medio de la ecuación (9)

$$Q_{aire\ infiltrado} = m_{aire} \times Cp_{aire} \times \Delta T, \text{ con } Cp_{aire} = 1004 \text{ J/kgK}$$

Para estimar m_{aire} (masa de aire infiltrado) se debe considerar el número de renovaciones por hora (NRH), lo cual depende principalmente del tipo de utilización del recinto. En general $0,5 \leq NRH \leq 2,0$. Para este caso se utilizará $NRH = 1$. El volumen del recinto es de $65,19 \text{ m}^3$. A su vez se tiene:

$$V_{aire\ infiltrado} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = NRH \times \text{Volumen del local} (\text{m}^3) \quad (11)$$

$$m_{aire} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = \frac{\rho_{aire} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times V_{aire\ infiltrado} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{3600}, \text{ con } \rho_{aire} = 1,2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (12)$$

Por lo tanto:

$$V_{aire\ infiltrado} = 1 \times 65,19 = 65,19 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

$$m_{aire} = \frac{1,2 \times 65,19}{3600} = 0,02173 \text{ kg/s}$$

$$Q_{aire\ infiltrado} = 0,02173 \times 1004 \times 15 = 327,25 \text{ (W)}$$

Suplementos de corrección de la carga de calefacción

Estos suplementos corrigen el valor de la carga de calefacción en función de las condiciones reales del recinto. Los suplementos a considerar son 5 y se describen a continuación:

S_0 corresponde al suplemento por intermitencia del servicio de calefacción, para determinar este suplemento se debe considerar el modo de calefacción de las instalaciones, en este caso se cuenta con un servicio que funciona en horario laboral de 8:00 a 17:30, es decir se tiene una interrupción de 12,5 horas. Además de lo anterior se debe estimar la permeabilidad térmica media P_m , la cual se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{\sum U_i \times A_i \times \Delta T_i}{\sum A_i \times \Delta T_i} \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} \quad (13)$$

Por lo tanto:

$$P_m = \frac{1506,61}{441,22} = 3,41 \left(\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} \right)$$

A través del modo del servicio de calefacción y del valor de permeabilidad obtenido se obtiene el valor de S_0 en la tabla 6 de la norma NCh. 1078.c73, obteniendo un valor de 0,15.

S_1 corresponde al suplemento por orientación de las paredes del recinto respecto al sol. Este suplemento se determina gracias a la **tabla 3.19** extraída de la NCh. 1078.c73.

Tabla 4. 7 Suplemento S_1

Orientación	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Suplemento S_1	-0,05	-0,05	0	+0,05	+0,05	+0,05	0	-0,05

De acuerdo a lo anterior se tiene:

Paredes Norte, $S_1 = -0,05$

Paredes Sur, $S_1 = 0,05$

Paredes Este, $S_1 = 0$

Paredes Oeste, $S_1 = 0$

S_2 , R y H : Estos suplementos corrigen la carga de calefacción provocada por la infiltración de aire frío exterior. Son factores empíricos.

S_2 Depende de dos situaciones que son las siguientes:

$S_2 = 1,2$ Para recintos ubicados en casa esquina que contengan una puerta o ventana en el vértice.

$S_2 = 1$ Para el resto de los recintos.

Para el caso del recinto en estudio se tiene un valor de $S_2 = 1$

Suplemento R : Depende de las características de las ventanas y puertas del recinto. Se obtiene del cociente entre las superficies de puertas interiores y ventanas exteriores. En este caso se tienen ventanas de metal y puertas interiores no herméticas.

Al realizar la operación de $A_{Ventanas}/A_{Puerta}=1,62$. De acuerdo a la tabla 9 de la NCh 1078.c73 para el caso en estudio se tiene **$R=0,9$**

Suplemento H : Este factor corrige el aire infiltrado por protección o no del recinto de la acción del viento. EL valor de este factor se determina por medio de la tabla de la NCh 1078.c73 para el caso en estudio se tiene una casa independiente despejada y de vientos intensos, por lo tanto **$H=0,84$**

Una vez determinados todos los valores de los suplementos descritos anteriormente se procede a realizar el cálculo para calefacción del recinto en invierno. Para esto se utiliza la tabla 4.8 la cual a continuación presenta los resultados del recinto denominado *Oficina 1*. En ella se indica una carga de calefacción de 2.115,65 kW y una capacidad de equipo de 2.288,53 kW.

Tabla 4. 8 Hoja de cálculo de calefacción Oficina 1

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C		te = 5 °C			V = 24 km/h				
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte	12,72	3,377	15	644,31	0,15	-0,05	1,1	708,74
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur	2,12	3,377	15	107,38	0,15	0,05	1,2	128,86
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	2,995	3,747	15	168,37	0,15	0	1,15	193,62
Muros	Este	11,58	3,38	15	586,55	0,15	0	1,15	674,54
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste	1,06	3,38	15	53,69	0,15	0	1,15	61,75
Puerta	Oeste								
Cielo									
Piso		P (m)	H (W/mK)						
		12,66	1,2	15	227,88	0,15	0,05	1,2	273,46
SUBTOTAL					1788,19				2040,96
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	65,19	78,228	0,24	15	327,47	0,9	0,84	1	247,56
SUBTOTAL					327,47				247,56
TOTAL					2115,65				2288,53

Tal como se aprecia en la tabla anterior, solo son ingresados los elementos (pared, muro o ventanas) en donde efectivamente se produce transferencia de calor debido a la existencia de un diferencial de temperatura entre ambientes. En los casos en donde el $\Delta T = 0$, los elementos son omitidos. Las cargas térmicas de los demás recintos fueron calculadas mediante el mismo procedimiento descrito anteriormente, obteniendo los requerimientos de calefacción de todos los recintos que conforman la edificación en estudio. El detalle del cálculo de los demás recintos se presenta en ANEXO B.

A continuación se presenta una tabla resumen con los requerimientos energéticos de todos los recintos.

Tabla 4. 9 Resumen cargas térmicas edificación

Sector	Nivel	Recinto	Area (m ²)	Volumen (m ³)	Qcalefacción (W)	Qequipo (W) Requerido	Tasa de Calefacción (W/m ²)
Sector 1	Nivel 1	Laboratorio 1	47,0	124,7	2.355,3	2.480,8	52,7
		Laboratorio 2	24,6	65,2	2.058,4	2.219,8	90,2
		Laboratorio 3	42,2	111,9	2.218,6	2.352,4	55,7
		Laboratorio 4	27,8	73,8	1.474,1	1.564,6	56,2
		Auditorio	103,0	292,3	2.845,1	2.845,1	27,6
	Nivel 2	Oficina 1	24,6	65,2	2.115,7	2.288,5	93,0
		Oficina 2	19,4	48,5	1.102,1	1.181,4	60,9
		Oficina 3	15,4	38,5	747,6	785,1	51,0
		Oficina 4	15,4	38,5	747,6	785,1	51,0
		Oficina 5	19,4	48,5	1.032,7	1.098,2	56,6
		Oficina 6	13,0	32,6	777,1	808,0	62,0
		Oficina 7	15,4	38,5	838,6	894,3	58,1
		Oficina 8	15,4	38,5	747,6	785,1	51,0
		Sala de computación	39,2	98,0	1.902,9	1.998,4	51,0
	Sala de reuniones 1	37,9	94,6	2.841,4	3.038,9	80,3	
Sala de reuniones 2	23,8	59,5	1.933,2	2.081,1	87,5		
Sala de extensión		275,0	1.422,4	25.367,0	23.452,2	85,3	
Subtotal			758,6	2.691,1	51.104,8	50.659,0	66,78
Sector 2	Nivel 1	Comedor	91,1	241,4	6.272,3	6.774,0	74,4
		Oficina 18	11,9	29,7	562,2	589,0	49,60
		Oficina 19	11,9	29,8	563,1	589,9	49,57
		Oficina 20	11,8	29,6	560,4	587,1	49,60
		Oficina 21	11,8	29,6	560,4	587,1	49,60
		Oficina 22	11,9	29,8	557,2	583,0	48,91
		Oficina 23	23,1	57,7	1.889,4	2.047,4	88,69
		Oficina 24	14,2	35,5	1.319,9	1.432,7	100,78
		Pasillos S2 y S3	152,6	388,7	10.053,4	10.787,7	70,69
Subtotal			340,4	871,7	22.338,2	23.977,7	70,45
		Oficina 9	17,4	43,4	792,4	800,2	46,12
		Oficina 10	13,3	33,1	595,8	600,8	45,34
		Oficina 11	13,0	32,4	599,3	606,4	46,75
		Oficina 12	19,4	48,6	334,9	293,5	15,10
		Oficina 13	12,3	30,8	583,9	632,1	51,39
		Oficina 14	12,3	30,8	583,9	632,1	51,39
		Oficina 15	12,3	30,8	583,4	631,5	51,34
		Oficina 16	11,8	29,5	591,8	644,3	54,56
		Oficina 17	12,7	31,8	1.183,4	1.321,8	104,08
Sala de reuniones 3	12,7	31,8	848,6	941,2	74,04		
Subtotal			137,1	342,8	6.697,5	7.103,9	51,81
TOTAL EDIFICIO			1.236,1	3.905,7	80.140,5	81.740,7	66,13

4.4 Verificación equipos existentes

Tal como se mencionó al inicio del trabajo, la edificación en estudio cuenta con equipos calefactores del tipo Runtal RC y Ocean DK 500, los cuales entregan una cierta capacidad dependiendo de sus dimensiones. La potencia entregada por los calefactores se estima bajo una condición estándar de operación, la cual considera una temperatura de entrada de 90°C y una temperatura de salida de 70°C , es decir una temperatura medio del agua $\bar{t}_{\text{agua}} = 80^{\circ}\text{C}$, para el recinto, la condición estándar considera una temperatura de $t_a = 20^{\circ}\text{C}$, con lo cual se obtiene un $\Delta T = 60^{\circ}\text{C}$ (ANWO, 2015).

En el caso del recinto en estudio, no se cumple esta condición de operación estándar, por lo cual es necesario calcular un factor de corrección que permita estimar la capacidad calorífica entregada por los equipos en la condición real de trabajo. La condición real de trabajo es definida mediante medición de temperatura en la entrada y salida de los equipos, esta medición se realizó por medio de un termómetro laser CHY modelo 110, tal como se muestra en la figura 4.22. Esta toma de temperaturas fue realizada en tres equipos runtal RC y tres equipos Ocean obteniendo un promedio. Finalmente la potencia térmica corregida se define como $q_{\text{real equipo}} = q_{\Delta T=60^{\circ}\text{C}} \times \text{Factor } X$.



Figura 4. 22 Medición temperatura calefactores

A continuación, en la tabla 4.10 se presentan los valores de temperaturas obtenidos.

Tabla 4. 10 Medición de temperatura calefactores

Runtal RC				Promedio (°C)
Entrada (°C)	76	76	76	76
Salida (°C)	67	64	66	66
				ΔT_{agua}
				10

Ocean DK 500				Promedio (°C)
Entrada (°C)	79	76	77	77
Salida (°C)	64	61	63	63
				ΔT_{agua}
				14

A través de los valores obtenidos en las mediciones correspondientes se procede a realizar el cálculo de los factores de corrección de cada tipo de radiador.

4.4.1 Calefactor Runtal –RC

$$\bar{t}_{agua} = \frac{t_{entrada} + t_{salida}}{2} \tag{14}$$

$$\bar{t}_{agua} = \frac{76 + 66}{2} = 71^{\circ}C$$

Luego:

$$\Delta T_{real} = \bar{t}_{agua} - t_a \tag{15}$$

$\Delta T_{real} = 71 - 20 = 51^{\circ}C$. Con este valor se ingresa al gráfico indicado en la figura 4.23 *variación de la potencia calorífica según variación de la diferencia de temperatura* de los calefactores modelo Runtal, obteniendo un factor $X = 0,82$.

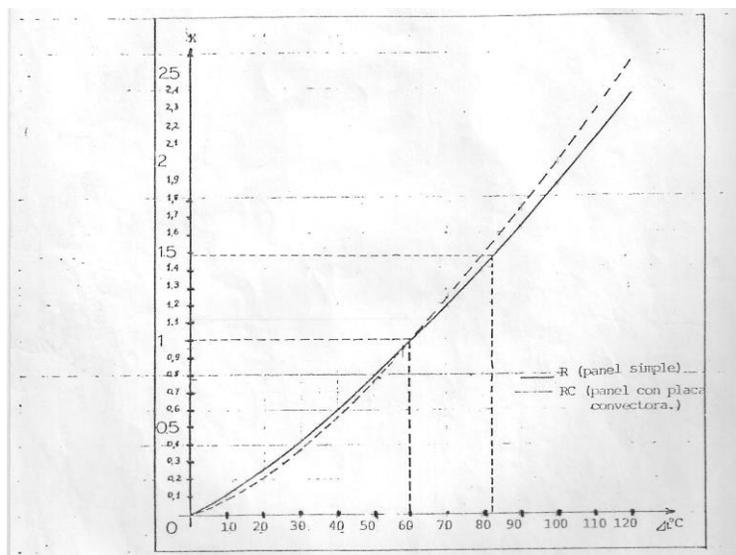


Figura 4. 23 Variación de la potencia calorífica según variación de la diferencia de temperatura de los calefactores modelo Runtal

4.4.2 Calefactor Ocean DK 500

$$\bar{t}_{agua} = \frac{77 + 63}{2} = 70^{\circ}C$$

Luego:

$\Delta T_{real} = \bar{t}_{agua} - t_a = 70 - 20 = 50^{\circ}C$. En el caso de este modelo de calefactor, el factor se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$X = \left[\frac{\Delta t_{real}}{60} \right]^{1,33} \tag{16}$$

$$X = \left(\frac{50}{60} \right)^{1,33} = 0,785$$

Una vez obtenidas los factores de corrección, se estima la capacidad real del equipo en las condiciones de operación del sistema, para posteriormente discernir si el o los equipos instalados tienen la capacidad necesaria para suplir las pérdidas térmicas del recinto.

4.4.3 Losa Radiante

Para realizar una evaluación técnica de este sistema de calefacción se utilizará como material bibliográfico el texto CALEFACCIÓN Y REFRESCAMIENTO POR SUPERFICIES RADIANTES, este texto proporciona material de diseño de sistema de calefacción en general, especialmente sistemas de superficies radiantes como es el caso del sistema dispuesto en el comedor del sector 2.

Para llevar a cabo la evaluación de este sistema es necesario realizar una revisión de la información geométrica disponible de este sistema, especialmente en la geometría proyectada en el proyecto original, tal como: Cantidad de serpentines, largo de los serpentines, diámetro de tuberías, separación entre tuberías y tipo de tuberías utilizadas.

Una forma de evaluar la cantidad de calor entregada por el sistema disponible es de acuerdo al tipo de tuberías utilizadas, en el caso de la losa radiante disponible, ésta cuenta con Tuberías de Polietileno Reticulado por peróxido (PEX-A) de 20mm. En la tabla 4.11 se presentan las características de este tipo de tuberías, entregadas por el fabricante.

La emisión calorífica que entrega este tipo de tuberías depende de la temperatura de entrada del agua, separación de las tuberías del serpentín y el tipo de piso. En la tabla 4.12 se presentan los valores de emisión calorífica para diferentes condiciones en nuestro caso en estudio se dispone de una temperatura de 50°C a la entrada del serpentín, una separación de 20cm entre tuberías del serpentín y un piso de cerámica, lo anterior indica que la emisión calorífica teórica para la losa radiante disponible es de 120 [kcal/hm²].

Tabla 4. 11 Propiedades tubería PEX-A

DIAMETRO DEL TUBO	Ø	16	20	25	32
Caract. físicas					
Ø exterior*	mm	16	20	25	32
Espesor pared	mm	2.3	2.0	2.3	2.9
Long. de rollo*	m	100	100	100	100
Propiedades					
Presión de trabajo	20° DIN 16893 Kg/m ²	24	16	16	16
	60° DIN 16893 Kg/m ²	16	10	10	10
	95° DIN 16893 Kg/m ²	10	6	6	6
Rango de temperaturas	°C	-100 a + 120			
Coef. de expansión lineal a 20° C	1/°C	0.25.10 ⁴			
Coef. de expansión lineal a 100° C	1/°C	2.05.10 ⁴			
Temperatura de reblandamiento	°C	133			
Conductividad térmica Kcal/m h	°C	0,37			
Radio de curvatura en frio	mm	60	100	135	150
Radio de curvatura en caliente	mm	40	50	60	75

Tabla 4. 12 Valores emisión calorífica

Emisión KcalhM ²	Agua		Separación de la Serpentina					
	°C	Cemento	Mosaico	Cerámica	Alfombra	Vinílico	Entarugado	Parquet
80	60	30	30	30	30	30	30	30
	40	30	20	15	-	-	-	-
	45	30	30	30	-	25	-	20
	50	30	30	30	25	30	25	30
	55	30	30	30	30	30	30	30
	60	30	30	30	30	30	30	30
90	40	20	15	15	-	-	-	-
	45	30	30	30	-	15	-	-
	50	30	30	30	20	30	15	25
	55	30	30	30	30	30	25	30
100	60	30	30	30	30	30	30	30
	40	15	-	-	-	-	-	-
	45	30	20	20	-	-	-	-
	50	30	30	30	-	25	-	20
	55	30	30	30	20	30	20	30
	60	30	30	30	30	30	30	30
110	45	25	15	15	-	-	-	-
	50	30	30	30	-	20	-	15
	55	30	30	30	15	30	15	25
	60	30	30	30	25	30	25	30
120	45	20	-	-	-	-	-	-
	50	30	25	20	-	-	-	-
	55	30	30	30	-	25	-	20
	60	30	30	30	20	30	20	30

Considerando el valor obtenido en la tabla 4.12 y el área de la losa radiante se puede estimar el calor entregado por la losa radiante del comedor. En la tabla 4.13 se presenta el cálculo de la potencia teórica del sistema.

Tabla 4. 13 Emisión calorífica teórica

Tipo de piso	Cerámico
Separación de los tubos del serpentín, cm	20
Área total del piso radiante, m ²	91,1
Emisión calorífica teórica, [kcal/hm ²]	120
Potencia teórica del sistema, kcal/h	10.932

La potencia térmica teórica entregada por el sistema de losa radiante es de 10.932 [kcal/h], es decir 12.711 [W] lo cual satisface plenamente la carga térmica calculada de 6.774 [W] necesaria para el comedor, sin embargo la potencia real entregada dependerá de otras variables no consideradas en la tabla 4.12 como el flujo de agua y temperatura de salida del agua de calefacción. Por lo anterior este valor de potencia de equipo será ratificado mediante método experimental, por medio de la medición del flujo de agua de calefacción y variación de temperatura. Para llevar a cabo lo anterior se utilizará el

flujómetro dispuesto en el nuevo surtidor de agua, con él se podrá medir la cantidad de agua de calefacción entregada en un determinado tiempo a la losa radiante y por medio de termómetros se medirán las temperaturas de entrada y salida a la losa radiante. En ensayo será realizado 3 veces a modo de tener resultados más representativos.

A continuación, en la tabla 4.14 se presentan los valores de flujo y temperaturas obtenidos en los ensayos.

Tabla 4. 14 Resultados ensayos

	Flujo (litros)	Tiempo ensayo (s)	Temperatura entrada (°C)	Temperatura salida (°C)
Ensayo 1	157	300	49	43
Ensayo 2	165	300	50	43
Ensayo 3	150	300	50	44
Promedio	157,33	300,00	49,67	43,33

$$Q_{Piso} = \dot{V} \times \rho_{agua} \times CP_{agua} \times \Delta T_{agua} \quad (17)$$

donde:

Q_{Piso} corresponde al calor entregado por el piso radiante, en W

\dot{V} corresponde al flujo volumétrico de agua caliente, en l/s

ρ_{agua} corresponde a la densidad del agua a la presión y temperatura del ensayo, en kg/l

CP_{agua} corresponde al calor específico del agua a la presión y temperatura del ensayo, en J/kgK

ΔT_{agua} corresponde a la diferencia de temperatura entre la entrada y salida del agua, en K

Finalmente, el valor de calor calculado mediante ensayos es el siguiente:

$$Q_{Piso} = \left[\frac{157,33}{300} \right] \times 0,9881 \times 4181 \times [49,67 - 43,33] = 13.736 [W]$$

Valores de CP_{agua} y ρ_{agua} obtenidos mediante software EES.

Los valores de potencia térmica para la losa radiante obtenidos mediante especificaciones del proveedor y por método experimental presentan diferencias cercanas a un 10%, estas diferencias se pueden deber a errores en el ensayo y a las precisiones de los

instrumentos de medición, sin embargo ambos valores se asemejan lo suficiente como para validar ambos métodos.

Otro aspecto a evaluar en el sistema de losa radiante es la temperatura superficial del piso necesaria para lograr la potencia térmica necesaria por unidad de superficie requerida por el local. Este aspecto determinará si es factible o no la utilización de este sistema de calefacción en el recinto, ya que por motivos médicos y fisiológicos la temperatura máxima admisible de la superficie del piso es de 29°C en estancias en general. En la figura 4.24 se muestra un gráfico extraído del manual **Ortega, 2001** el cual entrega la temperatura de la superficie del suelo necesaria en función de la carga térmica por unidad de área (Potencia por unidad de superficie útil), este valor de potencia por unidad de superficie se determinará según manual citado, mediante la siguiente fórmula:

$$P_u = \frac{Q}{S_{util}} \times 1,16 \quad (18)$$

donde:

P_u corresponde a la potencia unitaria, en W/m^2

Q corresponde al calor requerido por el recinto, en W

S_{util} corresponde a la superficie útil disponible, en m^2

$$P_u = \frac{6.774}{91,1} \times 1,16 = 86,25 [W/m^2]$$

Finalmente se obtiene un valor de potencia útil de 86,25, luego en la figura 4.24 se obtiene el valor de temperatura de superficie necesario de 26,5 °C, lo cual está dentro del rango permitido, por lo tanto es factible la utilización de sistema de calefacción por piso radiante en este recinto.

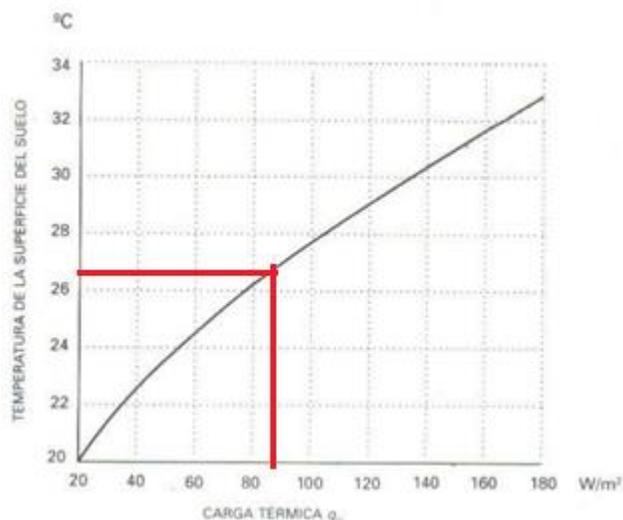


Figura 4. 24 Temperatura de piso v/s Carga térmica

En base a los resultados de potencias teórica y experimental, además del valor de temperatura superficial necesaria, se concluye que la losa radiante dispuesta en el comedor tiene la capacidad necesaria para suplir la demanda energética del recinto.

Una vez determinadas las capacidades reales de los equipos disponibles se procede a evaluar si estos cumplen o no con los requerimientos de los diferentes recintos en estudio. En la tabla 4.15 se presenta un resumen con la denominación de los recintos y sus requerimientos energéticos calculados, se agrega además una columna donde se indica si el equipo instalado cumple con los requerimientos energéticos del local.

Tabla 4. 15 Resumen recintos

Sector	Nivel	Recinto	Equipo disponible	Qequipo (W) Requerido	Qmax_equipo (W)	Qreal_equipo (W)	Cumple SI/NO
Sector 1	Nivel 1	Laboratorio 1	Runtal RC 560x1390	2.481	1.727	1.416	SI
			Runtal RC 560x1390		1.727	1.416	
		Laboratorio 2	Runtal RC 560x1700	2.220	2.112	1.731	NO
		Laboratorio 3	Runtal RC 560x1700	2.352	2.112	1.731	NO
		Laboratorio 4	Runtal RC 560x1700	1.565	2.112	1.731	SI
		Auditorio	Runtal RC 560x2390	2.845	2.969	2.434	SI
			Runtal RC 560x2390		2.969	2.434	
	Oficina 1	Runtal RC 560x1590	2.289	1.975	1.619	NO	
	Nivel 2	Oficina 2	Runtal RC 490x3000	1.181	3.381	2.772	SI
		Oficina 3	Runtal RC 490x1400	785	1.578	1.294	SI
		Oficina 4	Runtal RC 490x1400	785	1.578	1.294	SI
		Oficina 5	Runtal RC 490x1140	1.098	1.285	1.053	NO
		Oficina 6	Runtal RC 560x1400	808	1.739	1.426	SI
		Oficina 7	Runtal RC 490x1400	894	1.578	1.294	SI
		Oficina 8	Runtal RC 490x1400	785	1.578	1.294	SI
		Sala de computación	NO DISPONE	1.998	-	-	NO
		Sala de reuniones 1	Runtal RC 560x1400	3.039	1.739	1.426	NO
Runtal RC 560x1400			1.739		1.426		
Sala de reuniones 2	Runtal RC 560x1400	2.081	1.739	1.426	NO		
Sala de extensión (Nivel 1 y 2)	Runtal RC 490x1580	23.452	1.781	1.460	NO		
	Runtal RC 560x1600		1.987	1.630			
Sector 2	Nivel 1	Comedor	Losa Radiante	6.774	11.163	13.736	SI
	Nivel 2	Oficina 18	DK 500.800	589	1.758	1.380	SI
		Oficina 19	DK 500.700	590	1.539	1.208	SI
		Oficina 20	DK 500.700	587	1.539	1.208	SI
		Oficina 21	DK 500.700	587	1.539	1.208	SI
		Oficina 22	DK 500.700	583	1.539	1.208	SI
		Oficina 23	DK 500.1500	2.047	3.297	2.588	SI
		Oficina 24	DK 500.900	1.433	1.978	1.553	SI
	Pasillos S2 y S3	DK 500.1400	10.788	3.077	2.416	NO	
DK 500.1300		2.858		2.243			
DK 500.1300		2.858	2.243				
Sector 3	Nivel 2	Oficina 9	DK 500.1200	800	2.638	2.071	SI
		Oficina 10	DK 500.700	601	1.539	1.208	SI
		Oficina 11	DK 500.800	606	1.758	1.380	SI
		Oficina 12	DK 500.1100	294	2.418	1.898	SI
		Oficina 13	DK 500.800	632	1.758	1.380	SI
		Oficina 14	DK 500.800	632	1.758	1.380	SI
		Oficina 15	DK 500.800	632	1.758	1.380	SI
		Oficina 16	DK 500.800	644	1.758	1.380	SI
		Oficina 17	DK 500.800	1.322	1.758	1.380	SI
		Sala de reuniones 3	DK 500.800	941	1.758	1.380	SI

Tal como se aprecia en la tabla 4.15, existen algunos recintos que disponen de equipos sub-dimensionados, lo cual implica que estos recintos tienen déficit energético, por

lo tanto necesariamente se debe realizar una inversión en el cambio de equipos existentes por otros de mayor capacidad o en algunos casos adicionar equipos a los recintos que presentan déficit energéticos. Para solucionar esta problemática en capítulo 5 se plantearán algunas alternativas, considerando que la potencia térmica disponible para la calefacción de la edificación es de 150 [kW], correspondiente a la capacidad máxima de la caldera principal.

4.5 Verificación del circuito hidráulico

Como ya se ha mencionado el circuito de calefacción existente se divide en 3 sectores, cada sector posee una bomba de circulación de agua caliente, la cual proporciona la energía necesaria para mover el agua de calefacción suficiente para calefaccionar los recintos asociados. En esta sección se procederá a verificar si las bombas disponibles cumplen o no con los requerimientos de potencia hidráulica de cada circuito y en caso de detectarse potenciales de mejoramientos en la red, se presentarán propuestas técnicas que se evaluarán económicamente antes de su implementación.

La pérdida de carga o pérdida de presión se genera en cualquier tubo por el que circule agua, dicha pérdida depende de los siguientes factores: Velocidad del agua, Diámetro del conducto, rugosidad de la superficie del conducto y la longitud del circuito. Es importante verificar el circuito hidráulico de un sistema de calefacción puesto que el disponer de un caudal menor al requerido por los calefactores puede generar pérdidas de rendimiento en la tasa de calefacción y con ello déficit energético aun cuando los equipos de calefacción estén bien dimensionados. En caso contrario en donde el sistema hidráulico se sobredimensiona, se generan gastos innecesarios en potencia hidráulica.

A continuación se presenta la planimetría de la red de calefacción existente incluidas las mejoras planteadas en el numeral 5.1.

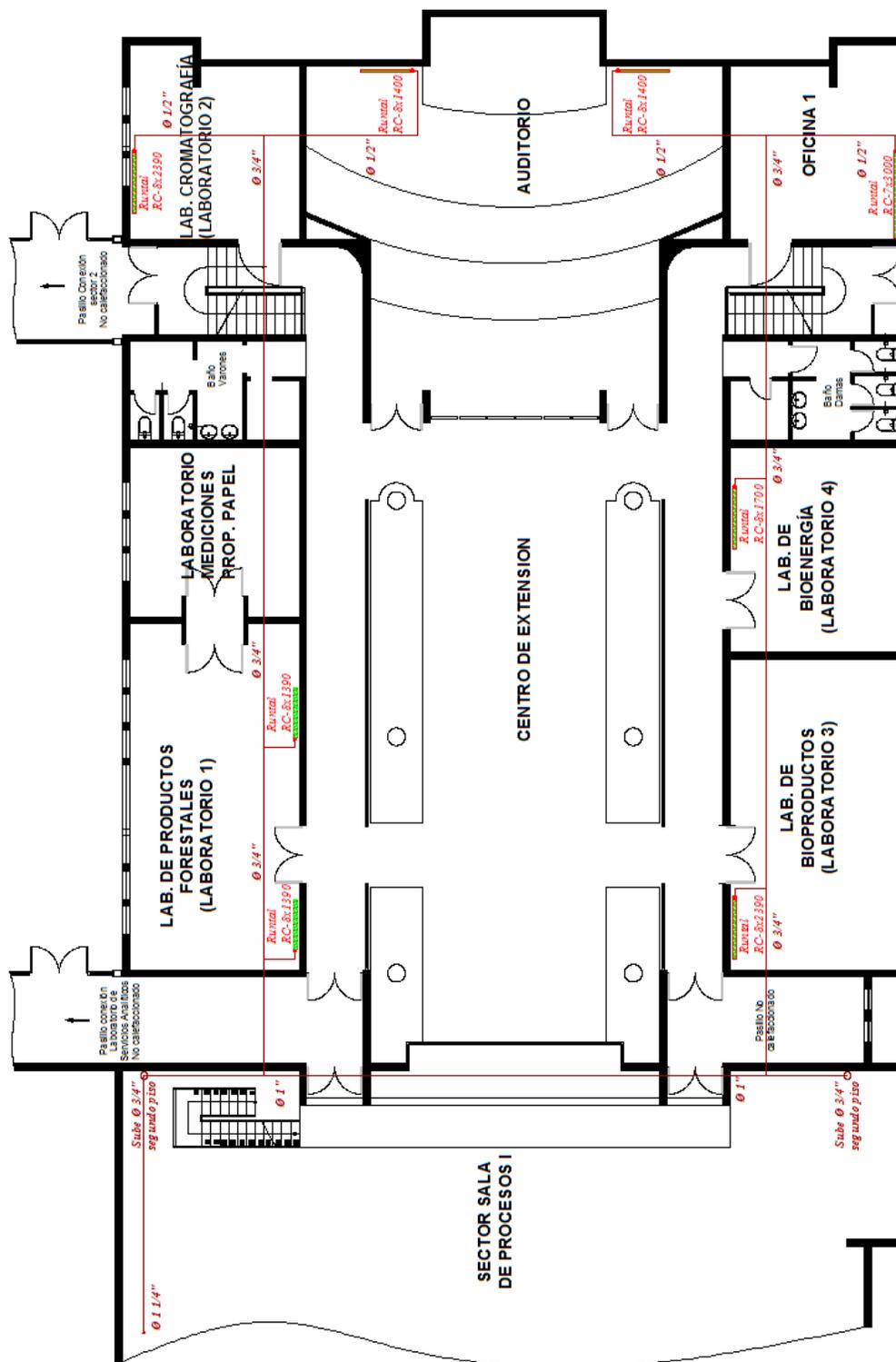


Figura 4. 25 Planta primer nivel sector 1

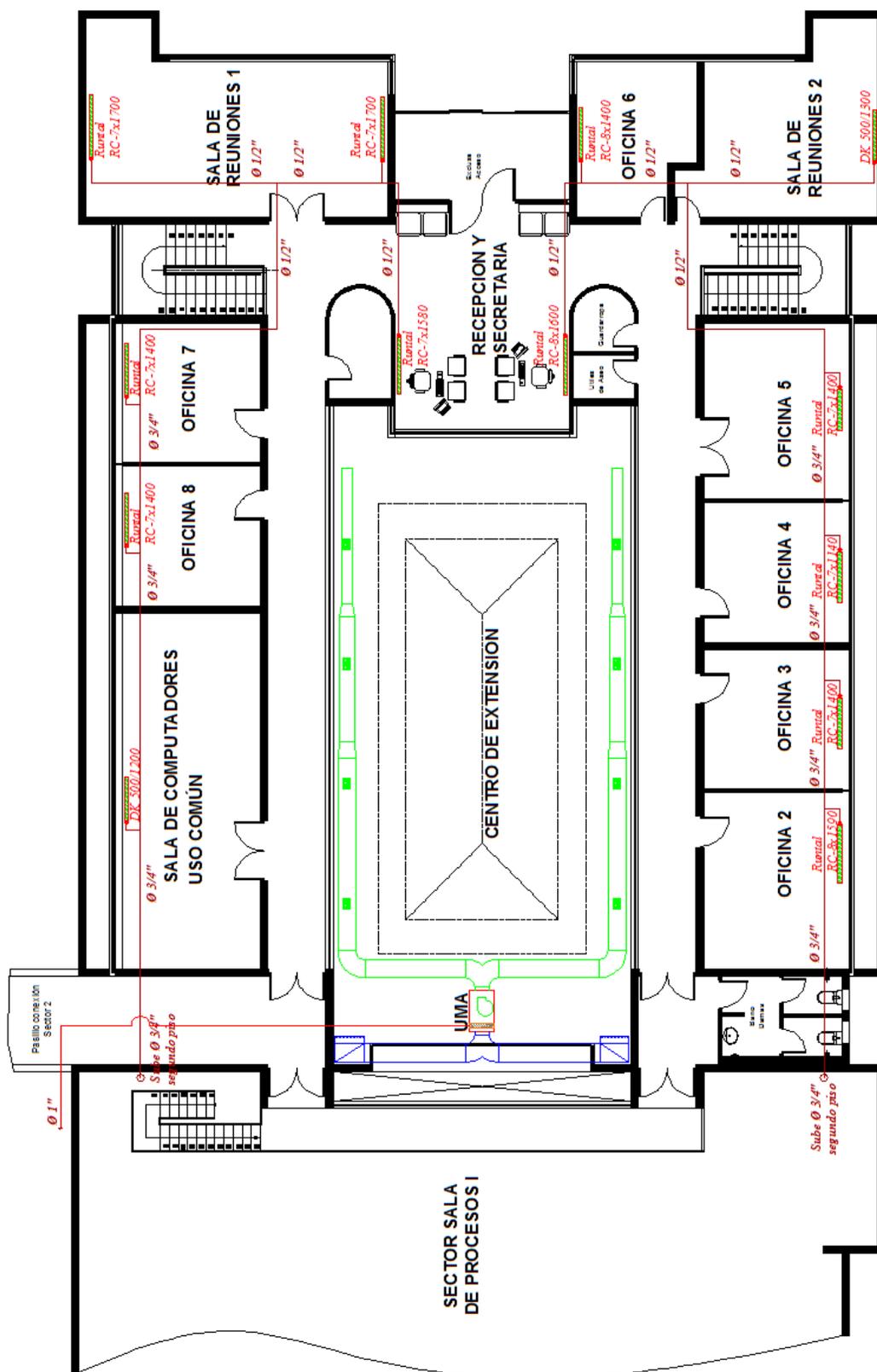


Figura 4. 26 Planta segundo nivel sector 1

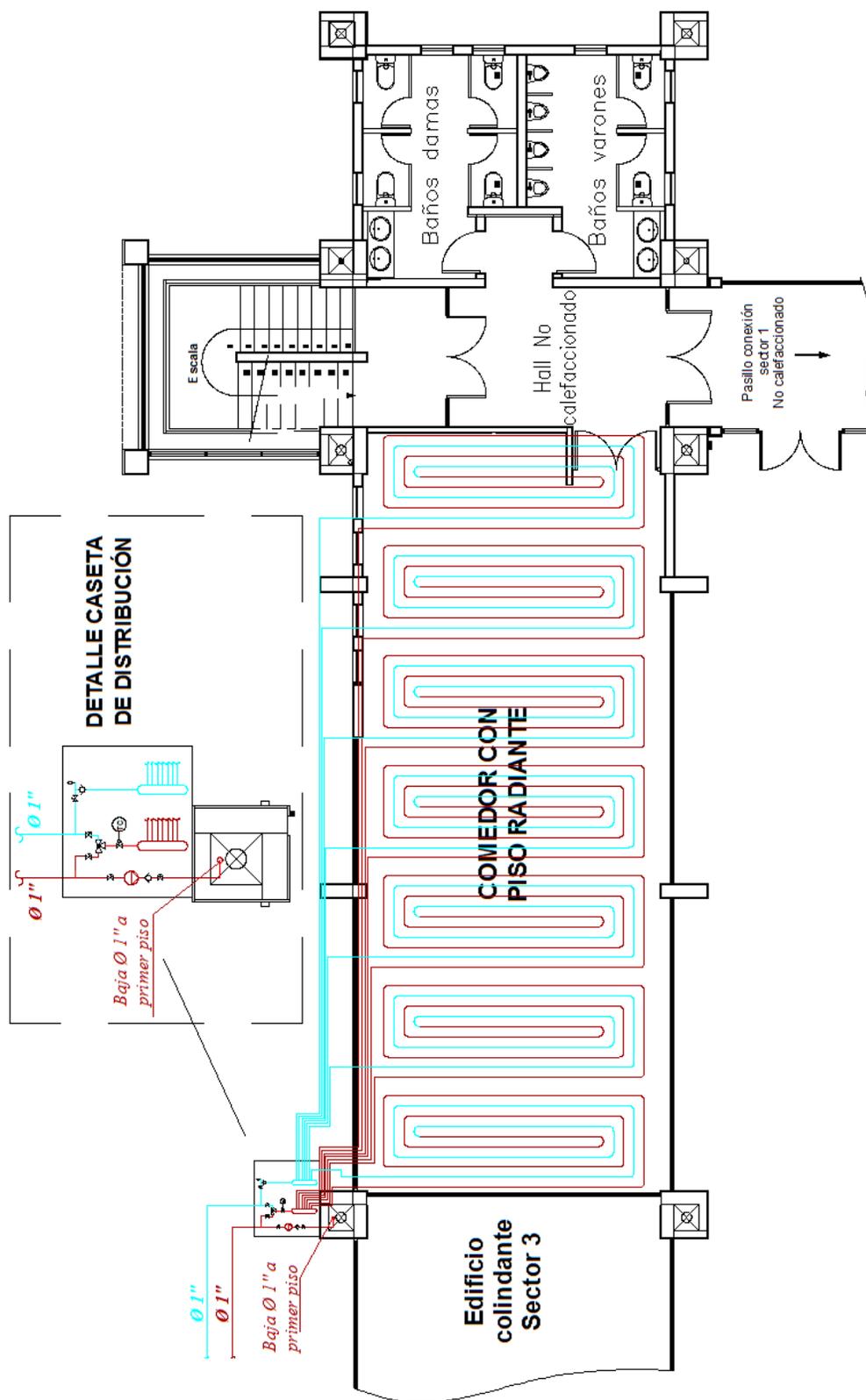


Figura 4. 27 Planta primer nivel sector 2

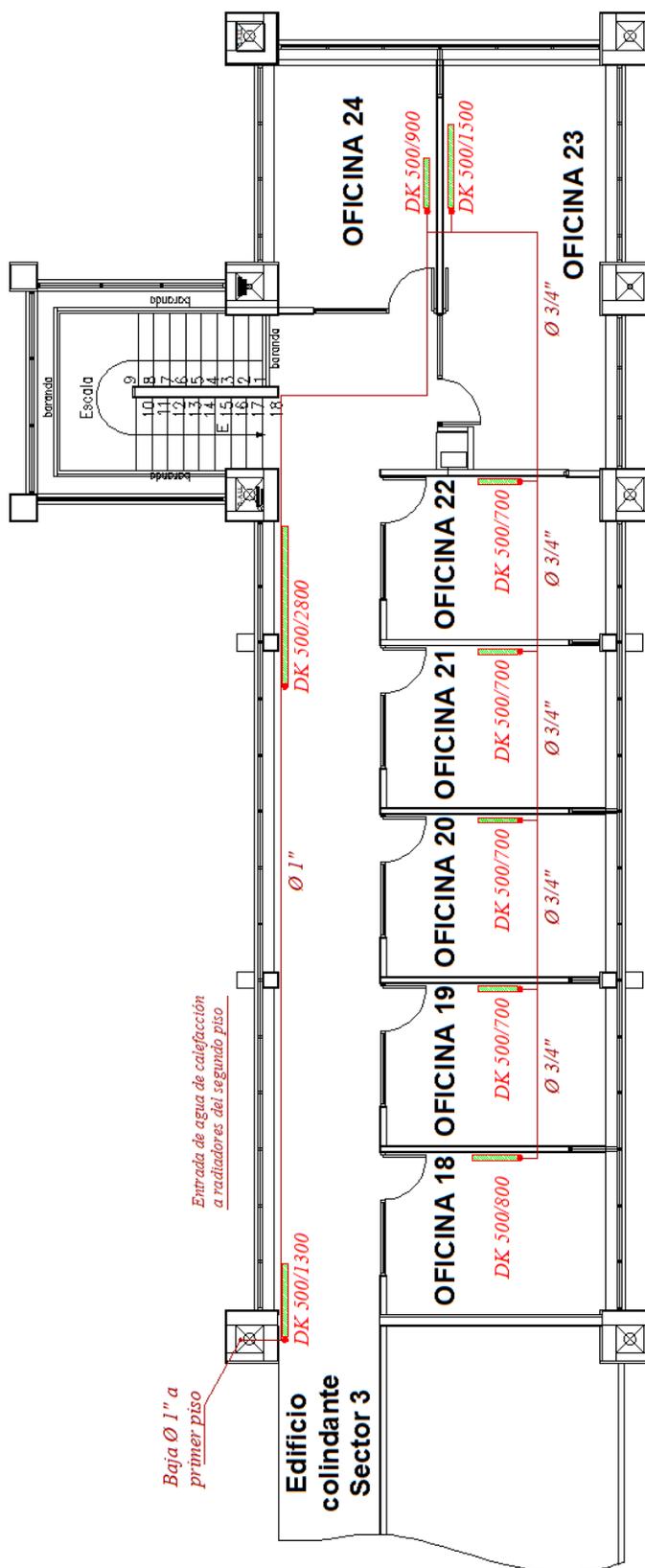


Figura 4. 28 Planta segundo nivel sector 2

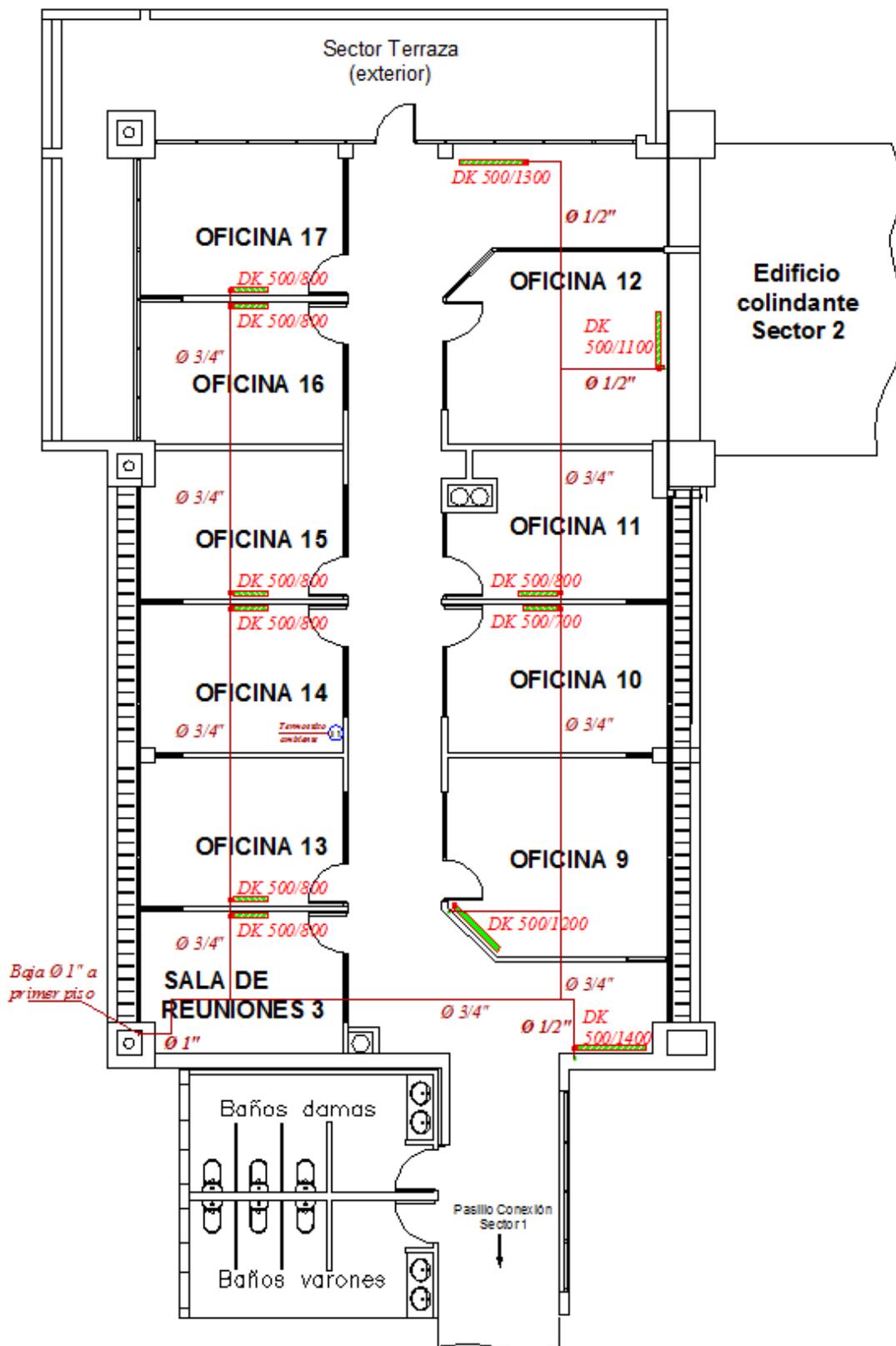


Figura 4. 29 Planta segundo nivel sector 3

4.5.1 Caudal requerido y pérdida de carga

Ya conocidos los circuitos hidráulicos se procede a determinar la pérdida de carga en cada circuito, para lo anterior lo primero es determinar el flujo de agua necesario para cada ramal y la matriz principal. Para tal efecto se debe considerar la demanda energética de cada calefactor y por medio de la ecuación 19 se procede a calcular el flujo volumétrico de agua de calefacción necesario. Una vez obtenido el flujo volumétrico se procede a calcular la velocidad del agua en la tubería por medio de la ecuación 20. En este caso, al ser un circuito existente la obtención de la velocidad tiene únicamente el propósito de verificación, con este valor se podrá determinar si eventualmente una tubería está sobre-dimensionada o sub-dimensionada. A modo de ejemplo, a continuación se realizará el cálculo de la pérdida de carga en el sector 3, construido en PEX-A (Polietileno Reticulado).

$$Q_{equipo} = \dot{V} \times \rho_{agua} \times CP_{agua} \times \Delta T_{agua} \quad (19)$$

$$V = \frac{\dot{V}}{A} \quad (20)$$

donde:

Q_{equipo} corresponde a la potencia del equipo corregida en W

\dot{V} corresponde al flujo volumétrico de agua caliente en m^3/s

ρ_{agua} corresponde a la densidad del agua a la presión y temperatura del ensayo en kg/m^3

CP_{agua} corresponde al calor específico del agua a la presión y temperatura de trabajo en J/kgK

ΔT_{agua} corresponde a la diferencia de temperatura entre la entrada y salida del agua en K .

Se utilizarán los valores reales medidos en cada uno de los tipos de equipos, dichos valores fueron especificados en el numeral 4.3.

V corresponde a la velocidad del agua en m/s

A corresponde al área interior de la tubería en m^2

Para determinar la pérdida de carga se aplicará el método de Hazen Williams, reconocida mundialmente como apropiada para conducciones de líquidos a presión en productos plásticos (VINILIT, 2017).

$$h = 10,67 \times \frac{V^{1,85}}{D^{4,87} \times C^{1,85}} \times L \tag{21}$$

donde:

h corresponde a la pérdida de carga en m

D corresponde al diámetro en m

C corresponde al coeficiente de rugosidad característico del material de la tubería (polietileno reticulado, $C=158$)

L corresponde a la longitud equivalente en m , considera los tramos rectos y las singularidades.

Las pérdidas de carga generadas por los accesorios (singularidades) serán transformadas a largo equivalente, obteniendo un largo total del tramo con el cual se realizará el cálculo final de la pérdida de carga. Conociendo la cantidad y tipos de accesorios presentes en el circuito es posible mediante la tabla 4.16 determinar el largo equivalente del circuito hidráulico.

Tabla 4. 16 Largo equivalente de los accesorios

Accesorio \emptyset	\emptyset			
	16 mm	20 mm	25 mm	32 mm
Codo 90° radio largo	0,20	0,29	0,40	0,55
Codo 90° radio corto	0,36	0,55	0,73	1,06
Codo 45°	0,18	0,26	0,37	0,52
Tee paso directo	0,20	0,29	0,40	0,55
Tee salida lateral	0,55	0,76	1,07	1,52
Unión Pex con reducción	0,17	0,24	0,33	0,45
Válvula de bola	0,06	0,09	0,12	0,17

A modo de ilustrar de mejor forma la distribución de la red en estudio, la figura 4.30 muestra un esquema en isométrico sin escala del trazado de tuberías de calefacción correspondiente al sector 3.

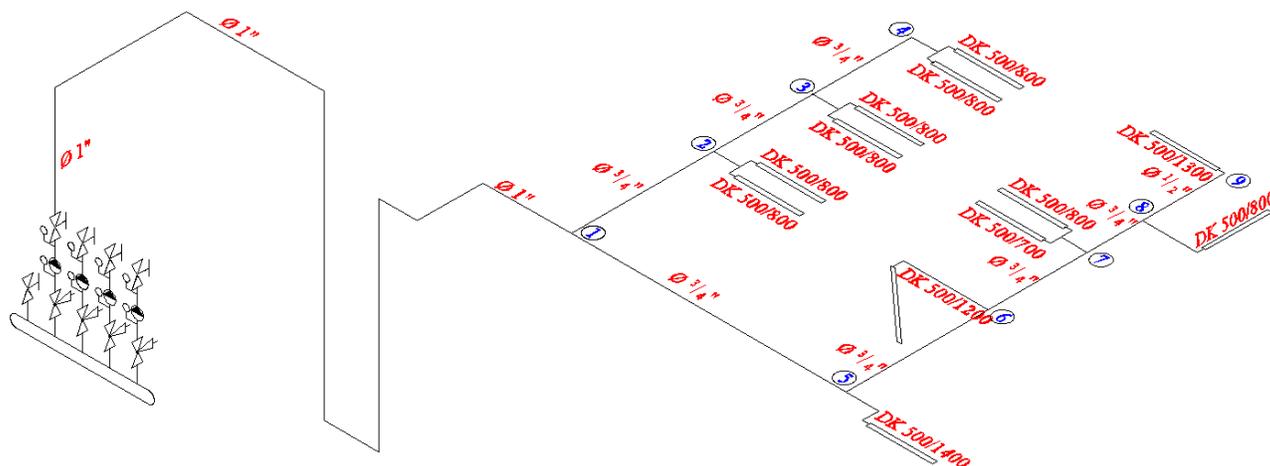


Figura 4. 30 Diagrama isométrico red de calefacción sector 3

Una vez levantado el trazado de cañerías y cuantificadas el tipo y cantidad de singularidades se procede a realizar el cálculo de las pérdidas de carga totales del circuito. Al tratarse de un circuito de calefacción con sistema de retorno directo conectada horizontalmente, las líneas de alimentación y retorno tienen la misma o casi la misma caída de presión a través de ellas (**CARRIER, 2009**). Por lo anteriormente expuesto, para calcular la pérdida de carga total del circuito se asume que ésta corresponde al doble de la pérdida calculada en el circuito de alimentación, además no se consideran las energías potenciales ya que se trata de un circuito cerrado. Al tratarse de un circuito en paralelo, para el cálculo de la pérdida de carga se considera el punto más desfavorable. En el caso del sistema ejemplificado se considera como punto más desfavorable el punto 9 indicado en la figura 4.30, obteniendo una pérdida de carga TOTAL de 2,5 [m] para un caudal de 20,23 [L/min] en la matriz. La tabla 4.17 muestra los resultados obtenidos en la red de alimentación del sector 3, destacando los tramos considerados en el cálculo de la pérdida de carga.

Tabla 4. 17 Cálculo de pérdidas regulares sector 3

Línea	Caudal (m3/s)	Caudal (l/min)	Diámetro Interior (m)	Largo tramo recto (m)	Largo eq singularidades (m)	Largo TOTAL (m)	h (m)
Matriz	3,37E-04	20,23	26,20	43,5	9,37	52,87	0,92
1 - 2	1,43E-04	8,59	20,40	1,9	2,14	4,04	0,05
2 - 3	9,55E-05	5,73	20,40	6,3	2,14	8,44	0,05
3 - 4	4,77E-05	2,86	20,40	6,1	1,8	7,9	0,01
1 - 5	1,94E-04	11,64	20,40	6,8	1,07	7,87	0,17
5 - 6	1,52E-04	9,13	20,40	1,8	2,14	3,94	0,05
6 - 7	1,16E-04	6,98	20,40	6,3	2,14	8,44	0,07
7 - 8	7,16E-05	4,30	20,40	4,7	1,07	5,77	0,02
8 - 9	3,88E-05	2,33	16,20	5	0,73	5,73	0,02
							1,25

La tabla 4.18 muestra un resumen de las pérdidas de carga y caudal requerido por los tres circuitos de calefacción, además del modelo de bomba disponible en cada sistema. Por medio de esta información se procederá a verificar si las bombas disponibles cumplen o no con los requerimientos de cada circuito.

Tabla 4. 18 Resumen circuitos hidráulicos

Sector	Caudal (m3/h)	Caudal (l/min)	h (m)	Modelo bomba Disponible en sector
1	2,96	49,33	10,3	DAB A110/180XM
2	2,02	33,60	8,0	DAB A110/180XM
3	1,21	20,23	2,5	DAB A80/180XM

4.5.2 Verificación bombas existentes

A través de la información entregada en la tabla 4.18 se procederá a verificar si las bombas dispuestas en los circuitos de calefacción cumplen con las necesidades del sistema. Para lo anterior es necesario verificar las curvas de las bombas, las cuales deben entregar como mínimo el caudal y altura indicados en la tabla 4.18. En las figuras 4.31, 4.32 y 4.33 se ilustran las curvas características de cada bomba, trazando en ellas el punto de operación conseguido en función de la altura requerida por cada sistema.

De acuerdo a lo indicado en la figura 4.31, la bomba DAB A110/180XM, dispuesta en el sector 1, a los 10,3 [m] requeridos entregaría un caudal de 41 [l/m] a su máxima velocidad, caudal menor a los 49,3 [l/m] requeridos, por lo tanto esta bomba no cumpliría con el punto de operación requerido por el circuito asociado.

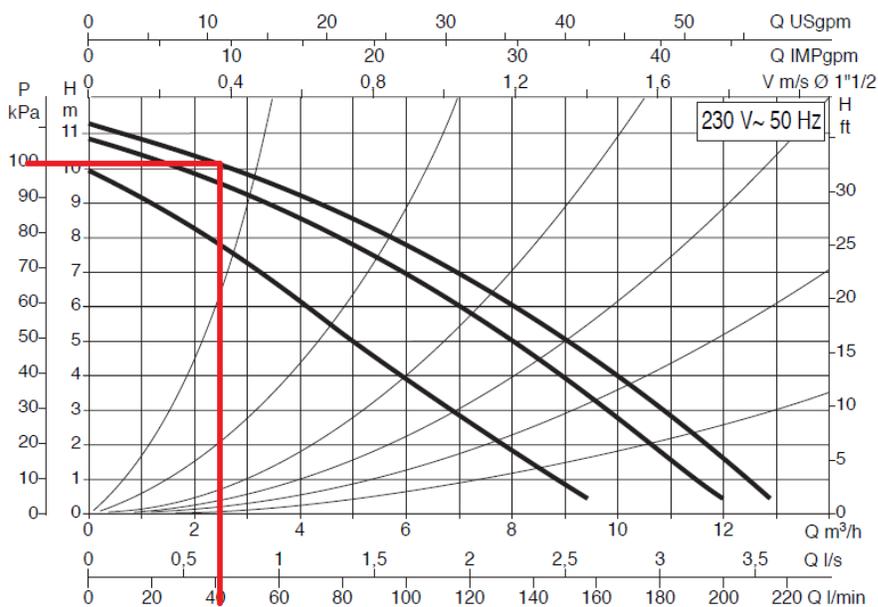


Figura 4. 31 Bomba DAB A 110/180 XM, sector 1

En la figura 4.32 se aprecia que la bomba DAB A110/180XM, dispuesta en el sector 2, a los 8 [m] requeridos entregaría un caudal de 38 [l/m] a su mínima velocidad, caudal mayor a los 33,6 [l/m] requeridos, por lo tanto, esta bomba cumple con el punto de operación requerido. Para contrarrestar el superávit de caudal se deberá regular el caudal con la válvula de globo dispuesta inmediatamente después de la bomba, generando una pérdida de carga adicional al circuito. No es posible utilizar una bomba de menor capacidad ya que el modelo inmediatamente menor (A 110/180XM) no entrega el punto requerido.

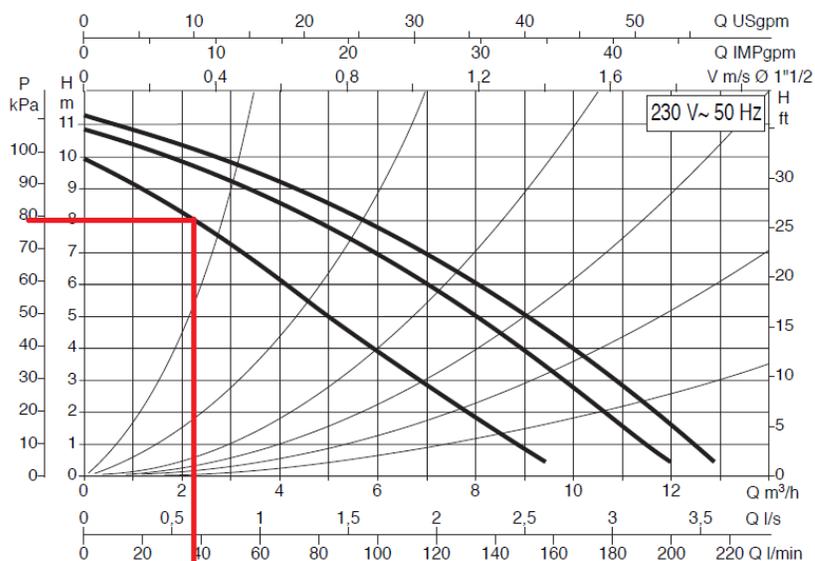


Figura 4. 32 Bomba DAB 110/180 XM, sector 2

Finalmente en la figura 4.33 se aprecia que la bomba DAB A80/180XM, dispuesta en el sector 3, a los 2,5 [m] requeridos entregaría un caudal de 65 [l/m] a su mínima velocidad, muy superior a los 20,2 [l/m] requeridos, por lo tanto, esta bomba cumple con el punto de operación requerido, sin embargo se encuentra sobredimensionada.

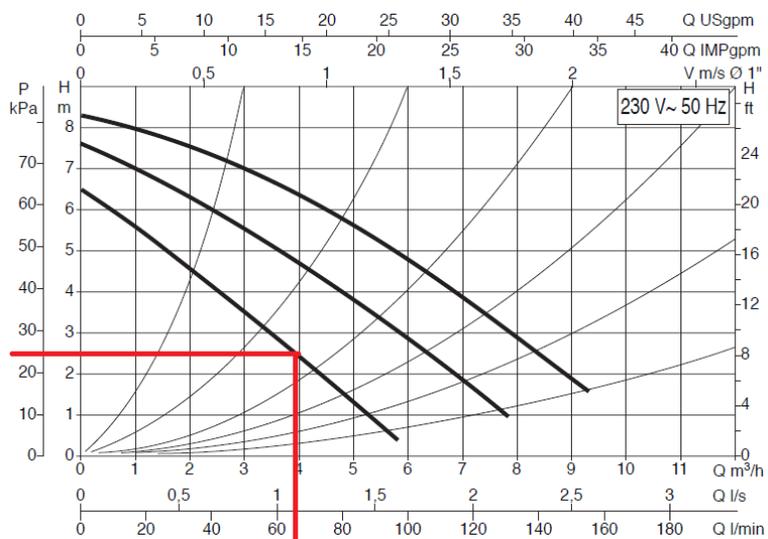


Figura 4. 33 Bomba DAB 80/180 XM, sector 3

Mediante la verificación de los puntos de operación requeridos por los tres sectores en estudio, se pudo verificar que las bombas 1 y 3 presentan posibilidades de mejoras, en el capítulo 5 se presentarán las propuestas para subsanar estas situaciones.

4.6 Costos de calefacción anual

Para realizar la evaluación de costos de calefacción se debe considerar en primer lugar la zona geográfica de la edificación ya que esto condiciona las condiciones del ambiente exterior, tales como temperatura y velocidad del viento. En segundo lugar se debe considerar el régimen de utilización anual y diario del sistema de calefacción, en este caso el sistema de calefacción trabaja 10 horas diarias (7:30 A.M. – 17:30 P.M.), 5 días por semana y alrededor de 22 semanas por año (Mayo – Septiembre).

4.6.1 Carga de calefacción anual

El método que se utiliza para determinar el consumo energético por calefacción está basado en el concepto de Grados Día (GD) este método relaciona la temperatura exterior de la localidad del recinto en estudio con la temperatura de confort definida.

$$Q_{calefacción} = G \times V \times (t_a - t_e) \quad (22)$$

$$\dot{Q}_{anual} \left[\frac{Wh}{año} \right] = 24 \times G \times V \times \mu \times i \sum GD_{real} \quad (23)$$

Donde:

\dot{Q}_{anual} es la carga de calefacción anual en $Wh/año$

G es el coeficiente global de transferencia en $W/m^3 \cdot ^\circ C$

V es el volumen del local en m^3

t_a y t_e corresponden a la temperatura del recinto y la temperatura exterior respectivamente

μ factor que considera la intermitencia en el servicio de calefacción

i factor que considera la protección de ventanas con cortinas o persianas

$\sum GD_{real}$ corresponde a la sumatoria de GD del periodo de calefacción

Para el cálculo de los GD se debe considerar la temperatura base de calefacción t_a' , la cual corresponde a:

$t_a' = t_a - 3 = 17^\circ C$, los 3 grados que se restan a la temperatura t_a corresponden al aporte de energía de las personas y los equipos generadores de calor.

El cálculo de los GD se extrae de la base de datos indicada en la tabla 4.19

Tabla 4. 19 Base de datos GD Concepción - Invierno

GRADOS DIA CONCEPCION - INVIERNO

	Calefacción	Temp Media aire
Enero	67,1	17
Febrero	71,5	16,2
Marzo	112,9	13,8
Abril	158,0	11,2
Mayo	191,7	9,4
Junio	237,6	7,4
Julio	253,0	7
Agosto	244,3	7,7
Septiembre	224,8	9,2
Octubre	172,8	11,4
Noviembre	119,3	13,9
Diciembre	80,9	16,2
TOTAL	1933,8	11,7

Temperatura base calefacción °C	17
---------------------------------	----

Tal como se mencionó, el sistema de calefacción existente funciona durante el periodo comprendido de Mayo a Septiembre, por lo tanto:

$$\sum GD_{real} = 191,7 + 237,6 + 253,0 + 244,3 + 224,8 = 1151,4$$

Luego

$$\mu = \frac{\text{N}^\circ \text{ horas totales periodo calefacción} - \text{N}^\circ \text{ horas sin calefacción}}{\text{N}^\circ \text{ horas totales periodo calefacción}}$$

$$\mu = \frac{(22 \times 7 \times 24) - (22 \times 5 \times 14 + 22 \times 2 \times 24)}{22 \times 7 \times 24} = \frac{1100}{3696} = 0,2976$$

$i = 0,96$ debido a que las ventanas no cuentan con protección térmica.

Por medio de la carga de calefacción ya calculada se puede obtener el valor de $G \times V$

$$Q_{calefacción} = G \times V \times (t_a - t_e) \rightarrow G \times V = \frac{Q_{calefacción}}{(t_a - t_e)}$$

$$G \times V = \frac{80.140,5}{20 - 5} = 5.342,7 \left[\frac{W}{^{\circ}C} \right]$$

Finalmente la carga de calefacción anual corresponde a:

$$\dot{Q}_{anual} \left[\frac{Wh}{año} \right] = 24 \times G \times V \times \mu \times i \sum GD_{real}$$

$$\dot{Q}_{anual} = 24 \times 5.342,7 \times 0,2976 \times 0,96 \times 1151,4 = 42.177.753,2 \left[\frac{Wh}{año} \right]$$

4.6.2 Costo anual de combustible

$$\dot{Q}_{anual} = \dot{m}_{comb} \times PCI \times \eta_{sistema} \quad (24)$$

$$\eta_{sistema} = \eta_{caldera} \times \eta_{distribución} \times \eta_{regulación} \quad (25)$$

Donde:

\dot{Q}_{anual} es la carga de calefacción anual en $J/año$

\dot{m}_{comb} es la masa de combustible en $kg/año$

PCI es el poder calorífico inferior del combustible en J/kg

$\eta_{sistema}$ es el rendimiento del sistema, el cual considera a la caldera, la distribución y la regulación.

Para el caso en estudio se tiene una caldera a pellet KWB Powerfire 150, con un rango de potencia de 45 a 150 kW . De acuerdo a lo indicado en su ficha técnica el rendimiento de este equipo es de 91,5% al utilizar pellet de madera como combustible.

En cuanto al rendimiento de la distribución y regulación se considerará para ambos casos un valor de 95%. Por lo tanto el rendimiento del sistema corresponde a:

$$\eta_{sistema} = 0,915 \times 0,95 \times 0,95 = 0,8257 \approx 82,6\%$$

El combustible a utilizar corresponde a pellet de madera con una densidad aparente de 722 kg/m^3 y un PCI de 18.724 kJ/kg es decir 4.473 kcal/kg (UDT-ASA, 2017). Por medio de la ecuación (19) se obtiene la masa de combustible anual.

$$\dot{m}_{comb} = \frac{\dot{Q}_{anual}}{PCI \times \eta_{sistema}}$$

$$\dot{m}_{comb} = \frac{42.177.753,2 \times 3600}{18.724.000 \times 0,826} = 9.820,7 \text{ kg/año}$$

Al considerar que el período de calefacción evaluado tiene 102 días reales de calefacción, se puede calcular el consumo diario de calefacción al dividir el flujo de masa de combustible anual por la cantidad de días del periodo de calefacción, resultando:

$$\dot{m}_{comb} = \frac{9.820,7}{102} = 96,3 \text{ kg/día}$$

Según registros anteriores, en el año 2016 el consumo de pellet de madera fue de 11,2 [Ton/año], lo anterior implica un consumo aproximado de 109,8 kg/día. El valor anterior se asemeja al consumo diario calculado, y la diferencia existente se puede explicar a la falta de control y regulación automática que en el sistema de calefacción existente, dejando el control de temperatura a juicio del usuario mediante la apertura o cierre de las válvulas manuales de los calefactores murales, salvo en el sistema con losa radiante en donde si se cuenta con un sistema de control de temperatura automático.

En función de la masa de combustible anual calculada se procede a estimar los costos de calefacción anual.

$$Costo_{Anual\ Comb} \left[\frac{\text{Pesos}}{\text{año}} \right] = \dot{m}_{comb} \left[\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right] \times C_{comb} \left[\frac{\text{Pesos}}{\text{kg}} \right] \quad (26)$$

El valor del pellet de madera para el año 2017 es de 142,8 $\left[\frac{\text{Pesos}}{\text{kg}} \right]$ (IVA incluido). El proveedor de pellet de la Unidad de Desarrollo Tecnológico es la empresa BioPower SPA.

Finalmente, se obtiene el costo anual de combustible.

$$Costo_{Anual\ Comb} = 9.820,7 \times 142,8 \approx 1.402.389$$

Como ya se ha mencionado el sistema de calefacción en estudio tiene la posibilidad de utilizar como combustible Pellet de Madera o Gas Licuado Petróleo (GLP). Debido al menor costo energético del pellet de madera se prioriza el uso de la caldera a pellet en desmedro de la caldera a GLP, utilizando esta última únicamente en periodos en donde no se cuenta con disponibilidad de pellet o se presentan paros no programados en la caldera a pellet.

Actualmente se cuenta con disponibilidad de pellet de madera con más de un proveedor, y se ha implementado un programa de mantenimiento preventivo anual en las calderas, lo cual minimiza la posibilidad de detenciones no programadas, sin embargo ante un eventual cambio de escenario del pellet de madera como por ejemplo aumento sustancial del precio o menor disponibilidad de éste, se deben evaluar distintas alternativas de combustibles y los costos operacionales que éstos implican.

La tabla 4.20 presenta una comparación de los costos operacionales asociados a consumo de combustible para distintas alternativas energéticas.

Tabla 4. 20 Evaluación de combustibles alternativos

	PCI (kcal/kg)	η_{caldera} (%)	m_{comb} (kg/año)	C_Comb (Pesos/kg)	Costo_Anual (Pesos/año)
Pellet	4.473	91,5%	9.820,7	142,80	1.402.388,9
GLP	12.051	77%	4.320,3	1278,72	5.524.438,2
GN(*)	9.300	80%	5.402,4	878,00	4.743.313,6
Kerosene	11.100	80%	4.526,3	679,01	3.073.441,6
Diesel	10.900	83%	4.442,8	575,00	2.554.603,6
Petróleo n°6	10.500	83%	4.612,0	393,56	1.815.093,1

(*) Valores del GN expresados en kcal/m³, m³/año y Pesos/m³.

(*) Considera el PCS del GN

Tal como se aprecia en la tabla anterior, la mejor alternativa económica es el pellet de madera, por lo cual lo más conveniente es generar el agua caliente por medio de la caldera principal a pellet. Para todas las alternativas presentadas en la tabla mencionada se consideró un rendimiento en la distribución y regulación igual a 95%.

La tabla anterior no considera los costos operacionales asociados a operación, energía eléctrica, mantención, entre otros, puesto que representan una pequeña parte del costo total asociado a la generación de agua caliente, alrededor de un 7 a 10%. Por lo tanto el costo más relevante es el asociado al consumo de combustible, siendo cercano a un 90%.

De acuerdo a la evaluación anterior, se puede ver que la segunda alternativa más conveniente resulta ser el petróleo n°6, sin embargo es importante mencionar la dificultad que presenta este combustible en términos operativos y logísticos. En la región existen pocos proveedores que lo comercializan, sumado a los altos costos que implica una

instalación de almacenamiento, transporte y dosificación de este tipo de combustible, puesto que las instalaciones deben estar acordes a la normativa vigente (**DS 160**). Finalmente, la alta viscosidad que presenta el petróleo N°6, implica que éste debe ser calentado para ser transportado a través de una red de cañerías, lo cual implica un costo operacional adicional. Por lo anterior la implementación de un sistema de calefacción basado en este tipo de combustible debe ser estudiada con más detalle.

CAPÍTULO 5: RECOMENDACIÓN DE MEJORAS

En el capítulo anterior se determinaron las cargas térmicas necesarias para suplir las pérdidas de calor al ambiente exterior, por medio de esto se determinó cuáles de los recintos disponían de equipos acordes a sus necesidades térmicas. Tal como se mostró en la tabla 4.15 de la página 81, la mayoría de los equipos cumplen con las necesidades de los recintos, sin embargo existen algunos sectores con déficit energéticos razón por la cual se hace necesaria la implementación de alguna alternativa que permita suplir dicho requerimiento. Las alternativas a implementar son en primer lugar, realizar una reubicación de equipos existentes, aprovechando que no solo existen recintos con déficit energéticos sino que también existen casos con equipos sobredimensionados.

5.1 Equipos de calefacción murales

Tal como se ha mencionado, el edificio cuenta con dos tipos de equipos murales de calefacción: Runtal RC y OCEAN ANWO DK500. Los equipos Runtal RC actualmente no se utilizan en nuevos proyectos debido a su baja tasa de transferencia de calor y a la poca disponibilidad en el mercado, estos equipos han sido desplazado por los equipos OCEAN ANWO, los cuales presentan un mejor desempeño energético y una buena disponibilidad y servicio postventa. De acuerdo a lo anterior, en los casos en donde la alternativa a implementar sea la incorporación de nuevos equipos, se optará por utilizar equipos OCEAN ANWO.

Debido a que el sector 1 cuenta con equipos en algunos casos subdimensionados y en otros sobredimensionados, se realizará como primera medida la reubicación de calefactores, con lo cual se aumentará la carga térmica entregada en recintos con déficit energético y se disminuirá en recintos con superávit. Esto es muy atractivo económicamente puesto que no implica una inversión en nuevos equipos, solo en mano de obra, además permite utilizar de mejor forma la capacidad de los equipos calefactores. A continuación en la tabla 5.1 se presenta el resumen de la evaluación de los recintos del sector 1, en donde se puede observar lo planteado en el párrafo anterior. La reubicación a implementar es la siguiente: Calefactores de los laboratorios 2 y 3 se reubicarán en sala de reuniones 1, Calefactores de Auditorio serán reubicados en Laboratorios 2 y 3, Calefactores de sala de reuniones 1 serán reubicados en Auditorio, Calefactor de Oficina 2 será

reubicado en Oficina 1, Calefactor de Oficina 1 será reubicado en Oficina 2, Calefactor de Oficina 4 será reubicado en oficina 5 y Calefactor de Oficina 5 será reubicado en oficina 4. Lo anterior se presenta en la tabla 5.2

Tabla 5. 1 Resumen recintos sector 1 (situación actual)

Sector	Nivel	Recinto	Equipo disponible	Qequipo (W) Requerido	Qmax_equipo (W)	Qreal_equipo (W)	Cumple SI/NO
Sector 1	Nivel 1	Laboratorio 1	Runtal RC 560x1390	2.481	1.727	1.416	SI
			Runtal RC 560x1390		1.727	1.416	
		Laboratorio 2	Runtal RC 560x1700	2.220	2.112	1.731	NO
		Laboratorio 3	Runtal RC 560x1700	2.352	2.112	1.731	NO
		Laboratorio 4	Runtal RC 560x1700	1.565	2.112	1.731	SI
		Auditorio	Runtal RC 560x2390	2.845	2.969	2.434	SI
			Runtal RC 560x2390		2.969	2.434	
	Oficina 1	Runtal RC 560x1590	2.289	1.975	1.619	NO	
	Nivel 2	Oficina 2	Runtal RC 490x3000	1.181	3.381	2.772	SI
		Oficina 3	Runtal RC 490x1400	785	1.578	1.294	SI
		Oficina 4	Runtal RC 490x1400	785	1.578	1.294	SI
		Oficina 5	Runtal RC 490x1140	1.098	1.285	1.053	NO
		Oficina 6	Runtal RC 560x1400	808	1.739	1.426	SI
		Oficina 7	Runtal RC 490x1400	894	1.578	1.294	SI
		Oficina 8	Runtal RC 490x1400	785	1.578	1.294	SI
		Sala de computación	NO DISPONE	1.998	-	-	NO
		Sala de reuniones 1	Runtal RC 560x1400	3.039	1.739	1.426	NO
			Runtal RC 560x1400		1.739	1.426	
	Sala de reuniones 2	Runtal RC 560x1400	2.081	1.739	1.426	NO	
	Sala de extensión (Nivel 1 y 2)	Runtal RC 490x1580	23.452	1.781	1.460	NO	
Runtal RC 560x1600		1.987		1.630			

Tabla 5. 2 Resumen recintos sector 1 (con reubicación de equipos)

Sector	Nivel	Recinto	Equipo disponible	Qequipo (W) Requerido	Qmax_equipo (W)	Qreal_equipo (W)	Cumple SI/NO
Sector 1	Nivel 1	Laboratorio 1	Runtal RC 560x1390	2.481	1.727	1.416	SI
			Runtal RC 560x1390		1.727	1.416	
		Laboratorio 2	Runtal RC 560x2390	2.220	2.969	2.434	SI
		Laboratorio 3	Runtal RC 560x2390	2.352	2.969	2.434	SI
		Laboratorio 4	Runtal RC 560x1700	1.565	2.112	1.731	SI
		Auditorio	Runtal RC 560x1400	2.845	1.739	1.426	SI
			Runtal RC 560x1400		1.739	1.426	
	Oficina 1	Runtal RC 490x3000	2.289	3.381	2.772	SI	
	Nivel 2	Oficina 2	Runtal RC 560x1590	1.181	1.975	1.619	SI
		Oficina 3	Runtal RC 490x1400	785	1.578	1.294	SI
		Oficina 4	Runtal RC 490x1140	785	1.285	1.053	SI
		Oficina 5	Runtal RC 490x1400	1.098	1.578	1.294	SI
		Oficina 6	Runtal RC 560x1400	808	1.739	1.426	SI
		Oficina 7	Runtal RC 490x1400	894	1.578	1.294	SI
		Oficina 8	Runtal RC 490x1400	785	1.578	1.294	SI
		Sala de computación	NO DISPONE	1.998	-	-	NO
		Sala de reuniones 1	Runtal RC 560x1700	3.039	2.112	1.731	SI
			Runtal RC 560x1700		2.112	1.731	
	Sala de reuniones 2	Runtal RC 560x1400	2.081	1.739	1.426	NO	
	Sala de extensión (Nivel 1 y 2)	Runtal RC 490x1580	23.452	1.781	1.460	NO	
Runtal RC 560x1600		1.987		1.630			

Tal como se observa en la tabla 5.2 posterior a la reubicación, aún existen recintos con déficit energéticos, por lo anterior se propone la implementación de nuevos equipos. Para los casos de la sala de computación y sala de reuniones 2 se seleccionarán nuevos equipos murales del tipo OCEAN ANWO DK 500, similares a los utilizados en los sectores 2 y 3. En el caso de la sala de extensión, debido a la gran carga térmica necesaria se optará por un sistema de calefacción diferente a los calefactores murales, este tema será abordado en el numeral 5.2.

En el sector 3 el sector denominado como “Pasillos S2 y S3” también se encuentra con déficit energético, en este caso y debido a la amplitud del sector se plantea la posibilidad de incorporar un cuarto equipo, el cual aporte la energía necesaria para cubrir la totalidad de la carga térmica requerida.

Para la estimación de la capacidad del equipo a seleccionar se debe considerar el factor de corrección “X” calculado en el numeral 4.3.2 de la página 75, en donde se obtiene un valor de $X=0,785$ (para equipos OCEAN ANWO DK 500). Considerando este factor la capacidad necesaria para los nuevos equipos de calefacción son las que se muestran en la tabla 5.3.

Tabla 5. 3 Capacidad nuevos equipos sector 1

Recinto	Qequipo (W) Requerido	Factor de corrección "X"	Qequipo (W) Corregida
Sala de computación	1.998	0,785	2.546
Sala de reuniones 2	2.081	0,785	2.651
Pasillos S2 y S3	3.886	0,785	4.950

Por medio de estas cargas térmicas se procederá a buscar un equipo del tipo DK 500 que cumpla con la carga térmica necesaria. En la tabla 5.4 se muestran las capacidades disponibles en los equipos DK 500, de acuerdo a ésta los equipos necesarios son:

- Sala de computación: Equipo DK 500.1200
- Sala de reuniones 2: Equipo DK 500.1300
- Sector Pasillos S2 y S3: Equipo DK 500.2800

Tabla 5. 4 Capacidades equipos OCEAN ANWO DK 500

Código	Largo (mm)	Altura (mm)	KW	Kcal/h	Capacidad lts
DK 500.0400	400	500	0,879	756	3,84
DK 500.0500	500	500	1,099	945	4,80
DK 500.0600	600	500	1,319	1134	5,76
DK 500.0700	700	500	1,538	1323	6,72
DK 500.0800	800	500	1,758	1512	7,68
DK 500.0900	900	500	1,978	1701	8,64
DK 500.1000	1000	500	2,197	1890	9,60
DK 500.1100	1100	500	2,417	2079	10,56
DK 500.1200	1200	500	2,637	2268	11,52
DK 500.1300	1300	500	2,857	2457	12,48
DK 500.1400	1400	500	3,077	2646	13,44
DK 500.1500	1500	500	3,297	2835	14,40
DK 500.1600	1600	500	3,516	3024	15,36
DK 500.1800	1800	500	3,956	3402	17,28
DK 500.2000	2000	500	4,395	3780	19,20
DK 500.2200	2200	500	4,835	4158	21,12
DK 500.2400	2400	500	5,274	4536	23,04
DK 500.2600	2600	500	5,714	4914	24,96
DK 500.2800	2800	500	6,153	5292	26,88
DK 500.3000	3000	500	6,593	5670	28,80

5.2 Unidad de calefacción para centro de extensión

Debido a la gran capacidad energética requerida para este recinto se hace necesaria la implementación de un sistema de calefacción diferente a los calefactores murales, ya que de optar por este tipo de equipos, se deberán incorporar una gran cantidad de ellos en donde para cada uno se deberá implementar una nueva red de tuberías en la edificación existente, lo cual encarecería el proyecto. Sumado a lo anterior, se debe considerar la altura de este recinto, la cual en su parte central es de aproximadamente 10 metros, perjudicando la eficacia de la transferencia de calor mediante equipos murales.

La construcción original del edificio consideraba en el centro de extensión un sistema de calefacción mediante una unidad manejadora de aire (UMA) la cual por medio de un ventilador, un intercambiador de calor y una red de ductos, recircula y calienta el aire del recinto a calefaccionar, por medio de agua de calefacción, vapor o resistencias eléctricas. Este sistema, fue extraído de su lugar hace aproximadamente 10 años, debido a que el espacio físico en donde se emplazaba la unidad se utilizó para otro propósito. Se desconoce por qué la unidad no fue reinstalada en otro espacio. Actualmente, la empresa si tiene la intención de habilitar este sistema de calefacción debido a que ya se dispone la red

de ductos, necesitándose únicamente la unidad manejadora de aire. En la figura 5.1 se presenta un diagrama del sistema de calefacción mencionado.

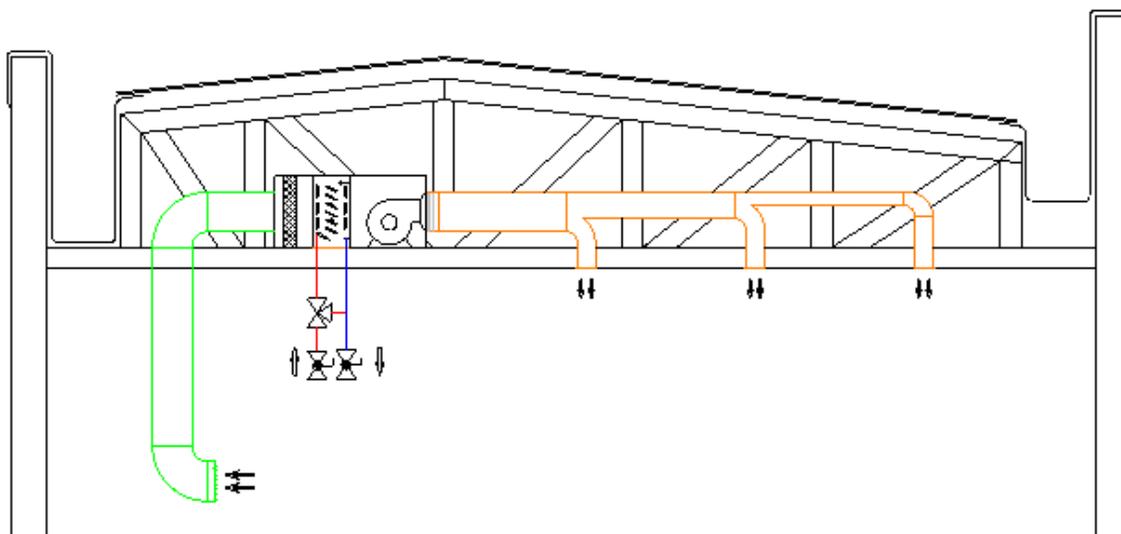


Figura 5. 1 Diagrama sistema calefacción Centro de extensión

A continuación se procede a realizar la estimación de la unidad manejadora de aire, para esto se utilizará como referencia el Manual de aire acondicionado Carrier.

Para estimar la capacidad del equipo de calefacción se considerará sobredimensionar en un 20% la carga térmica del equipo para conseguir un rápido precalentamiento en la puesta en marcha (**CARRIER, 2009**).

La carga térmica fue calculada en el capítulo 4 (tabla 4.9, página 72). Como se muestra en la tabla 4.9, el recinto ya cuenta con aporte calórico por lo tanto a la carga térmica calculada se le deben restar los aportes reales de los equipos existentes. Resultando un $Q_{Equipo} = 20.362 [W]$, Considerando el 20% adicional se obtiene el $Q_{Requerido}$

$$Q_{Requerido} = Q_{Equipo} \times 1,2 = 20.362 \times 1,2 = 24.434,4 \approx 24,4 \text{ kW}$$

A través de la potencia estimada se procede a seleccionar la unidad manejadora de aire. El proveedor Soler Palau (S&P) posee los equipos de la serie CAIB, los cuales corresponden a unidades de tratamientos para el calentamiento y/o enfriamiento de aire, en nuestro caso sólo se necesita calentamiento, por lo tanto los modelos a estudiar corresponden a las versiones BCR, las cuales solo poseen batería de agua caliente.

Para seleccionar adecuadamente el equipo se debe considerar la temperatura del agua de calefacción disponible, esta temperatura corresponde a 80°C ya que es la temperatura a la cual la caldera de calefacción entrega el agua al circuito de calefacción. Otro aspecto a considerar es la temperatura de entrada del aire al intercambiador de calor, la cual dependiendo si el sistema ha entrado en régimen o no, puede ser menor o mayor, para nuestro caso se considerará la temperatura mayor disponible en el catálogo de selección presentado en la tabla 5.5, la cual corresponde a 15°C, esta temperatura es la más cercana a la temperatura de diseño considerada de 20°C.

De acuerdo a lo indicado por el catálogo, al utilizar agua caliente a 80/60°C se debe aplicar un factor X de corrección de 0,86, por lo tanto la capacidad requerida es de:

$$Q_{Corregida} = \frac{24.434,4}{0,86} \approx 28,41 \text{ kW}$$

La tabla 5.5 muestra las capacidades de los equipo CAIB-BCR bajo diferentes condiciones de operación.

Tabla 5.5 Características térmicas equipo CAIB-BCR Modelos 17-24-35

T° de entrada [°C]	CAIB-17-24-35								
	0°C			10°C			15°C		
Caudal de aire [m³/h]	P [kW]	Temp. salida del aire [°C]	Caudal agua [l/h]	P [kW]	Temp. salida del aire [°C]	Caudal agua [l/h]	P [kW]	Temp. salida del aire [°C]	Caudal agua [l/h]
500	11,6	69	517	10,2	70	453	9,5	71	421
600	13,4	66	596	11,8	68	522	10,9	68	485
700	15,1	64	671	13,2	66	588	12,3	67	546
800	16,7	62	742	14,6	64	650	13,6	65	604
900	18,3	59	810	16,0	62	710	14,8	63	659
1000	19,0	56	838	16,6	59	732	15,4	61	679
1200	21,8	54	963	19,1	57	841	17,7	59	779
1400	24,5	52	1081	21,4	55	943	19,8	57	873
1600	27,0	50	1191	23,6	54	1039	21,8	56	963
1800	29,4	49	1296	25,6	52	1130	23,7	54	1047
2000	31,7	47	1396	27,6	51	1217	25,6	53	1127
2200	33,8	46	1492	29,5	50	1300	27,3	52	1203
2400	35,9	44	1584	31,3	49	1380	29,0	51	1277
2600	37,9	43	1672	33,0	48	1456	30,6	50	1348
2800	39,8	42	1756	34,7	47	1530	32,1	49	1415
3000	41,7	41	1839	36,3	46	1601	33,6	48	1481
3200	43,5	40	1918	37,8	45	1669	35,0	48	1544
3400	45,2	40	1994	39,3	44	1735	36,4	47	1605

De acuerdo a lo anterior, para poder conseguir una potencia mayor a los 28,41 [kW] demandados por el sistema se necesita un caudal de aire de 2400 [m³/h] y un caudal de agua de calefacción de 1.277 [l/h] para verificar finalmente el modelo que corresponde al caso en estudio se debe verificar la curva característica de los ventiladores utilizados en los

modelos CAIB-BCR. Antes de realizar esta verificación es necesario calcular las pérdidas de carga de la red de ductos existente. En la figura 5.2 se muestra la vista de planta de la red de ducto existente.

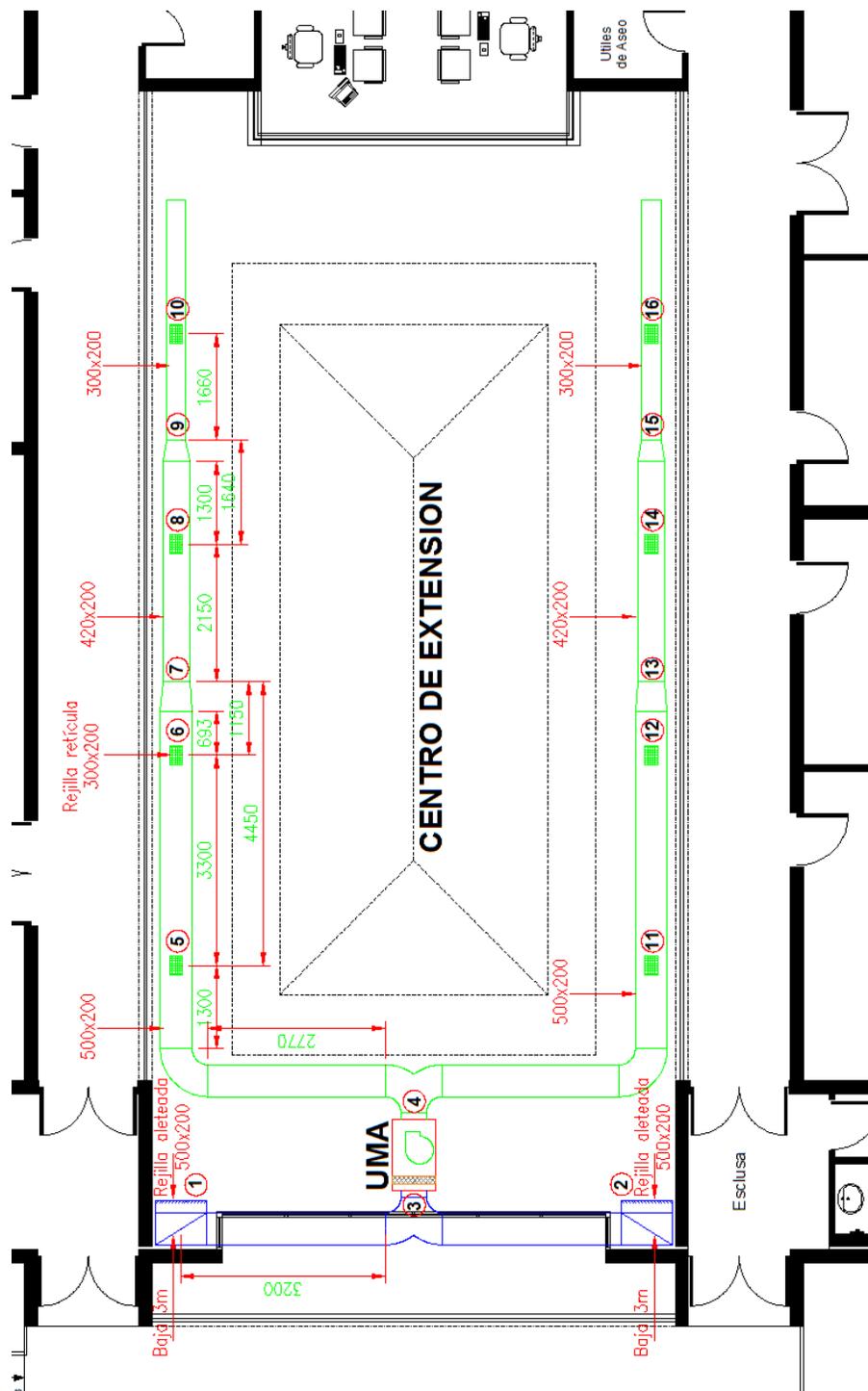


Figura 5. 2 Detalle ductos centro de extensión

El cálculo de la pérdida de carga de la red de ductos se realizará mediante procedimiento descrito en Manual de Ventilación S&P, el cual determina la pérdida de carga regular generada por un flujo de aire en un determinado tipo de ducto, el cual dependiendo de su coeficiente de fricción generará una resistencia al paso del flujo en *mmca/m*. Para determinar las pérdidas de cargas singulares producidas por los accesorios se debe determinar la presión dinámica del sistema, el manual indica que una forma de calcular esta presión es utilizar la ecuación 27, esta presión dinámica se multiplica por el factor “*n*” llamado coeficiente de proporcionalidad de la singularidad el cual representa la pérdida de carga generada por el accesorio en función de la presión dinámica de la corriente de aire que circula por la singularidad. Finalmente la pérdida de carga singular se calcula mediante la ecuación 28.

$$P_d = \left[\frac{V}{4} \right]^2 \quad (27)$$

$$\Delta P = n \times P_d \quad (28)$$

En donde:

P_d corresponde a la presión dinámica en *mmca* (milímetros columna de agua)

V corresponde a la velocidad del aire en *m/s*

ΔP corresponde a la pérdida de carga generada por la singularidad en *mmca*

n corresponde al coeficiente de proporcionalidad, se determina a través de tablas y gráficos

Para el sistema en estudio se presentan una gran cantidad de singularidades, las cuales deben ser consideradas en el cálculo de la pérdida de carga total del sistema. En la tabla 5.6 se presentan los valores de las diferentes singularidades.

Tabla 5. 6 Resumen singularidades sistema en estudio

Singularidad	Valor n
Codo 90° 500x200	0,46
Unión TEE 400x400 - 500x200 -500x200	0,8
Reducción 500x200 - 420x200	0,022
Reducción 420x200 - 300x200	0,044
Descarga a rejilla de 300x200	2,2
Succión en rejilla de 500x200	0,2
Equipo UMA	3,09

El resumen del cálculo de la pérdida de carga es presentado en la tabla 5.7, en ella se pueden apreciar los valores de las pérdidas de carga de cada tramo.

Tabla 5. 7 Cálculo pérdida de carga

Caudal TOTAL m^3/h	Caudal Difusor succión	Caudal Difusor impulsión			
2400	1200	300			
Sección	Caudal aire (m^3/h)	Dimensión sección Rectangular (mm)	Diámetro equivalente (mm)	Sección equivalente (m^2)	Velocidad Equivalente (m/s)
1-3	1200	500x200	343	0,092	3,62
2-3	1200	500x200	343	0,092	3,62
3-4	2400	400x400	451	0,160	4,17
4-5	1200	500x200	343	0,092	3,62
5-6	900	500x200	343	0,092	2,72
6-7	600	500x200	343	0,092	1,81
7-8	600	420x200	310	0,075	2,22
8-9	300	420x200	310	0,075	1,11
9-10	300	300x200	272	0,057	1,46
4-11	1200	500x200	343	0,092	3,62
11-12	900	500x200	343	0,092	2,72
12-13	600	500x200	343	0,092	1,81
13-14	600	420x200	310	0,075	2,22
14-15	300	420x200	310	0,075	1,11
15-16	300	300x200	272	0,057	1,46

Continuación tabla 5.7

Sección	Presión dinámica (mmca)	Largo tramo recto ducto (m)	Pérdida conducto recto (mmca/m)	Pérdida conducto tramo recto (mmca)	Sumatoria factores n (accesorios)	Pérdida adicional accesorios (mmca)	Pérdida total Tramo (mmca)
1-3	0,82	6,40	0,30	1,92	1,12	0,92	2,84
2-3	0,82	6,40	0,30	1,92	1,17	0,96	2,88
3-4	1,09	0,10	0,45	0,05	4,69	5,11	5,15
4-5	0,82	4,00	0,30	1,20	3,12	2,56	3,76
5-6	0,46	3,30	0,18	0,59	2,20	1,02	1,61
6-7	0,21	1,15	0,09	0,10	0,02	0,00	0,11
7-8	0,31	2,15	0,15	0,32	2,20	0,68	1,00
8-9	0,08	1,64	0,04	0,07	0,04	0,00	0,07
9-10	0,13	1,60	0,08	0,13	2,20	0,29	0,42
4-11	0,82	4,00	0,30	1,20	3,12	2,56	3,76
11-12	0,46	3,30	0,18	0,59	2,20	1,02	1,61
12-13	0,21	1,15	0,09	0,10	0,02	0,00	0,11
13-14	0,31	2,15	0,15	0,32	2,20	0,68	1,00
14-15	0,08	1,64	0,04	0,07	0,04	0,00	0,07
15-16	0,13	1,60	0,08	0,13	2,20	0,29	0,42
						ΔP_TOTAL	24,81

De acuerdo al cálculo de pérdida de carga realizado, el ventilador a incorporar en el sistema manejador de aire debe tener la capacidad para trabajar en el punto de trabajo de 24,81 [mmca] y 2.400 [m³/h] como mínimo. A continuación en la figura 5.3 se muestra el gráfico del desempeño del ventilador del modelo CAIB 35/400 BCR, el cual satisface el requerimiento del recinto en estudio.

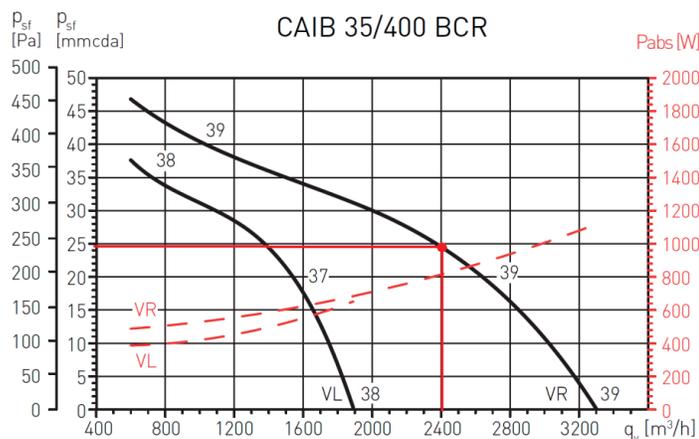


Figura 5. 3 Desempeño ventilador CAIB 35/400 BCR

Para la alimentación del agua de calefacción necesaria para suministrar el calor requerido por el sistema, se debe implementar una red de tuberías acorde a las necesidades de caudal y longitud del tendido. Se contempla utilizar uno de los puntos disponibles del manifold de agua de calefacción dispuesto en sala de suministros. La conexión de la unidad manejadora de aire es de 1”, por lo tanto se utilizará como primera aproximación dicho diámetro. A través del cálculo de la velocidad por medio de la Ecuación 20 se verificará si el diámetro escogido es acorde al flujo de agua.

$$V = \frac{\dot{V}}{A}, \text{ con } \dot{V} = 1277 \text{ l/h (de acuerdo a catálogo de equipo).}$$

El material escogido para este tendido es PEX-A de 1” (32 mm), con un diámetro interior de 26,2 mm, por lo tanto la velocidad del fluido es de:

$V = 0,65 \text{ [m/s]}$, esta velocidad está dentro del rango recomendado de 0,5 a 2 [m/s] para este tipo de tuberías, además la pérdida de carga por metro lineal es de 19 mmca (menor a los 20 mmca recomendados como máximo) por lo tanto se acepta el diámetro de 1”.

A continuación, en la figura 5.4 se presenta un esquema isométrico del tendido propuesto.

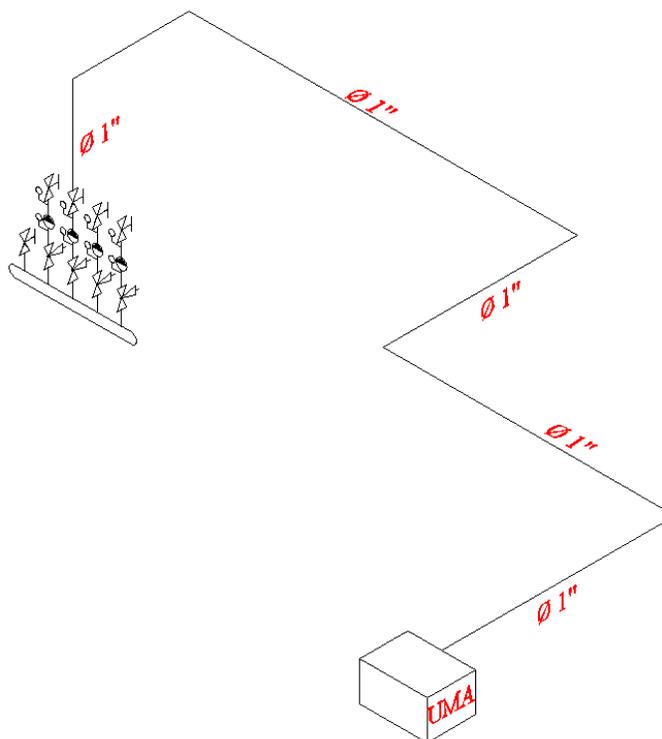


Figura 5. 4 Trazado circuito hidráulico UMA

Considerando el tendido propuesto en la figura 5.4 y el diámetro de 1” se tiene una pérdida de carga de 2,64 [m] para un caudal de 21,28 [L/min].

Tabla 5. 8 Pérdida circuito de alimentación UMA

Línea	Caudal (m ³ /s)	Caudal (l/min)	Diámetro Interior (m)	Largo tramo recto (m)	Largo eq singularidades (m)	Largo TOTAL (m)	h (m)
Matriz	3,55E-04	21,28	26,20	62,5	6,7	69,2	1,32
						Pérdida circuito alimentación	1,32

Considerando el punto de operación de 21,28 [L/min] y una altura de 2,64 [m] se selecciona la bomba DAB VA 35/180 la cual entrega alrededor de 34 [L/min] a la altura requerida. A continuación en la figura 5.5 se muestra la curva de característica de la bomba y el punto de operación para el circuito hidráulico.

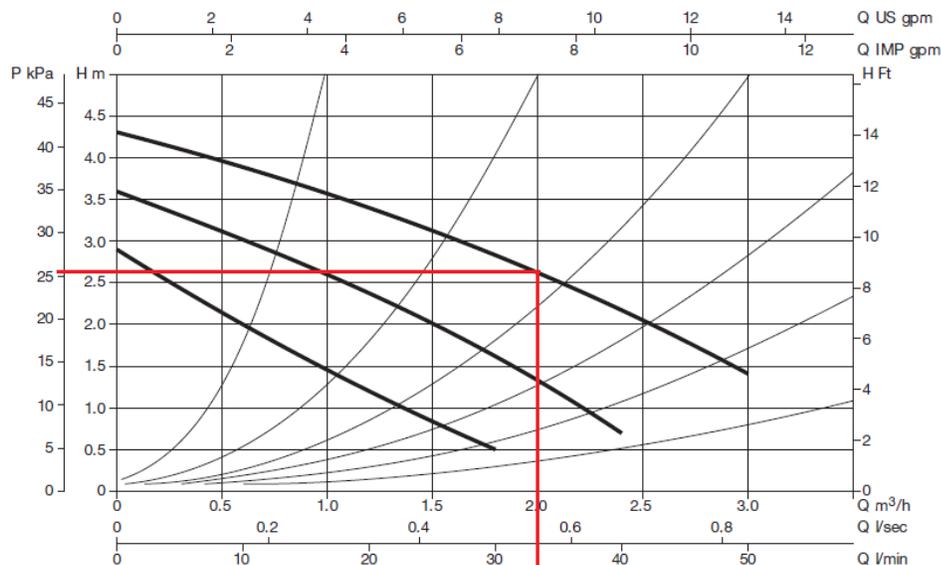


Figura 5. 5 Bomba DAB VA 35/180, Circuito UMA

5.3 Circuitos hidráulicos existentes

Tal como se presentó en el capítulo 4, para las bombas dispuestas en los sectores 1 y 3 se debe plantear una alternativa debido a que éstas presentan una posibilidad de mejora.

En el caso de la Bomba correspondiente al sector 1, ésta se encuentra subdimensionada, ya que no alcanza el punto de trabajo requerido por el circuito. Para subsanar esta situación se debe seleccionar una bomba de mayor capacidad acorde al punto de operación requerido.

Caso contrario es la situación presentada en la bomba correspondiente al sector 3, en donde ésta se encuentra sobredimensionada. Lo anterior implica que la bomba si cumple con el punto de operación requerido, sin embargo para no disponer caudales mayores al requerido se debe generar una pérdida de carga adicional por medio de una singularidad (Válvula de regulación) lo anterior implica una pérdida de eficiencia en la unidad de bombeo, lo cual implica un gasto energético innecesario.

De acuerdo al cuadro de selección ilustrado en la figura 5.6, para el punto de operación requerido en el sector 1 se recomienda un modelo BMH o BPH (Línea Azul). Para el punto de operación requerido en el sector 2 se recomienda un modelo VA, VB o VD (Línea Roja).

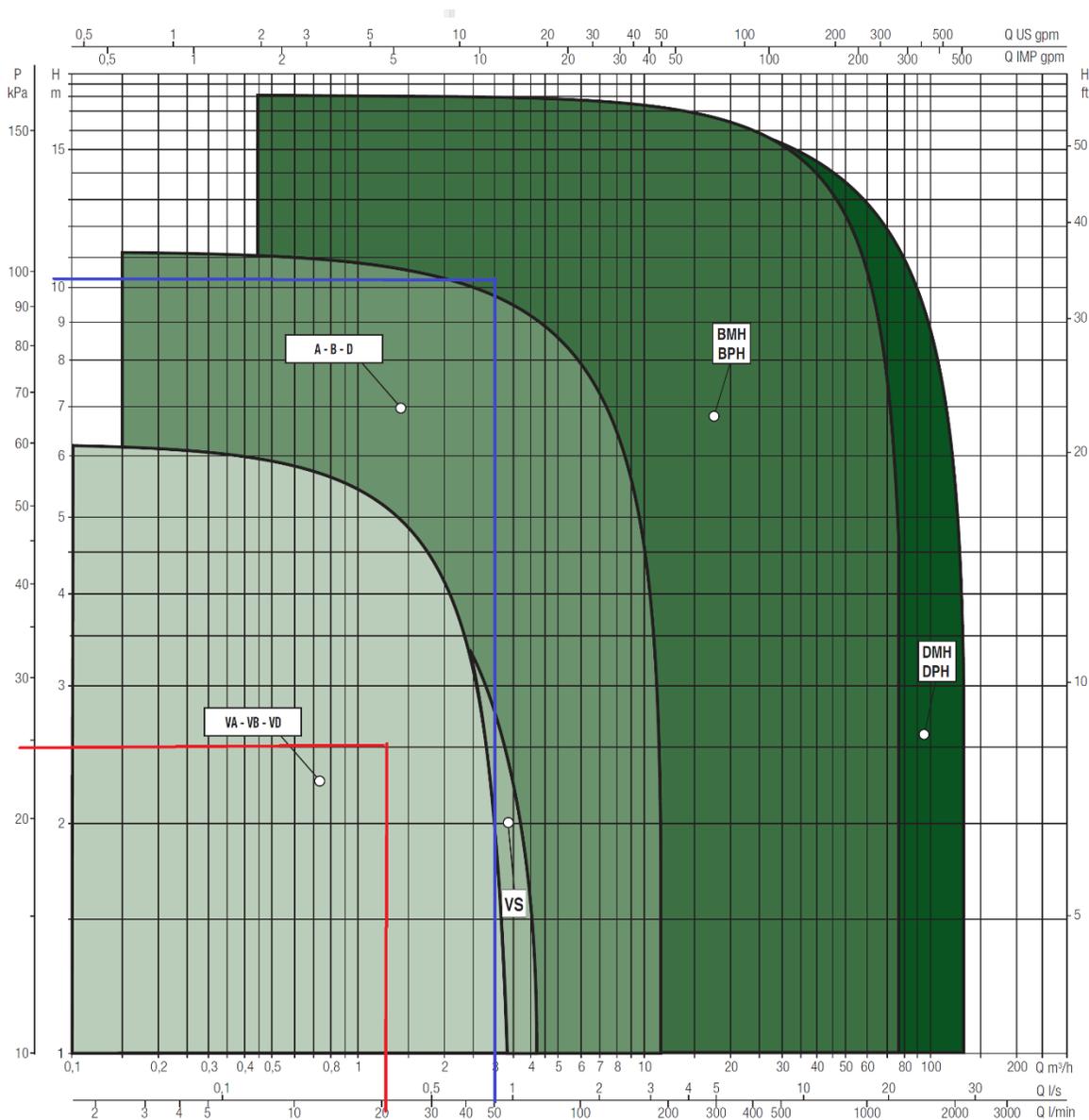


Figura 5. 6 Curvas de selección Bombas DAB

A continuación en las figuras 5.7 y 5.8, se presentan las curvas características de las bombas seleccionadas indicando además los puntos de operación conseguidos al considerar la altura requerida por el sistema. Tal como se muestra en las imágenes, la Bomba seleccionada para el sector 1 cumple con el punto de presión y caudal. En cuanto a la bomba seleccionada para el sector 3, ésta entrega un mayor caudal que el requerido, por lo tanto se debe generar una pérdida de carga adicional a través de la válvula de regulación dispuesta en la descarga de la bomba.

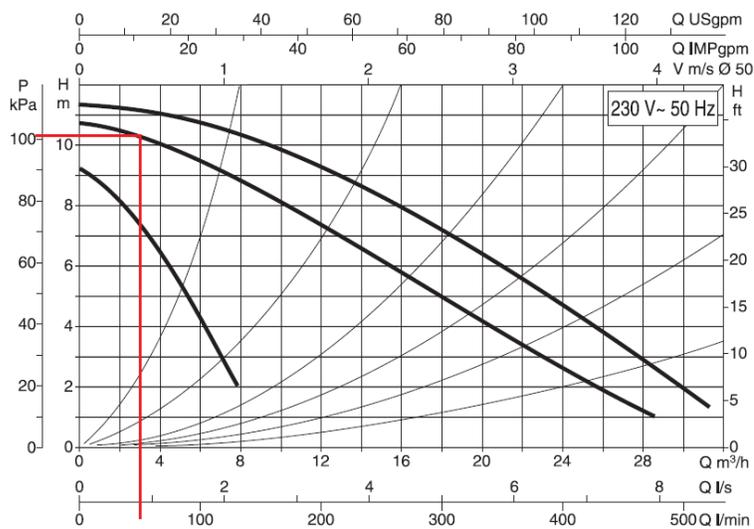


Figura 5. 7 Bomba DAB BPH 120/280.50 M, sector 1

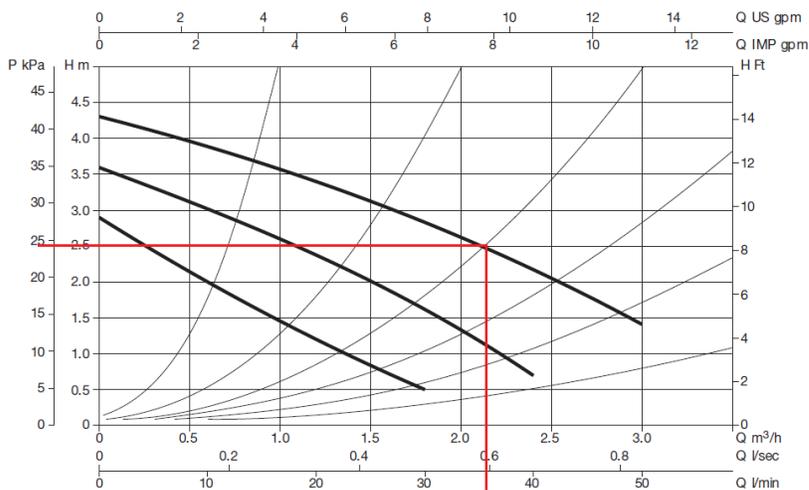


Figura 5. 8 Bomba DAB VA 35/180, sector 3

A continuación, en la figura 5.9 se presenta un diagrama con la futura configuración de los manifolds surtidores de agua, considerando la incorporación de las nuevas bombas de circulación.

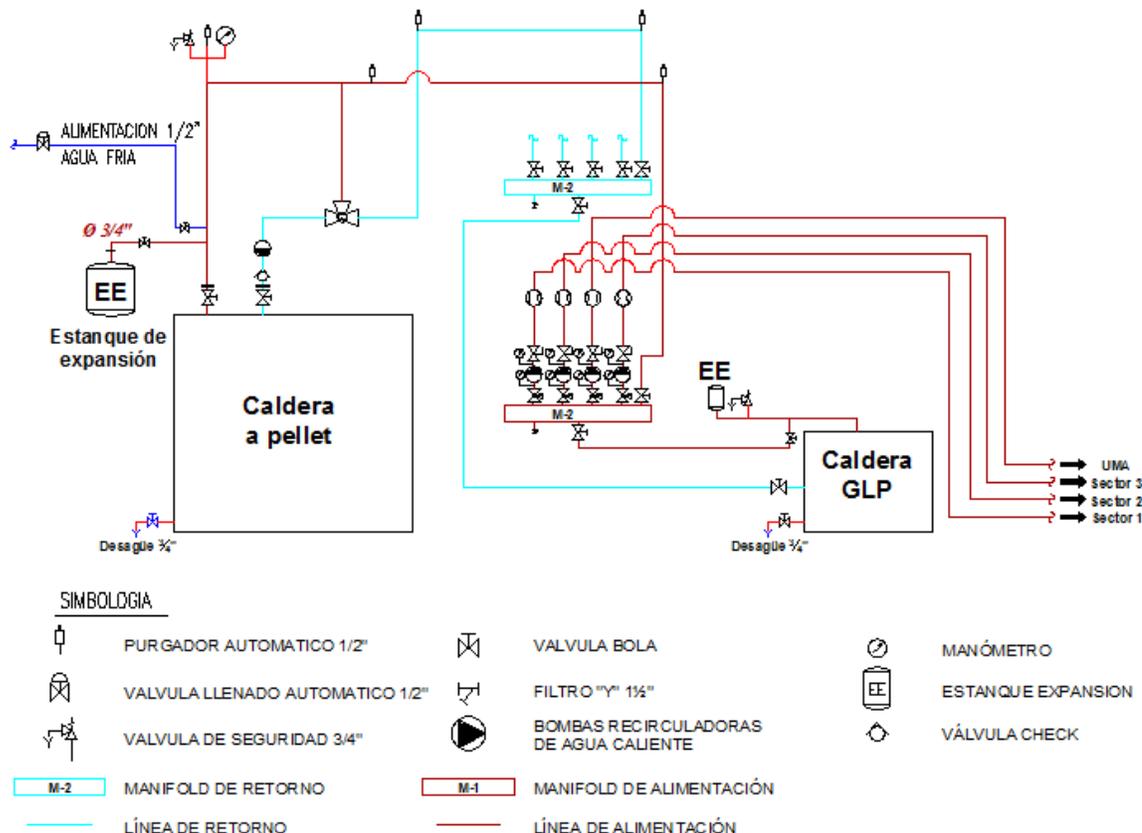


Figura 5. 9 Diagrama proyectado para surtidores de agua

5.4 Sistemas de control de temperatura

Tal como se mencionó en el capítulo 4, el sistema de calefacción existente no cuenta con un mecanismo automático para la regulación de temperatura, siendo el único sistema de control una válvula manual dispuesta en todas las entradas de los calefactores murales, dejando a criterio de los usuarios la apertura o cierre de la válvula reguladora de agua. Esta situación no permite un control de la energía entregada al recinto, alcanzando en algunos casos temperaturas mayores a las requeridas, entregando energía innecesaria al recinto, aumentando el consumo de combustible y el costo de calefacción.

Por lo anterior se propone la utilización de un sistema de control independiente para cada recinto, dicho sistema se basa en la incorporación de una válvula de control que

restrinja la alimentación de agua de calefacción al calefactor dependiendo de la temperatura real alcanzada, mediante la acción de un termostato dispuesto en el recinto calefaccionado. Este termostato medirá la temperatura real alcanzada y en función de la temperatura de control ingresada accionará la válvula de control incorporada.

A continuación, en la imagen 5.8 se presenta el esquema de control propuesto.

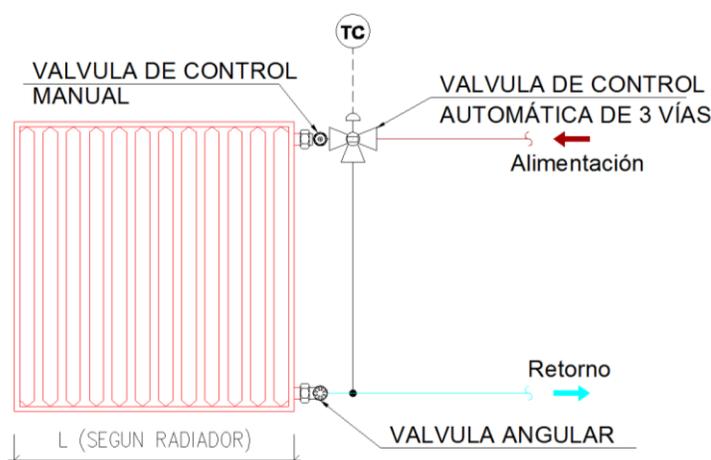


Figura 5. 10 Sistema de control individual

La figura 5.10 ilustra un sistema de control compuesto por una válvula de 3 vías controlada por un termostato, la cual dependiendo de la programación dispuesta por el usuario entrega o no el flujo de agua de calefacción al calefactor, evitando gastos energéticos una vez alcanzada la temperatura de confort.

5.5 Costos de implementaciones

Las implementaciones indicadas en el numeral anterior se dividen básicamente en el mejoramiento del sistema surtidor de agua de calefacción y mejoramiento de la red hidráulica, reubicación e incorporación de unidades murales de calefacción, implementación de sistemas de control de temperatura y finalmente la incorporación de un sistema de calefacción mediante una unidad manejadora de aire. La implementación de estas propuestas de mejoramiento será definida posteriormente por la empresa en función de los costos que ello implique y de las prioridades que defina la empresa.

A continuación se presenta el resumen de los costos que implica la adquisición de equipos, y materiales para la implementación de las mejoras propuestas. En la presente estimación de costos no se consideró la mano de obra puesto que la empresa cuenta con el personal técnico necesario para la instalación de los equipos y redes de calefacción, sin embargo para hacer más representativa la estimación de costos se debe estimar el valor de la mano de obra aun cuando sea un costo indirecto.

Tabla 5. 9 Mejoramiento surtidores de agua y mejoramiento red hidráulica

ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo TOTAL	Proveedor
1	Flujómetro de agua caliente 1,25"	4	c/u	63.000	252.000	Cosmoplas
2	Válvulas de globo de 1,25"	4	c/u	75.000	300.000	Vaporisa
3	Válvulas de bola de 1,25"	4	c/u	15.500	62.000	Cosmoplas
4	Bomba DAB BPH 120/280.50 M	1	c/u	652.600	652.600	Anwo
5	Bomba DAB VA 35/180	1	c/u	86.450	86.450	Anwo
6	Manómetro de 2,5" rango 0 - 5 bar	8	c/u	10.900	87.200	Cosmoplas
7	Fitting y tuberías	1	global	850.000	850.000	Cosmoplas
8	Aislación térmica	1	global	150.000	150.000	Cosmoplas
9	Insumos para soldadura	1	global	75.000	75.000	Argenta
				Total	2.515.250	

Tabla 5. 10 Mejoramiento calefactores murales

ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo TOTAL	Proveedor
1	Calefactor mural OCEAN ANWO DK 500.1200	1	c/u	53.417	53.417	Anwo
2	Calefactor mural OCEAN ANWO DK 500.1300	1	c/u	57.044	57.044	Anwo
3	Calefactor mural OCEAN ANWO DK 500.2800	1	c/u	150.800	150.800	Anwo
4	Calefactor mural OCEAN ANWO DK 500.2800	1	c/u	150.800	150.800	Anwo
5	Fitting y tuberías	1	global	350.000	350.000	Cosmoplas
				Total	261.261	

Tabla 5. 11 Sistema de calefacción para centro de extensión

ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo TOTAL	Proveedor
1	Bomba DAB VA 35/180	1	c/u	86.450	86.450	Anwo
2	Red de tuberías para alimentación de agua	1	global	520.500	520.500	Cosmoplas
3	Unidad manejadora de aire caliente	1	c/u	5.818.332	5.818.332	S&P
4	Obras civiles menores	1	global	750.000	750.000	Instalclima
5	Res de ductos para retorno de aire	1	global	490.000	490.000	Instalclima
				Total	7.665.282	

Tabla 5. 12 Sistema de control de temperatura

ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo TOTAL	Proveedor
1	Termostato mural regulable	35	c/u	10.400	364.000	Anwo
2	Válvula de control de 3 vías de 1/2"	41	c/u	14.274	585.234	Anwo
3	Canalización e instalación	41	global	15.000	615.000	UDT
				Total	1.564.234	

Tal como se aprecia en las tablas anteriores, la propuesta que implica un mayor costo de inversión corresponde al sistema de calefacción propuesto para el centro de extensión.

CAPÍTULO 6: Conclusiones

Una vez finalizado el estudio de evaluación del sistema de calefacción existente desarrollado por medio de criterios y cálculos de ingeniería se pueden concluir los siguientes aspectos:

- 1.- El levantamiento y posterior estudio de necesidades efectuado permitió conocer la capacidad de calefacción requerida por la instalación para mantener una temperatura interior de 20°C, considerando una temperatura exterior de diseño de 5°C. La potencia calculada para las condiciones mencionadas es de 81,7 [kW] con una tasa de calefacción promedio de 66,13 [W/m²]. Al comparar la carga térmica estimada con la capacidad disponible en las calderas de calefacción se verifica que la potencia generada por éstas es suficiente para cubrir las necesidades de calefacción en toda la edificación.
- 2.- Mediante el análisis de los sistemas de calefacción existentes se concluye que mayoritariamente los equipos utilizados cumplen con los requerimientos energéticos de los recintos, sin embargo, existen casos en los cuales no se cumple el requerimiento energético. Para subsanar el déficit en los recintos con equipos de calefacción murales se ha planteado básicamente dos líneas de acción: reubicación de equipos e incorporación de equipos de mayor capacidad. Al considerar el costo de esta implementación que asciende a aproximadamente 260.000 [pesos] se puede precisar que resulta ser una opción de bajo costo, por lo tanto se justifica plenamente su ejecución.
- 3.- Gracias al mejoramiento propuesto en los manifolds surtidores de agua de calefacción, es posible realizar mediciones de flujo y de presiones de trabajo, lo anterior permitirá visualizar cuándo se requiera el funcionamiento del sistema de calefacción, permitiendo al operador verificar situaciones anómalas en la operación.
- 4.- Por medio de la evaluación de la demanda energética, a través de los grados-hora es posible determinar el consumo energético anual requerido por la edificación, el cual asciende aproximadamente a 42.178 [kWh/año]. Con el resultado anterior y el tipo de combustible empleado se estiman los costos anuales de calefacción. En el caso del estudio realizado se utiliza pellet de madera como combustible y el costo de calefacción asociado asciende aproximadamente a 1,4 [Millones de pesos/año].

5.- Al realizar una comparación de los costos de calefacción mediante diferentes tipos de combustibles, se concluye que el pellet de madera es la mejor alternativa, debido a que de los seis tipos de combustibles estudiados resulta ser el más conveniente económicamente. Además de lo anterior, la industria del pellet de madera ha mantenido un crecimiento sostenido en el tiempo, generándose así beneficios para los consumidores, gracias a un mercado más competitivo. La alternativa de utilizar la caldera de respaldo a Gas Licuado Petróleo (GLP) resulta ser la más desfavorable en términos económicos de acuerdo al estudio comparativo realizado. Por lo anterior se debe evitar su utilización salvo en casos de detenciones no programadas por fallos en la caldera a pellet.

6.- Mediante el estudio de las redes de distribución de agua de calefacción se aprecia que los circuitos correspondientes a los sectores 1 y 3 disponen de bombas que requieren ser reemplazadas, por lo cual se plantea la necesidad de incorporar en cada circuito una unidad acorde al punto de operación requerido por cada circuito, de esta forma se busca además de cumplir con el requerimiento de caudal y altura de los circuitos existentes, evitar gastos energéticos innecesarios al trabajar con equipos sobredimensionados, bajando considerablemente la eficiencia de éstos.

7.- De acuerdo al estudio de necesidades realizado, se verificó que el recinto con mayor demanda térmica corresponde al centro de extensión, la carga de calefacción calculada asciende aproximadamente a 23,5 [kW]. Debido a la alta carga térmica calculada, la geometría del recinto y a los costos que implica la instalación de una nueva red de agua de calefacción en una edificación de albañilería existente, la utilización de calefactores murales no resulta ser la alternativa viable. Por lo anterior se propone la habilitación del sistema de inyección de aire caliente ya disponible en el edificio principal, dicho sistema se compone de una unidad manejadora de aire caliente, la cual por medio de un ventilador y un intercambiador de calor, entrega la carga térmica necesaria al recinto. Actualmente se dispone únicamente de la red de ductos para la inyección de aire, los cuales mediante cálculo de pérdidas de carga se verifica que es factible su utilización. Para habilitar el sistema de calentamiento propuesto se debe realizar una inversión de aproximadamente 7,7 [Millones de pesos] correspondientes a adquisición de equipos, redes de ductos de retorno, y circuito de alimentación y retorno de agua de calefacción.

8.- Al realizar la comparación del consumo de combustible calculado y el consumo real medido, éste último resulta ser alrededor de un 14% superior, dicha diferencia puede deberse principalmente a errores y tolerancias propias del cálculo térmico y a la falta de control existente en el sistema de calefacción evaluado. Actualmente el único recinto que cuenta con un sistema de control automatizado es el comedor (losa radiante) en donde una vez alcanzada la temperatura de confort, mediante una electroválvula se interrumpe el flujo de agua de calefacción hasta que la temperatura del recinto nuevamente es inferior a la de confort. La no existencia de un sistema de control en los recintos implica un mayor consumo energético puesto que no se realiza un control de la temperatura real alcanzada en el recinto, alcanzando en algunos casos temperaturas superiores a 3°C por sobre la temperatura de confort utilizada en el estudio de cargas térmicas (según mediciones en terreno). Se calcula que el costo por sobre temperatura de diseño corresponde aproximadamente a un 6% por cada 1 °C de diferencia, por lo tanto, el costo asociado a la falta de control de temperatura se estima entre un 15 a 20% del consumo calculado, por lo tanto, la inversión calculada de 1,56 [Millones de pesos] puede ser amortizada en un periodo de 5,5 años.

9.- Al realizar la evaluación de la red hidráulica de distribución de agua de calefacción, se observa que la mayor pérdida de carga se genera en el sistema de calefacción correspondiente al sector 1, esta situación se genera debido al alto requerimiento de caudal de los equipos murales del tipo Runtal-RC dispuestos en este sector, los cuales se caracterizan por tener una baja eficiencia en la transferencia de calor. De acuerdo a mediciones, dichos equipos generan una diferencia de temperatura en el agua de calefacción de 10°C, muy por debajo de los 20°C especificados por el fabricante. El utilizar diferencias de temperaturas menores a las especificadas por el fabricante implica un mayor consumo de flujo de agua de calefacción y con ello una mayor pérdida de carga en el sistema de distribución de agua. Por lo anterior y considerando la poca tasa de transferencia de calor de los equipos Runtal-RC y su discontinuidad en el mercado, se recomienda realizar un recambio paulatino de las unidades, por calefactores del tipo OCEAN DK, los que bajo las mismas condiciones de operación generan diferencias de temperaturas de 14°C (40% superior).

REFERENCIAS

ANWO. Radiadores EK 500 – DK 300 – DK 500. Disponible en <http://admin.anwo.cl/files/prd_producto/385/Radiadores_ANWO.PDF> [Consulta: 29-07-2017]

ANWO. Lista de Precios 2016. Disponible en <http://admin.anwo.cl/files/cms_utilidades/739/lista_de_precios_2016.pdf> [Consulta 20-08-2017]

BENCINA EN LÍNEA. Valor Diésel en Chile. [En línea] <<http://www.bencinaenlinea.cl/web2/buscador.php?region=10>> [Consulta: 05-08-2017]

BIO POWER SPA. Presupuesto Unidad de Desarrollo Tecnológico. Coronel, Chile. Junio 2017

CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. Manual de Aire Acondicionado. Barcelona, Ediciones Técnicas Macombo S.A. 2009

CERDA MISKULINI, L. Apuntes Transferencia de Calor Termotecnia, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile. 2009

CINTAC. Catálogo Técnico. Cubiertas y revestimientos INSTAPANEL. Disponible en <http://www.cintac.cl/novedades/wp-content/uploads/2011/11/catalogo_instanpanel.pdf> [Consulta: 03-05-2017]

COSMOPLAS. Lista de Precios 2016 - 2017. Disponible en <<http://www.cosmoplas.cl/img/catalogo-digital.pdf>> [Consulta 20-08-2017]

DAB. WET Rotor Circulators BPH/BMH/DPH/DMH Disponible en <https://www.dabpumps.com/sites/default/files/2016-03/BPH_BMH_DPH_DMH_TS_ENG.pdf> [Consulta: 16-08-2017]

GAS SUR. Tarifas Gas. [En Línea] <<https://www.gassur.cl/Tarifas/Gas>> [Consulta: 05-08-2017]

GIACOMINI. La historia de la calefacción. Disponible en <<https://es.giacomini.com/news/historia-calefaccion>> [Consulta: 05-06-2017]

Instituto Nacional de Normalización (Chile). Hormigón armado – Requisitos de diseño y cálculo. NCh 430-08. Santiago, Chile 2007.

Instituto Nacional de Normalización (Chile). Aislación Térmica. NCh 851.Of2008. Santiago, Chile 2008.

Instituto Nacional de Normalización (Chile). Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. NCh 853-2007. Santiago, Chile 2007.

Instituto Nacional de Normalización (Chile). Acondicionamiento ambiental – Temperatura interior y exterior de cálculo para recintos. NCh 1078.c73. Santiago, Chile 1973.

INVERSIONISTAS Y MERCADO. Tabla de precios de paridad. [En línea] <https://www.enap.cl/pag/66/991/tabla_de_precios_de_paridad> [Consulta: 05-08-2017]

KWB. Calefacción con astillas de madera y con pellets KWB 130 - 150 kW. Margarethen/Raab Austria. 2010.

LIPIGAS. Listado de precios gas granel residencial. Disponible en <<http://www.lipigas.cl/images/documentos/Lista%20de%20Precios%20Granel%20Web%2031-08.pdf>> [Consulta: 05-08-2017]

Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción (Chile). Decreto Supremo N°66, Aprueba Reglamento de instalaciones Interiores de Gas. Santiago, Chile 2007. 8p.

Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción (Chile). Decreto Supremo N°160, Aprueba Reglamento de Seguridad para las Instalaciones y Operaciones de Producción y refinación, Transporte, Almacenamiento, Distribución y Abastecimiento de combustibles Líquidos. Santiago, Chile 2009.

ORTEGA Rodríguez, Mario y ORTEGA Rodríguez, Antonio. Calefacción y Refrescamiento por Superficies Radiantes. España, Ediciones Paraninfo. 2001.

PARAFINA EN LÍNEA. Valor del Kerosene en Chile. [En línea] <<http://www.parafinaenlinea.cl/>> [Consulta: 05-08-2017]

POLYMERLAND. Ficha Técnica Policarbonato Alveolar. Disponible en <http://www.polymerland.cl/pdf/alveolar/Polymerland_Ficha_Policarbonato_Alveolar.pdf> [Consulta: 05-05-2017]

QUIMICA. Radiador. [En línea] <<http://www.quimica.es/enciclopedia/Radiador.html>> [Consulta: 05-06-2017]

SIME. Installation and Servicing Instructions. Legnago Italia. 1995.

SOLER PALAU. Unidades de Impulsión SERIE CAIB. Disponible en <http://www.solerpalau.cl/media/catalogos/series/es_caib.pdf> [Consulta: 15-08-2017].

SOLER PALAU. Manual Práctico de Ventilación. Disponible en <http://cdn2.hubspot.net/hubfs/2009592/Content/SPA_-_Manual_pr%C3%A1ctico_de_ventilaci%C3%B3n/SPA_Manual_practico_ventilacion.pdf> [Consulta: 15-08-2017].

SOLER PALAU. Tarifa General Junio 2016. Disponible en <<http://fricaval89.com/descargas/pdf/ventiladores-industriales/S&P/FRICAVAL89-tarifa-soler-y-palau-catalogo-precios-2016-pdf.pdf>> [Consulta 20-08-2017]

UDT. Informe de gestión 2016. Coronel, Chile. 2017

UDT-ASA. Informe de Ensayo Caracterización de Pellets para empresa BioPower SPA, RT-007-051. Coronel, Chile. 2017

VINILIT. Características del tubo PEX y del suelo radiante. Disponible en <http://www.vinilit.cl/assets/documentos/biblioteca_tecnica/34.pdf> [Consulta: 30-07-2017]

VINILIT. Manual de Procedimiento de Cálculo de Pérdidas de Carga. Disponible en <http://www.vinilit.cl/assets/documentos/biblioteca_tecnica/32.pdf> [Consulta: 05-08-2017]

VOLCAN. Cielos Modulares Termoacústicos. Disponible en
<<http://www.volcan.cl/industrial/fichas/ficha%20cieloglass.pdf>> [Consulta: 05-05-2017]

ANEXOS

Anexo A: Planillas de Cálculo Coeficientes Globales de Transferencia U

Tabla A. 1 Termopaneles

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Vidrio	0,006	1,2	0,0050
2	Cámara de aire	0,005	-	0,1050
3	Vidrio	0,006	1,2	0,0050
			R_k TOTAL	0,1150
			R_{ci}	0,1200
			R_{ce}	0,0318
			R_{Total}	0,2668
			U	3,74

Tabla A. 2 Ventanas y puertas de cristal transparente, interior-exterior

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Vidrio	0,006	1,2	0,0050
			R_k TOTAL	0,0050
			R_{ci}	0,1200
			R_{ce}	0,1200
			R_{Total}	0,2450
			U	4,08

Tabla A. 3 Ventanas y puertas de cristal transparente, Interior-Exterior

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Vidrio	0,006	1,2	0,0050
			R_k TOTAL	0,0050
			R_{ci}	0,1200
			R_{ce}	0,0318
			R_{Total}	0,1568
			U	6,37

Tabla A. 4 Puertas interiores con enchape de madera

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Terciado	0,004	0,14	0,0286
2	Cámara de aire	0,03	-	0,1600
3	Terciado	0,004	0,14	0,0286
			R_k TOTAL	0,2171
			R_{ci}	0,1200
			R_{ce}	0,1200
			R_{Total}	0,4571
			U	2,18

Tabla A. 5 Muros exteriores tipo 1

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Enlucido de yeso	0,01	0,35	0,0286
2	Estuco mortero cemento	0,025	0,84	0,0298
3	Hormigón armado	0,1	1,75	0,0571
4	Estuco mortero cemento	0,025	0,84	0,0298
			R_k TOTAL	0,1452
	Espesor TOTAL (mm)	160	R_{ci}	0,1200
			R_{ce}	0,0318
			R_{Total}	0,2971
			U	3,36

Tabla A. 6 Muros exteriores tipo 2

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Enlucido de yeso	0,01	0,35	0,0286
2	Estuco mortero cemento	0,025	1,4	0,0179
3	Hormigón armado	0,14	1,75	0,0800
4	Estuco mortero cemento	0,025	1,4	0,0179
			R_k TOTAL	0,1443
	Espesor TOTAL (mm)	200	R_{ci}	0,1200
			R_{ce}	0,0318
			R_{Total}	0,2961
			U	3,37

Tabla A. 7 Pared tipo 1

ítem	Material	Espesor (<i>m</i>)	Conductividad térmica (<i>W/mK</i>)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Enlucido de yeso	0,01	0,35	0,0286
2	Estuco mortero cemento	0,025	0,84	0,0298
3	Hormigón armado	0,1	1,75	0,0571
4	Estuco mortero cemento	0,025	0,84	0,0298
5	Cerámico muro	0,01	1,75	0,0057
			R_k TOTAL	0,1510
	Espesor TOTAL (mm)	170	<i>R_{ci}</i>	0,1200
			<i>R_{ce}</i>	0,1200
			<i>R_{Total}</i>	0,3910
			<i>U</i>	2,55

Tabla A. 8 Pared tipo 2

ítem	Material	Espesor (<i>m</i>)	Conductividad térmica (<i>W/mK</i>)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Enlucido de yeso	0,01	0,35	0,0286
2	Estuco mortero cemento	0,025	0,84	0,0298
3	Hormigón armado	0,14	1,75	0,0800
4	Estuco mortero cemento	0,025	0,84	0,0298
5	Enlucido de yeso	0,01	0,35	0,0286
			R_k TOTAL	0,1967
	Espesor TOTAL (mm)	210	<i>R_{ci}</i>	0,1200
			<i>R_{ce}</i>	0,1200
			<i>R_{Total}</i>	0,4367
			<i>U</i>	2,29

Tabla A. 9 Pared tipo 3

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Placa yeso cartón	0,015	0,2	0,0750
2	Lana mineral AISLAN 80 kg/m3	0,05	0,041	1,2195
3	Placa yeso cartón	0,015	0,2	0,0750
			R_k TOTAL	1,3695
	Espesor TOTAL (mm)	80	<i>R_{ci}</i>	0,1200
			<i>R_{ce}</i>	0,1200
			<i>R_{Total}</i>	1,6095
			<i>U</i>	0,62

Tabla A. 10 Cielo tipo 1, Ascendente

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Placa yeso cartón	0,015	0,2	0,0750
2	Cámara de aire	0,235	-	0,1500
3	Hormigón armado	0,14	1,75	0,0800
4	Estuco mortero cemento	0,02	0,84	0,0238
5	Cerámico piso	0,01	1,75	0,0057
			R_k TOTAL	0,3345
	Espesor TOTAL (mm)	420	<i>R_{ci}</i>	0,1100
			<i>R_{ce}</i>	0,1100
			<i>R_{Total}</i>	0,5545
			<i>U</i>	1,80

Tabla A. 11 Cielo tipo 1, Descendente

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Cerámico piso	0,01	1,75	0,0057
2	Estuco mortero cemento	0,02	0,84	0,0238
3	Hormigón armado	0,14	1,75	0,0800
4	Cámara de aire	0,235	-	0,2000
5	Placa yeso cartón	0,015	0,2	0,0750
			R_k TOTAL	0,3845
	Espesor TOTAL (mm)	420	<i>R_{ci}</i>	0,1700
			<i>R_{ce}</i>	0,1700
			<i>R_{Total}</i>	0,7245
			<i>U</i>	1,38

Tabla A. 12 Cielo tipo 2, Ascendente

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Placa yeso cartón	0,015	0,2	0,0750
2	Cámara de aire	0,235	-	0,1500
3	Hormigón armado	0,14	1,75	0,0800
4	Estuco mortero cemento	0,02	0,84	0,0238
5	Alfombra	0,005	0,035	0,1429
			R_k TOTAL	0,4717
	Espesor TOTAL (mm)	415	<i>R_{ci}</i>	0,1100
			<i>R_{ce}</i>	0,1100
			<i>R_{Total}</i>	0,6917
			<i>U</i>	1,44

Tabla A. 13 Cielo tipo 2, Descendente

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Alfombra	0,005	0,035	0,1429
2	Estuco mortero cemento	0,02	0,84	0,0238
3	Hormigón armado	0,14	1,75	0,0800
4	Cámara de aire	0,235	-	0,2000
5	Placa yeso cartón	0,015	0,2	0,0750
			R_k TOTAL	0,5217
	Espesor TOTAL (mm)	415	<i>R_{ci}</i>	0,1700
			<i>R_{ce}</i>	0,1700
			<i>R_{Total}</i>	0,8617
			<i>U</i>	1,16

Tabla A. 14 Cielo tipo 3, Descendente

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Cerámico piso	0,01	1,75	0,0057
2	Estuco mortero cemento	0,02	0,84	0,0238
3	Hormigón armado	0,14	1,75	0,0800
4	Cámara de aire	0,08	-	0,2000
5	Placa de fibra mineral	0,02	0,033	0,6061
			R_k TOTAL	0,9156
	Espesor TOTAL (mm)	270	<i>R_{ci}</i>	0,1100
			<i>R_{ce}</i>	0,1100
			<i>R_{Total}</i>	1,1356
			<i>U</i>	0,88

Tabla A. 15 Cielo tipo 4, Ascendente

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Placa yeso cartón	0,015	0,2	0,0750
2	Cámara de aire	0,06	-	0,1400
3	Placa yeso cartón	0,015	0,2	0,0750
4	Lana mineral AISLAN 80 kg/m3	0,05	0,041	1,2195
5	Lana mineral AISLAN 80 kg/m3	0,05	0,041	1,2195
			R_k TOTAL	2,7290
	Espesor TOTAL (mm)	190	<i>R_{ci}</i>	0,1100
			<i>R_{ce}</i>	0,1100
			<i>R_{Total}</i>	2,9490
			<i>U</i>	0,33

Tabla A. 16 Cielo tipo 5, Ascendente ligeramente inclinado

ítem	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia $R_k=L/K$ (m^2k/W)
1	Policarbonato Alveolar	0,01	0,21	0,0476
			R_k TOTAL	0,0476
	Espesor TOTAL (mm)	10	<i>R_{ci}</i>	0,1000
			<i>R_{ce}</i>	0,0318
			<i>R_{Total}</i>	0,1795
			<i>U</i>	5,57

Anexo B: Hoja de Cálculo de Cargas Térmicas

Tabla B. 1 Oficina 1

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C		te = 5 °C			V = 24 km/h				
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte	12,72	3,377	15	644,31	0,15	-0,05	1,1	708,74
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur	2,12	3,377	15	107,38	0,15	0,05	1,2	128,86
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	2,995	3,747	15	168,37	0,15	0	1,15	193,62
Muros	Este	11,58	3,38	15	586,55	0,15	0	1,15	674,54
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste	1,06	3,38	15	53,69	0,15	0	1,15	61,75
Puerta	Oeste								
Cielo									
Piso		P (m)	H (W/mK)						
		12,66	1,2	15	227,88	0,15	0,05	1,2	273,46
SUBTOTAL					1788,19				2040,96
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	65,19	78,228	0,24	15	327,47	0,9	0,84	1	247,56
SUBTOTAL					327,47				247,56
TOTAL					2115,65				2288,53

Tabla B. 2 Laboratorio 1

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C		te = 5 °C			V = 24 km/h				
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur	12,72	2,290	7	203,91	0,15	0,05	1,2	244,69
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste	5,99	3,75	15	336,73	0,15	0	1,15	387,24
Muros	Oeste	19,98	3,38	15	1012,03	0,15	0	1,15	1163,84
Puerta	Oeste								
Cielo									
Piso		P (m)	H (W/mK)						
		9,8	1,2	15	176,40	0,15	0,05	1,2	211,68
SUBTOTAL					1729,07				2007,45
INFILTRACION DE AIRE FRIJO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	124,66	149,5872	0,24	15	626,18	0,9	0,84	1	473,39
SUBTOTAL					626,18				473,39
TOTAL					2355,25				2480,84

Tabla B. 3 Laboratorio 2

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C		te = 5 °C			V = 24 km/h				
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte	12,72	3,377	15	644,31	0,15	-0,05	1,1	708,74
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur	2,12	3,377	7	50,11	0,15	0,05	1,2	60,14
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este	1,06	3,38	15	53,69	0,15	0	1,15	61,75
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste	2,995	3,75	15	168,37	0,15	0	1,15	193,62
Muros	Oeste	11,58	3,38	15	586,55	0,15	0	1,15	674,54
Puerta	Oeste								
Cielo									
Piso		P (m)	H (W/mK)						
		12,66	1,2	15	227,88	0,15	0,05	1,2	273,46
SUBTOTAL					1730,92				1972,24
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	65,19	78,228	0,24	15	327,47	0,9	0,84	1	247,56
SUBTOTAL					327,47				247,56
TOTAL					2058,38				2219,80

Tabla B. 4 Laboratorio 3

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C		te = 5 °C			V = 24 km/h				
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur	2,12	3,38	15	107,38	0,15	0,05	1,2	128,86
Muros	Sur	10,6	2,29	7	169,92	0,15	0,05	1,2	203,91
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	4,49	3,75	15	252,55	0,15	0	1,15	290,43
Muros	Este	18,83	3,38	15	953,66	0,15	0	1,15	1096,71
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo									
Piso		P (m)	H (W/mK)						
		9,6	1,2	15	172,80	0,15	0,05	1,2	207,36
SUBTOTAL					1656,32				1927,27
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	111,94	134,3232	0,24	15	562,28	0,9	0,84	1	425,09
SUBTOTAL					562,28				425,09
TOTAL					2218,60				2352,36

Tabla B. 5 Laboratorio 4

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C		te = 5 °C			V = 24 km/h				
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte	12,72	2,290	7	203,91	0,15	0,05	1,2	244,69
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	3,00	3,75	15	168,37	0,15	0	1,15	193,62
Muros	Este	12,37	3,38	15	626,82	0,15	0	1,15	720,85
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo									
Piso		P (m)	H (W/mK)						
		5,8	1,2	15	104,40	0,15	0,05	1,2	125,28
SUBTOTAL					1103,50				1284,44
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	73,78	88,5312	0,24	15	370,60	0,9	0,84	1	280,17
SUBTOTAL					370,60				280,17
TOTAL					1474,10				1564,61

Tabla B. 6 Auditorio

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C		te = 5 °C			V = 24 km/h				
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte	12,72	3,377	15	644,31	0,15	-0,05	1,1	708,74
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este	3,50	3,38	15	177,29	0,15	0	1,15	203,88
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste	3,50	3,38	15	177,29	0,15	0	1,15	203,88
Puerta	Oeste								
Cielo		11,38	1,45	7	115,13	0,15	0,05	1,2	138,16
Piso		P (m)	H (W/mK)						
		14,6	1,2	15	262,80	0,15	0,05	1,2	315,36
SUBTOTAL					1376,81				1570,02
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	292,3	350,76	0,24	15	1468,30	0,9	0,84	1	1110,03
SUBTOTAL					1468,30				1110,03
TOTAL					2845,11				2680,05

Tabla B. 7 Oficina 2

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur	10	2,29	7	160,31	0,15	0,05	1,2	192,37
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	8,00	3,75	15	449,84	0,15	0	1,15	517,32
Muros	Este	4,12	3,38	15	208,82	0,15	0	1,15	240,14
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		19,4	0,34	6	39,47	0,15	0,05	1,2	47,36
Piso									
SUBTOTAL					858,43				997,19
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	48,5	58,2	0,24	15	243,63	0,9	0,84	1	184,18
SUBTOTAL					243,63				184,18
TOTAL					1102,06				1181,37

Tabla B. 8 Oficina 3

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	6,35	3,747	15	357,09	0,15	0	1,15	410,65
Muros	Este	3,27	3,38	15	165,76	0,15	0	1,15	190,63
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		15,4	0,34	6	31,33	0,15	0,05	1,2	37,60
Piso									
SUBTOTAL					554,18				638,88
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	38,5	46,2	0,24	15	193,40	0,9	0,84	1	146,21
SUBTOTAL					193,40				146,21
TOTAL					747,58				785,09

Tabla B. 9 Oficina 4

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	6,35	3,747	15	357,09	0,15	0	1,15	410,65
Muros	Este	3,27	3,38	15	165,76	0,15	0	1,15	190,63
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		15,4	0,34	6	31,33	0,15	0,05	1,2	37,60
Piso									
SUBTOTAL					554,18				638,88
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	38,5	46,2	0,24	15	193,40	0,9	0,84	1	146,21
SUBTOTAL					193,40				146,21
TOTAL					747,58				785,09

Tabla B. 10 Oficina 5

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	8,00	3,75	15	449,84	0,15	0	1,15	517,32
Muros	Este	4,12	3,38	15	208,82	0,15	0	1,15	240,14
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		19,4	0,34	6	39,47	0,15	0,05	1,2	47,36
Piso		11,2	1,16	7	90,99	0,15	0,05	1,2	109,18
SUBTOTAL					789,11				914,00
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	48,5	58,2	0,24	15	243,63	0,9	0,84	1	184,18
SUBTOTAL					243,63				184,18
TOTAL					1032,74				1098,19

Tabla B. 11 Sala de Reuniones 2

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte	5,11	3,75	15	287,09	0,15	-0,05	1,1	315,80
Muros	Norte	6,89	3,38	15	349,14	0,15	-0,05	1,1	384,06
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur	2	3,38	15	101,31	0,15	0,05	1,2	121,57
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este	13,75	3,38	15	696,48	0,15	0	1,15	800,95
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste	3,00	3,38	15	151,96	0,15	0	1,15	174,75
Puerta	Oeste								
Cielo		23,8	0,34	6	48,42	0,15	0,05	1,2	58,11
Piso									
SUBTOTAL					1634,40				1855,24
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	59,48	71,376	0,24	15	298,78	0,9	0,84	1	225,88
SUBTOTAL					298,78				225,88
TOTAL					1933,19				2081,12

Tabla B. 12 Oficina 6

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte	7,44	3,75	15	418,04	0,15	-0,05	1,1	459,84
Muros	Norte	0,86	3,38	15	43,72	0,15	-0,05	1,1	48,10
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste	2,02	3,75	15	113,32	0,15	0	1,15	130,32
Muros	Oeste	0,23	3,38	15	11,85	0,15	0,05	1,2	14,22
Puerta	Oeste								
Cielo		13,03	0,34	6	26,51	0,15	0,05	1,2	31,81
Piso									
SUBTOTAL					613,45				684,30
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	32,58	39,096	0,24	15	163,66	0,9	0,84	1	123,73
SUBTOTAL					163,66				123,73
TOTAL					777,11				808,02

Tabla B. 13 Sala de reuniones 1

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C		te = 5 °C			V = 24 km/h				
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte	12,99	3,75	15	730,31	0,15	-0,05	1,1	803,34
Muros	Norte	7,76	3,38	15	392,97	0,15	-0,05	1,1	432,26
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur	2	3,38	15	101,31	0,15	0,05	1,2	121,57
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	2,02	3,75	15	113,32	0,15	0	1,15	130,32
Muros	Este	2,73	3,38	15	138,49	0,15	0	1,15	159,26
Muros	Este	7,25	2,29	7	116,22	0,15	0,05	1,2	139,47
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste	13,75	3,38	15	696,48	0,15	0	1,15	800,95
Puerta	Oeste								
Cielo		37,85	0,34	6	77,01	0,15	0,05	1,2	92,41
Piso									
SUBTOTAL					2366,11				2679,59
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	94,63	113,55	0,24	15	475,33	0,9	0,84	1	359,35
SUBTOTAL					475,33				359,35
TOTAL					2841,43				3038,93

Tabla B. 14 Oficina 7

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste	6,35	3,75	15	357,09	0,15	0	1,15	410,65
Muros	Oeste	3,27	3,38	15	165,76	0,15	0	1,15	190,63
Puerta	Oeste								
Cielo		15,4	0,34	6	31,33	0,15	0,05	1,2	37,60
Piso		11,2	1,16	7	90,99	0,15	0,05	1,2	109,18
SUBTOTAL					645,17				748,06
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	38,5	46,2	0,24	15	193,40	0,9	0,84	1	146,21
SUBTOTAL					193,40				146,21
TOTAL					838,57				894,27

Tabla B. 15 Oficina 8

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste	6,35	3,75	15	357,09	0,15	0	1,15	410,65
Muros	Oeste	3,27	3,38	15	165,76	0,15	0	1,15	190,63
Puerta	Oeste								
Cielo		15,4	0,34	6	31,33	0,15	0,05	1,2	37,60
Piso									
SUBTOTAL					554,18				638,88
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	38,5	46,2	0,24	15	193,40	0,9	0,84	1	146,21
SUBTOTAL					193,40				146,21
TOTAL					747,58				785,09

Tabla B. 16 Sala de computación

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste	16,17	3,75	15	908,95	0,15	0	1,15	1045,30
Muros	Oeste	8,33	3,38	15	421,94	0,15	0	1,15	485,23
Puerta	Oeste								
Cielo		39,2	0,34	6	79,76	0,15	0,05	1,2	95,71
Piso									
SUBTOTAL					1410,65				1626,24
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	98	117,6	0,24	15	492,28	0,9	0,84	1	372,16
SUBTOTAL					492,28				372,16
TOTAL					1902,93				1998,40

Tabla B. 17 Oficina 9

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte	6	3,75	15	337,27	0,15	-0,05	1,1	371,00
Muros	Norte	4	3,37	15	201,96	0,15	-0,05	1,1	222,16
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		17,35	0,34	6	35,30	0,15	0,05	1,2	42,36
Piso									
SUBTOTAL					574,54				635,52
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	43,38	52,05	0,24	15	217,88	0,9	0,84	1	164,72
SUBTOTAL					217,88				164,72
TOTAL					792,42				800,24

Tabla B. 18 Oficina 10

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte	4,48	3,75	15	251,69	0,15	-0,05	1,1	276,86
Muros	Norte	2,99	3,37	15	150,72	0,15	-0,05	1,1	165,79
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		13,25	0,34	6	26,96	0,15	0,05	1,2	32,36
Piso									
SUBTOTAL					429,37				475,00
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	33,13	39,7602	0,24	15	166,44	0,9	0,84	1	125,83
SUBTOTAL					166,44				125,83
TOTAL					595,81				600,83

Tabla B. 19 Oficina 11

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte	4,50	3,75	15	252,96	0,15	-0,05	1,1	278,25
Muros	Norte	3,00	3,37	15	151,47	0,15	-0,05	1,1	166,62
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		12,97	0,34	6	26,39	0,15	0,05	1,2	31,67
Piso		2,13	0,88	3	5,62	0,15	0,05	1,2	6,74
SUBTOTAL					436,44				483,28
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	32,43	38,91	0,24	15	162,88	0,9	0,84	1	123,14
SUBTOTAL					162,88				123,14
TOTAL					599,32				606,42

Tabla B. 20 Oficina 12

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		19,43	0,34	6	39,53	0,15	0,05	1,2	47,44
Piso		19,43	0,88	3	51,33	0,15	0,05	1,2	61,60
SUBTOTAL					90,86				109,03
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	48,58	58,29	0,24	15	244,00	0,9	0,84	1	184,47
SUBTOTAL					244,00				184,47
TOTAL					334,87				293,50

Tabla B. 21 Sala de reuniones 3

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur	3,34	3,75	15	187,48	0,15	0,05	1,2	224,98
Muros	Sur	4,16	3,37	15	210,28	0,15	0,05	1,2	252,34
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este	2,50	3,38	15	126,63	0,15	0	1,15	145,63
Muros	Este	7,75	2,56	7	138,76	0,15	0,05	1,2	166,52
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		12,71	0,34	6	25,86	0,15	0,05	1,2	31,03
Piso									
SUBTOTAL					689,02				820,49
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	31,78	38,13	0,24	15	159,61	0,9	0,84	1	120,67
SUBTOTAL					159,61				120,67
TOTAL					848,63				941,16

Tabla B. 22 Oficina 13

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur	4,50	3,75	15	252,96	0,15	0,05	1,2	303,55
Muros	Sur	3,00	3,37	15	151,47	0,15	0,05	1,2	181,77
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		12,30	0,34	6	25,03	0,15	0,05	1,2	30,03
Piso									
SUBTOTAL					429,45				515,34
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	30,75	36,90	0,24	15	154,47	0,9	0,84	1	116,78
SUBTOTAL					154,47				116,78
TOTAL					583,92				632,12

Tabla B. 23 Oficina 14

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur	4,50	3,75	15	252,96	0,15	0,05	1,2	303,55
Muros	Sur	3,00	3,37	15	151,47	0,15	0,05	1,2	181,77
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		12,30	0,34	6	25,03	0,15	0,05	1,2	30,03
Piso									
SUBTOTAL					429,45				515,34
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	30,75	36,90	0,24	15	154,47	0,9	0,84	1	116,78
SUBTOTAL					154,47				116,78
TOTAL					583,92				632,12

Tabla B. 24 Oficina 15

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur	3,39	3,75	15	190,56	0,15	0,05	1,2	228,67
Muros	Sur	4,11	3,37	15	207,52	0,15	0,05	1,2	249,02
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		12,30	0,34	6	25,03	0,15	0,05	1,2	30,03
Piso		2,21	0,88	3	5,85	0,15	0,05	1,2	7,02
SUBTOTAL					428,95				514,74
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	30,75	36,90	0,24	15	154,47	0,9	0,84	1	116,78
SUBTOTAL					154,47				116,78
TOTAL					583,42				631,52

Tabla B. 25 Oficina 16

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur	4,32	3,75	15	242,84	0,15	0,05	1,2	291,40
Muros	Sur	2,88	3,37	15	145,41	0,15	0,05	1,2	174,50
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		11,81	0,34	6	24,02	0,15	0,05	1,2	28,83
Piso		11,81	0,88	3	31,19	0,15	0,05	1,2	37,43
SUBTOTAL					443,47				532,16
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	29,52	35,42	0,24	15	148,29	0,9	0,84	1	112,10
SUBTOTAL					148,29				112,10
TOTAL					591,76				644,27

Tabla B. 26 Oficina 17

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur	4,19	3,75	15	235,25	0,15	0,05	1,2	282,30
Muros	Sur	3,54	3,37	15	178,74	0,15	0,05	1,2	214,49
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste	5,55	3,75	15	311,98	0,15	0	1,15	358,78
Muros	Oeste	4,73	3,37	15	238,57	0,15	0	1,15	274,35
Puerta	Oeste								
Cielo		12,70	0,34	6	25,84	0,15	0,05	1,2	31,01
Piso		12,70	0,88	3	33,55	0,15	0,05	1,2	40,26
SUBTOTAL					1023,92				1201,18
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	31,75	38,10	0,24	15	159,49	0,9	0,84	1	120,57
SUBTOTAL					159,49				120,57
TOTAL					1183,41				1321,75

Tabla B. 27 Oficina 18

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	4,22	3,75	15	236,94	0,15	0	1,15	272,48
Muros	Este	3,01	3,37	15	151,98	0,15	0	1,15	174,77
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		11,88	0,34	6	24,17	0,15	0,05	1,2	29,00
Piso									
SUBTOTAL					413,08				476,25
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	29,69	35,63	0,24	15	149,16	0,9	0,84	1	112,77
SUBTOTAL					149,16				112,77
TOTAL					562,24				589,02

Tabla B. 28 Oficina 19

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	4,20	3,75	15	236,09	0,15	0	1,15	271,51
Muros	Este	3,04	3,37	15	153,37	0,15	0	1,15	176,37
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		11,90	0,34	6	24,21	0,15	0,05	1,2	29,05
Piso									
SUBTOTAL					413,67				476,93
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	29,75	35,70	0,24	15	149,42	0,9	0,84	1	112,96
SUBTOTAL					149,42				112,96
TOTAL					563,09				589,89

Tabla B. 29 Oficina 20

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	4,22	3,75	15	236,94	0,15	0	1,15	272,48
Muros	Este	2,99	3,37	15	150,72	0,15	0	1,15	173,32
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		11,84	0,34	6	24,08	0,15	0,05	1,2	28,90
Piso									
SUBTOTAL					411,73				474,70
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	29,59	35,51	0,24	15	148,65	0,9	0,84	1	112,38
SUBTOTAL					148,65				112,38
TOTAL					560,38				587,08

Tabla B. 30 Oficina 21

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	4,22	3,75	15	236,94	0,15	0	1,15	272,48
Muros	Este	2,99	3,37	15	150,72	0,15	0	1,15	173,32
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		11,84	0,34	6	24,08	0,15	0,05	1,2	28,90
Piso									
SUBTOTAL					411,73				474,70
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	29,59	35,51	0,24	15	148,65	0,9	0,84	1	112,38
SUBTOTAL					148,65				112,38
TOTAL					560,38				587,08

Tabla B. 31 Oficina 22

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte								
Muros	Norte								
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	3,00	3,75	15	168,64	0,15	0	1,15	193,93
Muros	Este	4,25	3,37	15	214,59	0,15	0	1,15	246,77
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		11,92	0,34	6	24,25	0,15	0,05	1,2	29,10
Piso									
SUBTOTAL					407,47				469,81
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	29,80	35,76	0,24	15	149,68	0,9	0,84	1	113,16
SUBTOTAL					149,68				113,16
TOTAL					557,15				582,97

Tabla B. 32 Oficina 23

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte	4,22	3,75	15	236,94	0,15	-0,05	1,1	260,63
Muros	Norte	3,51	3,37	15	177,22	0,15	-0,05	1,1	194,95
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	9,30	3,75	15	522,77	0,15	0	1,15	601,19
Muros	Este	9,38	3,37	15	473,35	0,15	0	1,15	544,35
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste								
Muros	Oeste								
Puerta	Oeste								
Cielo		23,08	0,34	6	46,96	0,15	0,05	1,2	56,36
Piso		23,08	0,88	7	142,28	0,15	0,05	1,2	170,74
SUBTOTAL					1599,53				1828,22
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	57,71	69,25	0,24	15	289,87	0,9	0,84	1	219,14
SUBTOTAL					289,87				219,14
TOTAL					1889,40				2047,36

Tabla B. 33 Oficina 24

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte	4,22	3,75	15	236,94	0,15	-0,05	1,1	260,63
Muros	Norte	3,51	3,37	15	177,22	0,15	-0,05	1,1	194,95
Puerta	Norte								
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este								
Muros	Este								
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste	5,25	3,75	15	295,11	0,15	0	1,15	339,38
Muros	Oeste	6,25	3,37	15	315,57	0,15	0	1,15	362,90
Puerta	Oeste								
Cielo		14,21	0,34	6	28,92	0,15	0,05	1,2	34,70
Piso		14,21	0,88	7	87,62	0,15	0,05	1,2	105,14
SUBTOTAL					1141,38				1297,70
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	35,54	42,64	0,24	15	178,50	0,9	0,84	1	134,95
SUBTOTAL					178,50				134,95
TOTAL					1319,88				1432,65

Tabla B. 34 Comedor

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte	0,97	4,08	7	27,69	0,15	0,05	1,2	33,22
Muros	Norte	6,36	2,29	7	101,95	0,15	0,05	1,2	122,35
Puerta	Norte	3,54	4,08	7	101,03	0,15	0,05	1,2	121,23
Ventanas	Sur								
Muros	Sur								
Puerta	Sur								
Ventanas	Este	24,05	3,75	15	1352,13	0,15	0	1,15	1554,95
Muros	Este	15,70	3,37	15	792,50	0,15	0	1,15	911,38
Puerta	Este								
Ventanas	Oeste	24,05	3,75	15	1352,13	0,15	0	1,15	1554,95
Muros	Oeste	15,70	3,37	15	792,50	0,15	0	1,15	911,38
Puerta	Oeste								
Cielo									
Piso		P (m)	H (W/mK)						
		30	1,2	15	540,00	0,15	0,05	1,2	648,00
SUBTOTAL					5059,94				5857,47
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	241,34	289,61	0,24	15	1212,33	0,9	0,84	1	916,52
SUBTOTAL					1212,33				916,52
TOTAL					6272,27				6773,99

Tabla B. 35 Pasillo S2 y S3

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C					te = 5 °C		V = 24 km/h		
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Qequipo W
Ventanas	Norte	23,95	3,75	15	1346,44	0,15	-0,05	1,1	1481,09
Muros (baños)	Norte	4,43	2,56	7	79,23	0,15	0,05	1,2	95,08
Muros	Norte	3,00	3,37	15	151,47	0,15	-0,05	1,1	166,62
Muros	Norte	9,03	3,38	15	457,15	0,15	-0,05	1,1	502,86
Puerta	Norte								
Ventanas (termop)	Sur	18,10	3,75	15	1017,60	0,15	0,05	1,2	1221,12
Ventanas	Sur	0,64	4,08	10	26,12	0,15	0,05	1,2	31,35
Muros	Sur	9,18	2,56	7	164,37	0,15	0,05	1,2	197,24
Puerta (Baño)	Sur	3,57	2,188	7	54,67	0,15	0,05	1,2	65,60
Puerta	Sur	3,36	4,082	10	137,14	0,15	0,05	1,2	164,57
Ventanas	Este	3,29	4,08	7	93,86	0,15	0	1,15	107,94
Muros (Baño)	Este	4,75	2,56	7	85,05	0,15	0,05	1,2	102,06
Muros	Este	5,50	3,38	15	278,59	0,15	0	1,15	320,38
Puerta	Este	3,47	4,08	7	99,00	0,15	0	1,15	113,85
Ventanas (termop)	Oeste	45,16	3,75	15	2538,66	0,15	0	1,15	2919,46
Ventanas	Oeste	2,25	6,38	15	215,18	0,15	0	1,15	247,46
Muros	Oeste	17,10	3,37	15	863,39	0,15	0	1,15	992,90
Puerta	Oeste	2,00	6,3757097	15	191,27	0,15	0	1,15	219,96
Cielo		138,26	0,34	6	281,30	0,15	0,05	1,2	337,56
Piso		3,34	0,88	7	20,59	0,15	0,05	1,2	24,71
SUBTOTAL					8101,09				9311,80
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Qequipo W
Por NRH = 1	388,65	466,38	0,24	15	1952,29	0,9	0,84	1	1475,93
SUBTOTAL					1952,29				1475,93
TOTAL					10053,37				10787,73

Tabla B. 36 Centro de extensión

HOJA DE CALCULO PARA CALEFACCION									
ta = 20 °C		te = 5 °C				V = 24 km/h			
PERDIDAS DE CALOR POR LA ESTRUCTURA									
Designac.	Orientac.	Superf. neta (m ²)	U W/m ² °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S ₁	(1+ So+ S ₁)	Equipo W
Ventanas	Norte	7,50	4,08	7	214,29	0,15	0,05	1,2	257,14
Muros	Norte	9,50	2,29	7	152,29	0,15	0,05	1,2	182,75
Puerta	Norte	4,55	4,08	7	130,00	0,15	0,05	1,2	156,00
Ventanas (interior)	Sur	24,64	4,08	7	704,00	0,15	0,05	1,2	844,80
Ventanas (interior)	Sur	1,58	4,08	7	45,00	0,15	0,05	1,2	54,00
Muros (interior)	Sur	9,50	2,29	7	152,29	0,15	0,05	1,2	182,75
Muros (interior)	Sur	24,56	3,38	7	580,55	0,15	0,05	1,2	696,66
Muros (interior)	Sur	22,76	2,29	7	364,92	0,15	0,05	1,2	437,90
Puerta (interior)	Sur	6,30	4,08	7	180,00	0,15	0,05	1,2	216,00
Ventanas (interior)	Este	2,40	4,08	7	68,57	0,15	0,05	1,2	82,29
Ventanas (exterior)	Este	10,09	3,75	15	566,90	0,15	0	1,15	651,94
Muros (interior)	Este	13,83	2,29	7	221,70	0,15	0,05	1,2	266,04
Puerta (interior)	Este	1,49	2,19	7	22,83	0,15	0,05	1,2	27,40
Puerta (exterior)	Este	3,47	4,08	15	212,14	0,15	0	1,15	243,96
Ventanas (interior)	Oeste	12,49	4,08	7	356,71	0,15	0,05	1,2	428,06
Ventanas (interior)	Oeste	3,31	3,75	15	186,06	0,15	0,05	1,2	223,28
Ventanas (exterior)	Oeste	6,78	3,75	7	177,72	0,15	0	1,15	204,38
Muros (interior)	Oeste	12,34	2,29	7	197,80	0,15	0,05	1,2	237,36
Puerta (interior)	Oeste	2,98	2,19	7	45,66	0,15	0,05	1,2	54,79
Puerta (interior)	Oeste	3,47	4,08	7	99,00	0,15	0	1,15	113,85
Cielo		219,30	0,34	6	446,18	0,15	0,05	1,2	535,42
Cielo		70,68	5,57	15	5907,58	0,15	-0,05	1,1	6498,34
Piso		P (m)	H (W/mK)						
		2,5	1,2	15	45,00	0,15	0,05	1,2	54,00
SUBTOTAL					11077,21				12649,11
INFILTRACION DE AIRE FRIO									
Rendijas	V m ³ /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S ₂	Equipo W
Por NRH = 2	2844,72	3413,66	0,24	15	14289,76	0,9	0,84	1	10803,06
SUBTOTAL					14289,76				10803,06
TOTAL					25366,97				23452,17