



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS Y MEDICIÓN DEL NIVEL DE INFILTRACIÓN DE AIRE Y PUENTES
TÉRMICOS EN ESPACIOS DE OFICINA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

BÁRBARA XIMENA MACARI URRA

PROFESOR GUÍA:

ROLF SIELFELD CORVALÁN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

GABRIEL DARÍO RODRIGUEZ JAQUE

JAMES PETER MC PHEE TORRES

SANTIAGO DE CHILE

JULIO 2013

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: BÁRBARA MACARI U.
FECHA: JULIO 2013
PROF GUÍA: ROLF SIELFELD

ANÁLISIS Y MEDICIÓN DEL NIVEL DE INFILTRACIÓN DE AIRE Y PUENTES TÉRMICOS EN ESPACIOS DE OFICINA

En la presente memoria se hace un estudio de comparación de una casa oficina ubicada en el primer piso de una casa versus el caso con aislación continua en la envolvente térmica y mejoras constructivas.

Para las pruebas se utiliza el Blower Door, el cual consiste de un ventilador que se coloca en la puerta principal y produce un cambio de presiones entre el interior y el exterior y sirve para medir el grado de estanqueidad de la casa.

Se analizarán los puentes térmicos que se puedan encontrar en la envolvente, como también el nivel de infiltración de la casa. Se compararán luego estos resultados con lo obtenido mediante un software llamado THERM para el caso de puentes térmicos y con la infiltración máxima para una oficina.

Luego se calcularán los gastos energéticos que se obtengan debido a las características antes mencionadas para compararlas y verificar que se cumpla con el requisito máximo.

Se logra concluir que los resultados esperados eran los correctos, es decir, que el diseño base de la edificación tiene pérdidas superiores al caso propuesto con aislación térmica exterior de 50 mm, cambio a ventanas eficientes, y el intercambio de hora de 5 veces. La diferencia entre ambos casos es de 56% kilowatts por hora en un año.

Al analizar únicamente la envolvente exterior de la edificación se obtiene una diferencia de 26% watts, dentro de estas pérdidas se consideran las pérdidas debido a los puentes térmicos los cuales influyen en un 15% en el resultado final.

Se recomienda el uso del aislante EIFS en las edificaciones para poder así disminuir los gastos y que las construcciones sean más eficientes.

Dedicatoria

A mis padres y hermano:

Por haber confiado siempre en mí, sus consejos y la constante motivación que me ha permitido llegar a ser la persona que soy, sobre todo por su amor.

Gracias.

Agradecimientos

A todos los que de alguna forma aportaron para poder sacar adelante esta gran etapa de mi vida.

Sobre todo agradezco a los amigos que conocí en este largo trayecto, los cuales hicieron que este tiempo fuera mucho mejor.

Gracias a mis amigas del colegio, los civiles, los remechones, mis amigas del fútbol de la U e ingeniería. Especialmente a los que estuvieron en la mayor parte de mi vida universitaria o los que marcaron mis estudios y los que me aguantaron en la primera y última etapa, las más importantes y difíciles de la carrera.

Tabla de contenido

Capítulo 1 Introducción.....	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivos generales	2
1.2.2 Objetivos específicos	3
Capítulo 2 Antecedentes generales.....	4
2.1 Conceptos básicos de transferencia de calor.....	4
2.1.1 Conducción	4
2.1.2 Convección	4
2.1.3 Radiación	5
2.2 Fórmulas	5
2.3 Zonificación térmica de Chile	8
2.4 Confort Térmico	9
2.4.1 Sensación térmica	13
2.4.2 Condensación y formación de hongos	16
2.5 Balance energético en viviendas	18
2.6 Infiltraciones	20
2.6.1 Pérdidas de calor	21
2.6.2 Blower door test.....	22
2.7 Puentes térmicos	24
2.7.1 Ensayos de laboratorio.....	27
2.7.2 Ensayos in situ.....	27
2.7.3 Métodos disponibles y precisión esperada para el cálculo de la transmitancia térmica lineal, Ψ	28
2.7.4 Cámara termográfica	30
2.8 Proyecto arquitectónico.....	32
Capítulo 3 Metodología	38
3.1 Metodología de medición.....	38
3.2 Infiltración.....	39

3.3	Desarrollo escantillones	42
3.4	Análisis elementos finitos (THERM)	44
3.5	Método numérico	49
3.6	Propuesta de soluciones	50
Capítulo 4	Análisis de resultados	52
4.1	Blower door	52
4.2	Tomas termográficas.....	53
4.3	Análisis elementos finitos método numérico	57
4.3.1	Escantillón 1: Encuentro de muros.....	57
4.3.2	Escantillón 2: Encuentro de muro con ventana	69
4.3.3	Escantillón 3: Encuentro de muro con suelo.....	74
4.3.4	Escantillón 4: Encuentro de muro con puerta	84
4.3.5	Envolvente térmica por puentes térmicos	89
4.4	Análisis envolvente térmica.....	91
4.4.1	Pérdidas por conducción.....	91
4.4.2	Pérdidas por infiltración.....	93
4.4.3	Coeficientes volumétricos de pérdidas de energía	93
4.4.4	Gasto energía total.....	94
4.4.5	Análisis económico	95
Capítulo 5	Conclusiones y recomendaciones	96
Bibliografía	98
Anexos.....	100
Anexo A:	Tabla resistencias superficiales Nch 853 of 2007	100
Anexo B:	Plano de la casa oficina.	101
Anexo C:	Pasos para aplicar el Blower Door	102

Índice de tablas

Tabla 1: Símbolos y unidades	xi
Tabla 2.1: Zonificación térmica de grados día	9
Tabla 2.2: Sensación térmica en un ambiente según temperatura, humedad y movimiento del aire.....	11
Tabla 2.3: Combinaciones de temperatura y velocidad del aire	14
Tabla 2.4: Influencia de calor y humedad en la sensación térmica	15
Tabla 2.5 : Rangos de resultados del blower door test	23
Tabla 2.6: Dimensiones de la edificación	32
Tabla 3.1: Propiedades de materiales.....	44
Tabla 3.2: Condiciones de borde.....	45
Tabla 4.1: Ensayo blower door	52
Tabla 4.2: Resultados del ensayo de Blower Door	52
Tabla 4.3: Transmitancia térmica para escantillón 1.....	67
Tabla 4.4: Pérdidas escantillón 1	67
Tabla 4.5: Valores de factor de temperatura de superficie interior.....	68
Tabla 4.6: Transmitancia térmica para escantillón 2.....	73
Tabla 4.7: Pérdidas escantillón 2	73
Tabla 4.8: Valores de factor de temperatura de superficie interior.....	73
Tabla 4.9: Transmitancia térmica para escantillón 3.....	83
Tabla 4.10: Pérdidas escantillón 3.....	83
Tabla 4.11: Valores de factor de temperatura de superficie interior	83
Tabla 4.12: Transmitancia térmica para escantillón 4	88
Tabla 4.13: Pérdidas escantillón 4.....	89
Tabla 4.14: Factor de temperatura superficial interior	89
Tabla 4.15: Coeficiente de transferencia de calor sin aislación.....	89
Tabla 4.16: Coeficiente de transferencia de calor sin aislación debido a puentes térmicos en 2 dimensiones.	90
Tabla 4.17: Coeficiente de transferencia de calor con aislación exterior.	90

Tabla 4.18: Coeficiente de transferencia de calor con aislación debido a puentes térmicos en 2 dimensiones	91
Tabla 4.19: Pérdidas por conducción construcción base	92
Tabla 4.20: Pérdidas por conducción caso con aislamiento exterior	92
Tabla 4.21: Valores en UF.....	95

Índice de figuras

Figura 2.1 : Tipos de transferencia de calor en una vivienda.....	4
Figura 2.2 : Ábaco de la temperatura efectiva	12
Figura 2.3: Ganancias y pérdidas	20
Figura 2.4: Blower door test	24
Figura 2.5: Encuentros de puentes térmicos	25
Figura 2.6: Flujo de calor	25
Figura 2.7: Pérdidas por puentes térmicos	26
Figura 2.8: Localización puentes térmicos lineales	27
Figura 2.9: Cámara termográfica	31
Figura 2.10: Imagen termográfica	31
Figura 2.11: Ubicación de la edificación	32
Figura 2.12: Plano edificación	33
Figura 2.13: Vista frontal de la casa (Sur)	34
Figura 2.14: Vista del patio trasero (Norte)	34
Figura 2.15: Vista este.....	35
Figura 2.16: Vista oeste	35
Figura 2.17: Acercamiento a ventana	36
Figura 2.18: Ventilación subterráneo.....	37
Figura 3.1: Verificador de datos	41
Figura 3.2: Blower door instalado.....	41
Figura 3.3: Detalle 1	42
Figura 3.4: Detalle 2	43
Figura 3.5: Detalle 3	43
Figura 3.6: Detalle 4	44
Figura 3.7: Ventana de WINDOW 6.....	45
Figura 3.8: Escantillón 1 para analizar en THERM	46
Figura 3.9: Escantillón 2 para analizar en THERM	47
Figura 3.10: Escantillón 3 para analizar en THERM.....	48

Figura 3.11: Escantillón 4 para analizar en THERM.....	49
Figura 3.12: Capas de aislamiento	50
Figura 4.1: Imagen 1	53
Figura 4.2: Imagen 2	54
Figura 4.3: Imagen 3	55
Figura 4.4: Imagen 4	55
Figura 4.5: Imagen 5	56
Figura 4.6: Imagen 6	56
Figura 4.7: Isotermas escantillón 1	58
Figura 4.8: Isotermas escantillón 1 con EIFS exterior	59
Figura 4.9: Isotermas escantillón 1 con aislación térmica interior.....	60
Figura 4.10 : Vectores de flujo escantillón 1	61
Figura 4.11: Vectores de flujo escantillón 1 con EIFS exterior	62
Figura 4.12: Flujo de vectores escantillón 1 con aislación térmica interior...	63
Figura 4.13: Flujo de calor escantillón 1.....	64
Figura 4.14: Flujo de calor escantillón 1 con EIFS exterior	65
Figura 4.15: Flujo de calor escantillón 1 con aislación térmica interior	66
Figura 4.16: Puente térmico escantillón 1.....	68
Figura 4.17: Isotermas escantillón 2.....	69
Figura 4.18: Isotermas escantillón 2 con EIFS exterior	69
Figura 4.19: Isotermas escantillón 2 con aislación térmica interior	70
Figura 4.20: Vectores de flujo escantillón 2.....	70
Figura 4.21: Vectores de flujo escantillón 2 con EIFS exterior	70
Figura 4.22: Vectores de flujo escantillón 2 con aislación térmica interior ...	71
Figura 4.23: Flujo de calor escantillón 2.....	71
Figura 4.24: Flujo de calor escantillón 2 con EIFS exterior	72
Figura 4.25: Flujo de calor escantillón 2 con aislación térmica interior	72
Figura 4.26: Isotermas escantillón 3.....	74
Figura 4.27: Isotermas escantillón 3 con EIFS exterior	75
Figura 4.28: Isotermas escantillón 3 con aislación térmica interior	76

Figura 4.29: Vectores de flujo escantillón 3.....	77
Figura 4.30: Vectores de flujo escantillón 3 con EIFS exterior	78
Figura 4.31: Vectores de flujo escantillón 3 con aislación térmica interior ...	79
Figura 4.32: Flujo de calor escantillón 3.....	80
Figura 4.33: Flujo de calor escantillón 3 con EIFS exterior	81
Figura 4.34: Flujo de calor escantillón 3 con aislación térmica interior	82
Figura 4.35: Puentes térmicos escantillón 3.....	84
Figura 4.36: Isotermas escantillón 4.....	84
Figura 4.37: Isotermas escantillón con EIFS exterior.....	85
Figura 4.38: Isotermas escantillón con aislación térmica interior	85
Figura 4.39: Vectores de flujo escantillón 4.....	86
Figura 4.40: Vectores de flujo escantillón 4 con EIFS exterior	86
Figura 4.41: Vectores de flujo escantillón 4 con aislación térmica interior ...	86
Figura 4.42: Flujo de calor escantillón 4.....	87
Figura 4.43: Flujo de calor escantillón 4 con EIFS exterior	87
Figura 4.44: Flujo de calor escantillón 4 con aislación térmica interior	88

Glosario

Tabla 1: Símbolos y unidades

Símbolo	Representación	Unidad
Φ	Potencia	W
ΔQ	Cantidad de calor transmitido	J
Δt	Variación en el tiempo	s
λ	Conductividad térmica	W/m ^o K
e	Espesor	m
A	Área	m ²
ΔT	Variación de temperatura	°K
C	Conductancia térmica	W/m ^{2o} K
R	Resistencia térmica	m ^{2o} K/W
φ	Densidad de flujo	W/ m ²
ΔT_s	Diferencia temperaturas superficiales	°K
R _t	Resistencia térmica total	m ^{2o} K/W
R _{si}	Resistencia térmica dada por la capa de aire interior	m ^{2o} K/W
R _{se}	Resistencia térmica dada por la capa de aire exterior	m ^{2o} K/W
U	Transmitancia térmica	W/m ^{2o} K
L	Coefficiente de acoplamiento térmico	W/°K
Ψ_k	Tramitancia térmica lineal	W/m ^o K
l _k	Longitud	m
X _j	Transmitancia térmica puntual	W/°K
L ^{2D}	Conductancia térmica lineal	W/m ^o K
f _{min}	Factor de temperatura	a dimensional
T _{int sup min}	Temperatura interior de superficie mínima	°K
T _{int min}	Temperatura interior	°K
T _{ext}	Temperatura exterior	°K
G _{energético}	Gasto de energía total anual	kWh·año
n	Número de renovaciones de aire por hora	1/h
Δx	Variación de espesor	m

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 1 Introducción

1.1 Motivación

Desde finales del siglo XVIII se ha producido un gran aumento en la producción de gases que producen el efecto invernadero, lo que ha provocado un aumento en la temperatura global media de la tierra. Esto ha originado una conciencia social de lucha contra el cambio climático que queda demostrado en compromisos y normativas.

En nuestro país la tendencia de edificios verdes es cada vez mayor, la certificación LEED otorgada por US Green Building Council, promueve las construcciones sustentables y mide el desempeño de un edificio o construcción a través de indicadores como son el ahorro de energía, eficiencia del agua y reducción de dióxido de carbono, además de la calidad ambiental de los interiores, aéreas verdes, materiales y recursos utilizados y la sensibilización a la sociedad de su impacto sobre el medio ambiente.

Una edificación LEED puede ahorrar entre un 30 y 50% de energía con respecto a edificios tradicionales, lo cual se traduce en una disminución de costos operacionales del edificio. El aumento de los precios de la energía y los recursos limitados del planeta imponen una eficacia energética más importante en construcciones nuevas y construcciones renovadas. Se exige dentro de los puntos un gran nivel de impermeabilidad al aire del envolvente para los edificios nuevos, para realizar construcciones de alta prestación energética, para poder realizar ahorros energéticos al tener buenos sistemas de calefacción y carpinterías de buen rendimiento y lograr disminuir las infiltraciones en la envolvente del edificio u oficina.

El aislamiento térmico de edificios tiene como objetivo principal el ahorro de energía de calefacción o de refrigeración para conseguir niveles adecuados de confort térmico, la disminución del deterioro de materiales y mejorar la calidad de vida de las personas ya que disminuye la proliferación de microorganismos causantes de enfermedades. La hermeticidad al viento o aire es muy importante para conseguir la máxima eficiencia posible en la edificación.

La envolvente del edificio juega un papel crucial en la reducción de demanda energética en el sector de la edificación, por lo que se está pretendiendo en la mayoría de ellas reducir al mínimo económico la transferencia de calor a

través de los cerramientos, limitando su transmitancia térmica y mediante el tratamiento de los puntos débiles de transmisión de calor.

Hoy en día la sustentabilidad y el status ecológico no solo son valores agregados de una construcción, si no también es prácticamente un requisito tener algún grado de eficiencia, es por esta razón que se quiere medir y comparar el nivel de infiltración y los puentes térmicos en la oficina.

En el año 2007 la Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica, el Programa País de Eficiencia energética y el Instituto de la Construcción, hicieron un estudio en La Serena, Santiago, Concepción y Puerto Montt llamado “Determinación de Línea Base del Confort Térmico en el Sector Residencial”, para determinar cómo vivían los chilenos al interior de sus hogares. Se hizo un cálculo en un momento preciso e independiente de las variaciones en el tiempo para viviendas construidas entre el 2002 y el 2006. De un total de 392 casas, cerca del 50% tiene patologías en la vivienda debido a la humedad y más de un tercio de las viviendas presentan infiltraciones de aire. Dentro de las infiltraciones de aire un 58,3% se debe al mal cierre de puertas, 30,7% al mal cierre de ventanas, 6,1% a la deformación de muros y el 4,9% a vidrios en mal estado. Es por esta razón que se hace muy importante la buena aislación térmica. Hay que tener en cuenta que este estudio está confeccionado con datos de viviendas pero las oficinas son de mejor calidad.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos generales

El presente estudio se realiza para poder analizar las diferencias en cuanto a infiltraciones de aire que se pueden encontrar en una casa determinada. Para mejorarla se propone la utilización de un aislante térmico llamado EIFS, el cual tiene como objetivo principal brindar aislación térmica con el exterior disminuyendo las pérdidas de temperatura de la edificación, lo que hace que el aire intercambiado entre el interior y el exterior se reduzca al máximo para minimizar la pérdida de calor disminuyendo las infiltraciones de aire.

Mediante la utilización de EIFS se logran reducir los puentes térmicos al máximo ya que la cantidad transferida de calor que se produce en la envolvente se hace constante en toda ella, sin tener grandes diferencias de temperatura en los muros.

Se busca entonces reducir al máximo las infiltraciones de aire en la casa oficina propuesta y a la vez disminuir los puentes térmicos en ella.

1.2.2 Objetivos específicos

Reconocer en una casa destinada a oficina, las principales características y materialidad de la envolvente, ganancias internas y desempeño energético. Se busca presentar una solución constructiva para el mejoramiento de la aislación térmica en muros perimetrales de la casa oficina. Contrastar la diferencia térmica que se produce entre las soluciones propuestas y la situación base del proyecto.

Entregar alguna recomendación a las principales deficiencias que producen pérdidas y mal funcionamiento térmico de la edificación tales como filtración de aire, humedad y pérdidas de calor perimetral.

El principal objetivo es analizar de forma comparativa el gradiente de temperaturas y el nivel de infiltración de aire de una oficina tipo, mediante la comparación de infiltraciones de una edificación base y una aislada por el exterior.

Capítulo 2 Antecedentes generales

2.1 Conceptos básicos de transferencia de calor

La envolvente del edificio pierde calor por transmisión cuando el ambiente exterior o interior es más frío que el otro ambiente. El calor puede transmitirse por conducción, convección y radiación.

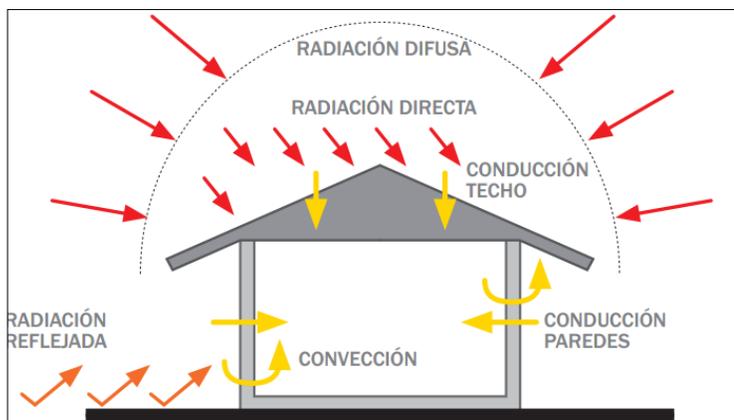


Figura 2.1 : Tipos de transferencia de calor en una vivienda

Fuente: Manual de reacondicionamiento técnico de viviendas en uso

2.1.1 Conducción

Es la transmisión de calor desde una partícula de materia a otra, permaneciendo las partículas en posiciones relativas fijas entre sí, tendiendo a igualar la temperatura entre los cuerpos que se encuentren en contacto. La conductividad térmica se define como la velocidad a la cual fluye el calor, por conducción, a través del material por unidad de área de la sección transversal, tomada normalmente a la dirección del flujo de calor y por unidad de gradiente de temperatura, medido en la dirección del flujo de calor en una unidad de tiempo. La conductividad térmica de los materiales depende de la temperatura del material. En algunas ocasiones ésta aumenta a medida que se eleva la temperatura del material; en otros, disminuye.

2.1.2 Convección

Es la transmisión de calor de una parte de un fluido a otra, debido a la mezcla de las partículas más calientes del fluido con las más frías. El movimiento del fluido puede originarse por diferencias en la densidad de éste como un agitador. Los fluidos al calentarse aumentan su volumen y disminuyen su

densidad, por lo que asciende, desplazando al fluido que se encuentra en la parte superior a menor temperatura.

2.1.3 Radiación

Es la transmisión de calor de un cuerpo a otro, como resultado de la emisión y absorción por el cuerpo de una forma de energía llamada energía radiante. Cualquier materia emite energía radiante, y la cantidad de emisión depende de la temperatura y naturaleza de la materia. Al encontrar un material cualquiera, la energía radiante puede ser absorbida en forma parcial por aquél y convertida en energía calorífica; puede ser parcialmente reflejada por el material, o transmitida a través de él.

Si se logra disminuir la transferencia de calor se podrá hacer uso de la energía de manera más eficiente, ya que para calefaccionar o enfriar un recinto se necesitará menos energía. Se deben elegir soluciones constructivas que disminuyan la transferencia de calor. Las pérdidas por conducción disminuyen con materiales de baja conductividad térmica, las grandes infiltraciones de aire aumentan las pérdidas por convección y para disminuir las pérdidas por radiación se utilizan materiales de baja emisividad.

2.2 Fórmulas

A continuación se muestran las fórmulas que se utilizarán para los cálculos de la memoria y una breve explicación de cada una.

El flujo de calor es la cantidad de calor cambiado por unidad de tiempo. Se produce cuando existe un incremento de temperaturas entre los diferentes cuerpos, transfiriéndose desde el cuerpo con temperatura más alta al cuerpo con temperatura más baja.

$$\Phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \text{ W} \quad (I)$$

La transmisión de calor se produce en régimen estacionario o transitorio, el en primero el flujo y la temperatura en cualquier punto son independientes, mientras que en el segundo, el flujo y la temperatura varían con el tiempo, por lo que existe variación de la energía interna del sistema.

En una situación real se encuentran los cuerpos en régimen transitorio ya que las temperaturas no son constantes, a pesar de esto, se analizan los puentes térmicos en régimen estacionario.

La conductividad térmica de un material es la propiedad que hace que éste transmita calor desde el lado de mayor temperatura hacia el de menor temperatura. Se define como la cantidad de calor que un material transmite en condiciones unitarias de espesor, superficie, tiempo y diferencia de temperatura entre las caras que intercambian calor. Se puede saber si los materiales son buenos aislantes térmicos al ser malos conductores de calor, y si son malos aislantes térmicos cuando son buenos conductores de calor.

La conductividad térmica de los materiales de caras planas y paralelas coplanares se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{\Phi e}{A \cdot \Delta T} \frac{W}{mK} \quad (II)$$

Los valores de conductividad térmica de los materiales se obtienen en condiciones secas. Si se encuentran en condiciones húmedas los valores de conductividad térmica aumentan, especialmente en materiales porosos. El agua tiene una conductividad 22 veces mayor a la del aire. La conductividad térmica varía con la humedad, por lo que ésta se debe controlar en la envolvente térmica de la edificación. Existen coeficientes de corrección para obtener los valores en condiciones reales de los materiales. Los valores de conductividad térmica dependen de cada material los cuales se pueden encontrar en la norma NCh 853.

La conductancia térmica corresponde a la facilidad que pasa el calor en un cierto espesor, y está dada por:

$$C = \frac{\lambda}{e} \frac{W}{m^2 \circ K} \quad (III)$$

Inversamente relacionado con la conductancia está la resistencia que el material ofrece al paso del calor. Esta resistencia depende de la conductividad térmica y el espesor del material, como se observa en la siguiente fórmula:

$$R = \frac{e}{\lambda} \frac{m^2 \circ K}{W} \quad (IV)$$

La conductancia térmica total se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \frac{m^2 \circ K}{W} \quad (V)$$

La transmitancia térmica U, es el inverso de la resistencia térmica total y expresa la cantidad de calor que se transmite a través de cierto elemento por

unidad de tiempo y superficie, cuando entre los ambientes que separa el elemento existe una diferencia de temperatura.

$$U = \frac{1}{R_T} \frac{W}{m^2 K} \quad (VI)$$

Con lo que finalmente el flujo de calor que pasa a través de un elemento, en una dirección dada por unidad de superficie, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\varphi = \lambda_o \frac{\Delta T}{\Delta x} \frac{W}{m^2} \quad (VII)$$

La suma de todos los flujos de los distintos elementos que conforman la envolvente multiplicados por sus superficies, permite determinar el gasto energético total para mantener una cierta temperatura al interior de un recinto si se tiene una temperatura exterior dada.

Si se tiene el valor de la transmitancia térmica se puede calcular la cantidad de calor transferido, la cual viene dada por:

$$\Phi = U \cdot A \cdot \Delta T \text{ W} \quad (VIII)$$

Además se puede calcular el calor transferido por ventilación, el cual se calcula con la siguiente fórmula simplificada:

$$\Phi_{\text{vent}} = 0.35 \cdot n \cdot V \cdot \Delta T \text{ W} \quad (IX)$$

Finalmente para calcular la transferencia de calor a través de la envolvente hay que tomar en cuenta el efecto de los puentes térmicos, con lo que se obtiene la siguiente expresión para el coeficiente de acoplamiento térmico:

$$L = U_i \cdot A_i + \Psi_k \cdot l_k + X_j \quad (X)$$

La transmitancia térmica lineal se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Psi = L^{2D} - U_i \cdot l_i \frac{W}{m^2 K} \quad (XI)$$

Para calcular la conductancia térmica bidimensional se utiliza la siguiente ecuación:

$$L^{2D} = U_m \cdot l_m \frac{W}{m^2 K} \quad (XII)$$

Es necesario también calcular la temperatura mínima de superficie para ver si se cumple con el valor mínimo recomendado de $f_{min} = 0,75$.

$$f_{min} = \frac{T_{int\ sup\ min} - T_{ext}}{T_{int\ min} - T_{ext}} \quad (XIII)$$

El factor de pérdidas térmicas se puede obtener mediante:

$$G = \frac{\text{pérdidas de la envolvente}}{\text{volumen total}} \frac{W}{m^3 \circ K} \quad (XIV)$$

Lo cual según la norma chilena NCh 1960 se obtienen 2 valores, Gv1 que se refiere a las pérdidas por parte del material y Gv2 que se refiere a las pérdidas por material y las pérdidas por ventilación.

$$G_{v1} = \frac{U \cdot A + \Psi \cdot l}{V} \frac{W}{m^3 \circ K} \quad (XV)$$

$$G_{v2} = \frac{U \cdot A + \Psi \cdot l}{V} + 0.35n \frac{W}{m^3 \circ K} \quad (XVI)$$

Una vez calculadas las pérdidas volumétricas de calor, es posible determinar el gasto de energía total anual de la edificación mediante la siguiente ecuación.

$$G_{energético} = \frac{G_{v2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} [kWh/año] \quad (XVII)$$

2.3 Zonificación térmica de Chile

Chile se divide en 7 zonas térmicas las cuales fueron definidas de acuerdo al criterio de los Grados Día anuales, los que se estimaron para las diferentes regiones del país mediante información meteorológica de larga data. Esta división se establece en la Reglamentación Térmica señalada en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).

“Se entiende por grados días anuales (GD) a la suma de las diferencias entre una temperatura base y la temperatura media diaria, inferior a la base, durante un período del año: día, mes, año”.

La OGUC toma 15°C como base para calcular los grados días. La tabla siguiente muestra la zonificación térmica y sus grados días correspondientes.

Tabla 2.1: Zonificación térmica de grados día

Zona térmica	Grado día anual
1	<500
2	>500-<750
3	>750-<1000
4	>1000-<1250
5	>1250-<1500
6	>1500-<2000
7	>2000

Fuente: Guía DEEVS

El caso estudiado se trata de Santiago, ubicado en la zona térmica 3 con un rango de 750 y 1000 GD. Para efectos de cálculos se considerará el máximo de grados días.

2.4 Confort Térmico

Confort térmico es la condición en que las personas se sienten en equilibrio con el ambiente térmico que los rodea, condición que busca alcanzar cierta sensación de comodidad o satisfacción por parte de los usuarios de una vivienda. Se produce cuando hay un equilibrio entre las ganancias y las pérdidas térmicas.

La temperatura de confort depende de 4 factores:

- temperatura del aire
- temperatura de radiación de los elementos circundantes
- velocidad del aire
- humedad del aire

Dentro de estos factores el único que se puede modificar es la temperatura de radiación. Ha sido comprobado que esta temperatura no puede variar en $\pm 3^{\circ}\text{C}$ con respecto a la temperatura del aire, ya que si esto ocurre se siente frío o calor y ya no se encuentra el cuerpo en confort.

En el interior de un recinto se debe considerar un movimiento de aire entre 0,1 y 1 m/s y humedad relativa entre 30 y 70 por ciento. El organismo humano se siente en equilibrio térmico cuando el aire a su alrededor se encuentra entre 17 y 24°C. La temperatura superficial de muros, cielo y piso debe ser la

temperatura interior $\pm 3^{\circ}\text{C}$. La temperatura de confort se puede describir como una función de la temperatura, y humedad y movimiento del aire.

Con un adecuado uso de energía se debería lograr el confort térmico anterior.

Las condiciones climáticas exteriores influyen directamente en la energía necesaria para conseguir condiciones de confort, entre las más influyentes se encuentran: temperaturas medias máximas y mínimas del aire, humedad relativa del aire, pluviometría, radiación solar y dirección y velocidad del viento.

En la siguiente tabla se pueden observar límites establecidos para una sensación de confort.

Tabla 2.2: Sensación térmica en un ambiente según temperatura, humedad y movimiento del aire

Temperatura del aire	Humedad relativa aire	Velocidad del aire	Sensación térmica	Sensación de confort
°C	%	m/s	°C	--
25	100	0,1	25	Caluroso
25	100	0,5	24	Caluroso
25	100	1	23	Tibio
25	100	1,5	22,2	Tibio
25	80	0,1	23,5	Tibio
25	80	0,5	23	Tibio
25	80	1	22	Agradable
25	80	1,5	21,3	Agradable
25	60	0,1	22,8	Agradable
25	60	0,5	22	Agradable
25	60	1	21,2	Agradable
25	60	1,5	20,5	Agradable
25	40	0,1	21,3	Agradable
25	40	0,5	21,5	Agradable
25	40	1	20	Agradable
25	40	1,5	19	Agradable
20	100	0,1	19	Agradable
20	100	0,5	18,5	Agradable
20	100	1	17,3	Frío
20	100	1,5	16,2	Frío
20	60	0,1	18	Frío
20	60	0,5	17,1	Frío
20	60	1	16	Frío
20	60	1,5	15	Frío

Fuente: Gabriel Rodríguez, Temperatura de Confort, Revista Bit n°27, septiembre 2002

En el ábaco adjunto, se considera que las paredes y el suelo del ambiente a considerar están a la misma temperatura seca y húmeda. Para utilizar el siguiente ábaco se deben seguir los siguientes pasos:

- Medir la temperatura del bulbo húmedo y situar el valor en el ábaco.
- Unir el valor anterior con la temperatura seca medida. Esto dará una recta que cortará la parte central del ábaco.
- Buscar la intersección entre la velocidad del aire y la recta trazada.
- En el punto de intersección, seguir la línea oblicua hacia arriba si es verano, o hacia abajo si es invierno.

Finalmente se obtiene la temperatura efectiva para las condiciones dadas.

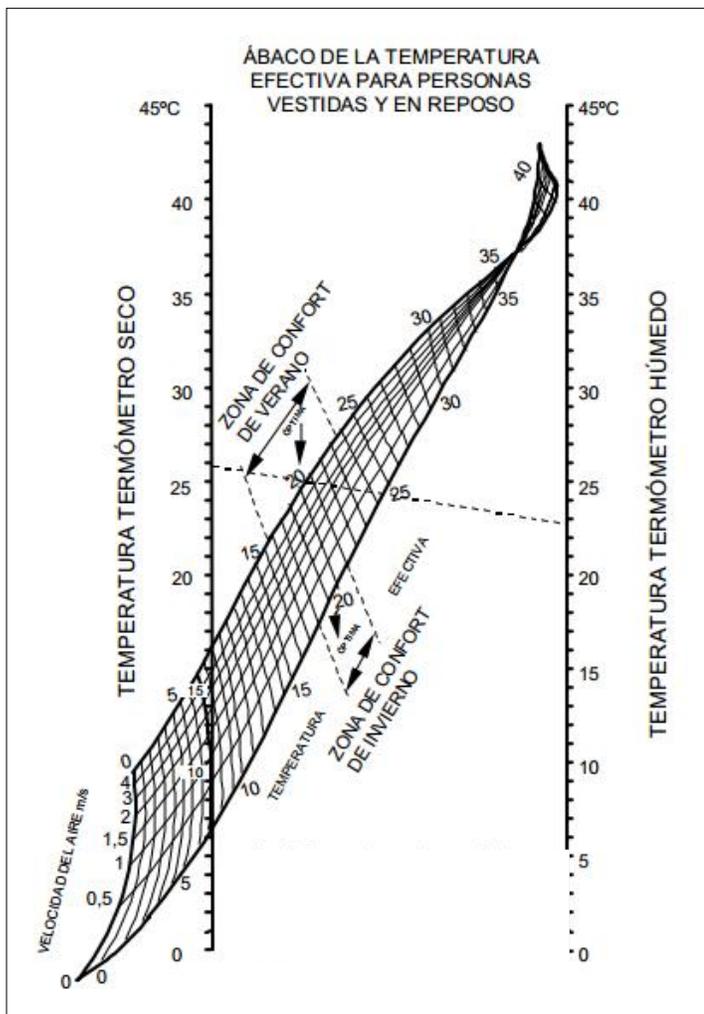


Figura 2.2 : Ábaco de la temperatura efectiva
Fuente: ASEPEYO

Para la estimación de las cargas térmicas es necesario saber en relación al espacio que va a ser acondicionado la orientación, materialidad, dimensiones y funcionamiento. La materialidad es una característica muy importante debido a que las ganancias de calor por paredes exteriores también influye el calor absorbido por las caras exteriores.

2.4.1 Sensación térmica

El cuerpo gana calor por su metabolismo, radiación del entorno, convección del aire y conducción de calor. En cambio, éste pierde calor por radiación al entorno, convección respiración, trabajo externo, evaporación del sudor y conducción.

Debido a las diferencias psicofisiológicas del ser humano, en un grupo de personas y bajo ciertas condiciones ambientales, es muy difícil que la totalidad de las mismas manifiesten sentirse confortables en una situación dada.

La sensación térmica es la sensación de calor o frío que siente una persona en su piel al exponerse a un ambiente con ciertas condiciones especiales de viento o humedad asociadas a la temperatura del aire, debido a que el cuerpo humano está habituado a un rango determinado de temperatura. Esta sensación se manifiesta en inconformidad.

Se estima que el cuerpo humano pierde 40% de su calor por radiación y otro 40% por convección y conducción, y el 20% restante por evaporación. Cabe mencionar que si ocurren variaciones en las condiciones térmicas, estas proporciones pueden cambiar. La sensación térmica depende de la relación entre el calor que produce el metabolismo del cuerpo y el que disipa al entorno. Si se tiene un mayor calor producido por el metabolismo, se siente calor. Cuando el ser humano se encuentra en un ambiente con altas temperaturas, el organismo produce sudor, y su evaporación ayuda a la pérdida de calor y adaptar la temperatura corporal a esa temperatura ambiental. Al tener una gran humedad, la evaporación del sudor se minimiza, dando como resultado una temperatura en la piel mayor a la ambiental. En cambio cuando se encuentra en temperaturas ambientales bajas, la humedad relativa ya no es importante y la pérdida calorífica se obtiene por el viento y temperatura ambiental.

Para evaluar la sensación térmica existen los índices de confort, los cuales surgen para poder observar los efectos de las variables que afectan los intercambios físicos entre el cuerpo humano y el ambiente y sobre las respuestas de la persona.

En el decreto supremo N° 594 se obtiene la siguiente tabla que indica las combinaciones de temperatura y velocidad del aire que dan origen a una cierta sensación térmica y se le indica un valor que se asocia al peligro al cual está expuesto el trabajador.

Tabla 2.3: Combinaciones de temperatura y velocidad del aire

Velocidad del viento km/h	Temperatura real leída en el termómetro °C									
	10	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34	-40
Calmo	10	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34	-40
8	9	3	-3	-9	-14	-21	-26	-32	-38	-44
16	4	-2	-9	-16	-23	-31	-36	-43	-50	-57
24	2	-6	-13	-21	-28	-36	-43	-50	-58	-65
32	0	-8	-16	-23	-32	-39	-47	-55	-63	-71
40	-1	-9	-18	-26	-34	-42	-51	-59	-67	-76
48	-2	-11	-19	-28	-36	-44	-53	-62	-70	-78
56	-3	-12	-20	-29	-37	-46	-55	-63	-72	-81
64	-3	-12	-21	-29	-38	-47	-56	-65	-73	-82
Mayor a 64, poco efecto adicional	Peligro escaso: En una persona adecuadamente vestida para menos de 1 hora de exposición				Aumento de peligro: Peligro de que el cuerpo expuesto se congele en 1 minuto			Gran Peligro: El cuerpo se puede congelar en 30 segundos		

Fuente: DS N° 594

Durante el verano el factor que más influye en la sensación térmica es la humedad, ya que afecta directamente a la capacidad de generación de sudor en la piel. Por lo tanto, a mayor humedad, mayor es la sensación térmica, el cuerpo siente el calor con mayor intensidad. Se adjunta a continuación la tabla que muestra la influencia de la humedad en la temperatura.

Tabla 2.4: Influencia de calor y humedad en la sensación térmica

Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
20	16	16	17	17	17	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	21	21	21	21	21	21
21	18	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	20	21	21	21	22	22	22	22	22	23
22	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23	24
23	20	20	20	20	21	21	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	25	25
24	21	21	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	25	25	25	25	26	26	26	26
25	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28
26	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	26	27	27	27	27	28	28	29	29	29	30
27	25	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28	29	29	30	30	31	31	31	33
28	26	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	31	32	32	33	34	34	36
29	26	26	27	27	27	28	29	29	29	29	30	30	31	33	33	34	35	35	37	38	40
30	27	27	28	28	28	28	29	29	30	30	31	32	33	34	35	36	37	39	40	41	45
31	28	28	29	29	29	29	30	31	31	31	33	34	35	36	37	39	40	41	45	45	50
32	29	29	29	29	30	31	31	33	33	34	35	35	37	39	40	42	44	45	51	51	55
33	29	29	30	30	31	33	33	34	34	35	36	38	39	42	43	45	49	49	53	54	55
34	30	30	31	31	32	34	34	35	36	37	38	41	42	44	47	48	50	52	55		
35	31	32	31	32	33	35	35	37	37	40	40	44	45	47	51	52	55				
36	32	33	32	34	35	36	37	39	39	42	43	46	49	50	54	55					
37	32	33	32	35	36	38	38	41	41	44	46	49	51	55							
38	33	34	33	36	37	39	40	43	44	47	49	51	55								
39	34	35	34	37	38	41	41	44	46	50	50	55									
40	35	36	37	39	40	43	43	47	49	53	55										

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile

Se puede observar en la tabla anterior que el incremento de la humedad aumenta drásticamente la sensación térmica, lo que hace sentir la temperatura más alta que lo que se muestra en el termómetro seco.

Para días calurosos hay que tomar en cuenta también en cómo influye el viento en la sensación térmica al remover la capa de aire que rodea nuestra piel, disminuyendo así la sensación de calor.

La no confortabilidad ocurre cuando el cuerpo humano experimenta un grado térmico fuera del rango en el que se está habituado de temperatura, condiciones de viento y de humedad. Esto se debe a que la sensación de frío o calor que siente una persona depende de la temperatura como también del balance térmico de la persona con el medio ambiente.

2.4.2 Condensación y formación de hongos

La humedad causa una gran cantidad de efectos indeseables en los edificios y en la calidad de vida de sus habitantes, como daños en terminaciones, deterioro de elementos constructivos, aparición de mohos u hongos y enfermedades en los ocupantes, haciendo que la vida útil del inmueble disminuya. Es por esta razón que la humedad se convierte en un gran problema cuando aparece de forma indeseada y en grandes proporciones.

Existen 5 tipos de humedad que afectan las viviendas:

2.4.2.1 *Humedad de lluvia:*

Ataca a los muros exteriores y techumbres, ocurre en zonas que llueva bastante y con viento. Se manifiesta en juntas constructivas de diferentes elementos por medio de manchas y otros daños en el exterior.

2.4.2.2 *Humedad accidental:*

Ocurre por situaciones inesperadas, como rotura de cañerías, defectos de diseño, defectos de construcción o falta de mantención.

2.4.2.3 *Humedad de suelo:*

Se produce cuando la humedad del suelo es absorbida por los elementos que se encuentran en contacto con él debido a la capilaridad de los materiales. Afecta principalmente el primer piso de la edificación, como también en muros contra terreno.

2.4.2.4 *Humedad de construcción:*

El producida por el agua utilizada en procesos constructivos y que aún no ha sido evaporada, la cual queda retenida al interior de los elementos constructivos. En caso de no evaporarse antes de comenzar las terminaciones aparecerán eflorescencias y desconches entre otros daños.

2.4.2.5 *Humedad por condensación:*

Se produce cuando la temperatura de algún elemento es inferior al punto de rocío del ambiente.

La condensación es el fenómeno en el cual el vapor de agua contenido en la atmósfera al enfriarse se transforma en agua líquida. Existen dos tipos de condensación en la edificación: condensación superficial y condensación intersticial. La primera se presenta en superficies frías y la segunda, en el interior de las capas de un elemento perimetral.

Generalmente la condensación se produce en los elementos perimetrales debido al gradiente de temperatura entre la cara interior y la exterior de un muro de la envolvente y una diferencia de presión de vapor de agua significativa.

La condensación superficial se debe principalmente a la alta humedad relativa del aire y a las bajas temperaturas superficiales de los elementos de la envolvente, las que se pueden deber por las siguientes razones: resistencia térmica baja de la envolvente, existencia de puentes térmicos, temperatura exterior baja, mala ventilación de ambientes interiores, entre otros.

Al tener una presión mayor al interior del recinto, el vapor tiende a desplazarse en el interior del elemento a la zona con menor presión, esto se le conoce como difusión de vapor de agua lo que genera la condensación intersticial. El flujo de calor va desde lo más caliente a lo más frío, por lo que en invierno el calor tiende a salir del recinto, generando un flujo horizontal saliente en paredes y un flujo ascendente en techos.

La condensación ocurre mayormente en rincones y aristas superiores o detrás de muebles debido a que el aire que circula en esos lugares es menor. Debido a que el agua presenta baja resistencia térmica, la condensación produce una disminución de la resistencia térmica del material.

La resistencia térmica aumenta cuando mayor es la transmitancia térmica del elemento de la envolvente.

Si a una cierta temperatura interior y a un cierto nivel de humedad, la temperatura de una habitación se reduce, entonces la humedad relativa de la habitación aumentará.

Un factor importante es la baja temperatura exterior, que generalmente en Santiago se produce en la mañana con la salida del sol en invierno, de preferencia ocurre en los muros con orientación sur, los cuales son los más propensos a la condensación debido a que reciben menos radiación del sol.

En Santiago, la temperatura de invierno es cercana a 0°C, por lo tanto si se considera una temperatura interior de confort de 20°C, existe un gradiente de temperatura importante entre la cara interior y la exterior del muro de la envolvente, como también una diferencia de presión de vapor de agua significativa.

El problema que se genera con la condensación, tiene consecuencias graves, ya que mancha y suelta las pinturas, daña los papeles murales y favorece la formación de hongos que pueden llegar a ser dañinos para la salud.

La condensación puede producir hongos en el interior de la edificación, su formación se debe a diferentes razones dentro de las cuales se pueden encontrar: un ambiente interior con suficiente oxígeno y temperaturas entre 0°C y 60°C, idealmente entre 25 y 40°C; un sustrato apropiado; suficiente humedad en el ambiente o en los materiales de la construcción, esta última es la condición más importante para la formación de hongos debido a que el agua es un requisito esencial para el crecimiento de éstos. Generalmente la aparición de hongos surge inicialmente en habitaciones donde se produce alto nivel de humedad como baños y cocinas, sin embargo pueden ocurrir en otras habitaciones como en dormitorios que en la noche se produce y acumula gran cantidad de humedad debido a la mala ventilación.

Los hongos conllevan problemas a los edificios entre los cuales se pueden encontrar: deteriora los materiales orgánicos en los que crece tales como pinturas, siliconas, telas, etc.; pueden producir reacciones alérgicas a los ocupantes debido a la inhalación de componentes volátiles y esporas que abundantemente se presentan en el ambiente; tienen una desagradable apariencia que se asocian a sensaciones de inadecuado comportamiento higiénico; puede causar enfermedades si es absorbido por el cuerpo humano.

Una solución para prevenir la condensación es la aislación térmica de la envolvente de la edificación. Es conveniente aislar por el exterior para disminuir aún más el riesgo de generar condensaciones intersticiales, debido a que el muro se encuentra con una temperatura cercana a la interior, lo que ayuda a que no alcance la temperatura de rocío al interior. Al aislar la envolvente por la cara interior, el muro se encuentra más frío y el riesgo de condensación intersticial aumenta.

La ventilación, resulta como gran ayuda para mantener una calidad de aire interior aceptable y prevenir así la condensación y formación de hongos. Hay que tomar en cuenta que la ventilación es más efectiva cuanto más seco es el aire de admisión. La aislación térmica más una buena ventilación, podría eliminar por completo el problema de humedad por condensación.

2.5 Balance energético en viviendas

El balance energético muestra el conjunto de relaciones de equilibrio que contabiliza los flujos físicos por los cuales la energía se produce, se intercambia con el exterior, se transforma, se consume, entre otros. Todo esto calculado en la misma unidad dentro de una unidad de tiempo.

Las pérdidas y ganancias de energía se producen en una vivienda por tres caminos principales: paredes y tejado, ventanas y ventilación necesaria.

Cuando las pérdidas son iguales a las ganancias, es decir, que una edificación produzca la misma energía que consume, se le llama balance energético cero.

El sector de la edificación es responsable de cerca del 40% de las emisiones de dióxido de carbono que se producen en el mundo, es por esta razón que los edificios contribuirían a la sostenibilidad de las ciudades logrando un balance energético cero.

Cabe destacar que el 60% del consumo de los edificios suele deberse a climatización y agua caliente sanitaria, y el 28% a la iluminación. Es necesario que las distintas instalaciones actúen con la mayor eficiencia dentro de su propio campo de actuación, lo que permite destinar la energía consumida por el edificio justo donde se requiere y en el momento preciso. De esta forma se reducen las pérdidas de energía, consiguiendo el máximo rendimiento energético del edificio.

La demanda de energía se refiere a la cantidad de energía que se necesita para satisfacer las condiciones de confort, y el consumo energético es la cantidad de energía utilizada para satisfacer esa demanda, dependiendo del rendimiento del sistema. Como el rendimiento de los sistemas utilizados, por ejemplo en calefacción, tiene siempre un valor menor al 100%, el consumo será siempre mayor a la demanda de energía.

Se tiene un balance energético dentro de la edificación cuando las ganancias son iguales a las pérdidas bajo las condiciones de confort, esto quiere decir a una temperatura cercana a los 20°C, humedad relativa cercana al 50% y velocidad del aire menor a 1[m/s].

Las ganancias que se tienen son por electrodomésticos, por las personas y por ganancias solares, en cambio las pérdidas son mayores, las cuales son por ventilación, transmisión por muro y techo, pérdidas por ventanas y suelo e ingreso de aire.

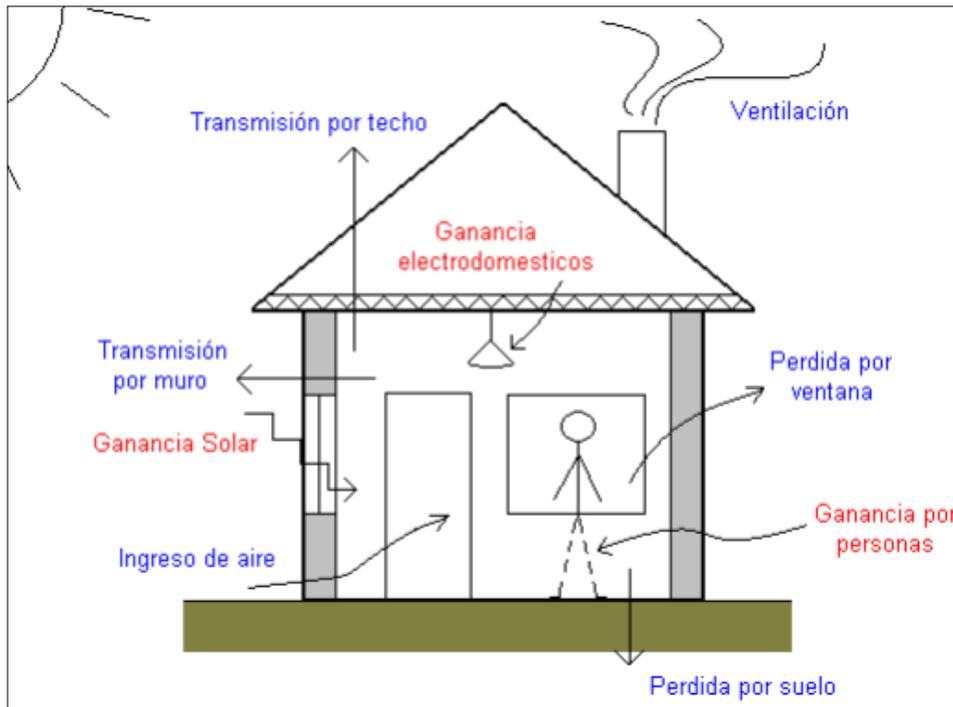


Figura 2.3: Ganancias y pérdidas

Fuente: Habitabilidad eficiente: aislación térmica y control de humedad

Una edificación ideal consiste en que toda la energía que se produce en su interior, se usa para todo lo que sea necesario sin tener que recurrir a energía externa. Hoy en día se trata que ocurra un mínimo de pérdida de energía calórica en cuanto a muros y ventanas.

En un edificio se consume energía de distintas maneras, las principales son iluminación, calefacción y refrigeración. La iluminación es el mayor consumo en las oficinas.

2.6 Infiltraciones

Se han hecho diversos estudios para definir la distribución de las fugas de aire en la envolvente de un edificio, en los siguientes puntos se puede observar el porcentaje de infiltración que presenta cada uno de ellos:

- Paredes: Representa el 18% al 50% del total de las fugas de aire a través de la envolvente. Se localizan básicamente en las uniones de los cerramientos, enchufes y paso de tuberías.

- Techo: Representan entre el 3% y 30% de las fugas, reducen la efectividad del aislamiento y contribuyen a la pérdida de energía.
- Sistema de ventilación: Representa entre el 3% y 28% de las fugas de aire, se trata de unidades de tratamiento de aire, sistemas de conducto de aire, rejillas de ventilación.
- Puertas y ventanas: Representan entre el 6% y 25% del total de fugas. La cantidad de aire infiltrado, depende del tipo de ventana.
- Chimeneas: Pueden llegar a suponer el 30% de las fugas de aire. Cuando existe y no se utiliza, se cierran de alguna forma para impedir la fuga de aire, aunque estos muchas veces no cierran completamente.
- Difusión de aire a través de la envolvente: Su influencia es muy pequeña, cercana al 1% del total ¹

2.6.1 Pérdidas de calor

Según la segunda ley de la termodinámica, el calor fluye de las zonas calientes a las zonas frías. En el edificio esto ocurre a través de la estructura: suelos, paredes, cubiertas, ventanas y puertas. Las principales pérdidas de calor se originan en las conducciones de muros e infiltraciones de aire.

Las pérdidas por conductividad ocurren debido a la falta o mala instalación del aislamiento, puentes térmicos excesivos, daños por humedad, pérdidas de calor a través de ventanas, conductos de calor dañados, líneas de agua, etc. Las pérdidas por filtración de aire son a través de un cerramiento. El paso de aire hacia el interior se le llama infiltración y el paso de aire hacia el exterior, exfiltración. Cuando se tiene un exceso de movimiento de aire se reduce de gran manera la integridad térmica y el rendimiento del cerramiento, lo que acarrea a un gran consumo de energía.

La energía contenida en un lugar caliente se pierde en primer lugar debido a que los materiales calientes en contacto con uno más frío les pasan el calor, la velocidad con que esto ocurre depende de la conductividad de cada material.

Cuando una superficie está caliente, el aire que entra en contacto con ella se calienta por conducción, éste se mueve y se lleva el calor con él hacia lugares más fríos y así le entrega el calor al aire más frío.

La pérdida total de calor en el edificio a través de su estructura se calcula como la suma de cada una de las pérdidas de suelos, muros, cubiertas, ventanas, puertas. Esta fórmula incluye los puentes térmicos de los principales elementos de suelos, muros y cubiertas, no así de los puentes térmicos de

¹Odriozola, Moisés: Cálculo y medida de infiltraciones de aire en edificios.

ventanas y puertas. Para minimizar la pérdida de calor, debe minimizarse el valor de U.

Para minimizar la infiltración de aire, se debe formar alrededor del edificio un revestimiento estanco

2.6.2 Blower door test

Las construcciones generalmente poseen una gran cantidad de fugas de aire en la envolvente. Ésta pérdida no controlada puede tener un gran impacto en la comodidad, calefacción y en los costos de refrigeración. Las fugas de aire pueden provocar cerca de un 25% de pérdida de calor en el edificio. Hay que considerar que tampoco se puede tener una construcción demasiado hermética. La envolvente del edificio debe transpirar, debe posibilitar que el aire en el interior o la humedad que existe en el interior de la fachada pueda difundir hacia adentro y hacia afuera de forma natural. Es por esta razón que es importante que la edificación sea estanca por el interior y ventilada controladamente.

Las fugas de aire se pueden medir con el Blower Door Test. Este sistema consiste en un potente ventilador con un controlador de velocidad el cual se sitúa en alguna puerta abierta al exterior. Se tiene un dispositivo el cual entrega las diferencias de presiones que hay entre el interior y el exterior de la casa. Tiene además un orificio calibrado para medir el flujo de aire que lo atraviesa. Los procedimientos de prueba son bastante sencillos y tardan entre 15 y 20 minutos en realizarse.

Este método abarca una técnica estandarizada para medir las fugas de aire en la envolvente del edificio mediante una controlada presurización o despresurización. Puede ser aplicado en una casa entera o separarla por zonas.

Para la localización de fugas de aire se realizan las pruebas sobre casas ya construidas, todas las aberturas exteriores, tales como puertas y ventanas tienen que estar cerradas, y las puertas interiores abiertas. Cuando el ventilador se encuentra en funcionamiento, éste extrae el aire exterior al interior (presurización), o viceversa (despresurización). El criterio a utilizar es que el volumen de aire bajo la presurización no sea renovado más de 3 veces por hora. El motivo por un lado es para evitar la pérdida energética por la salida excesiva de calor y por otro evitar que el aire caliente y húmedo salga del interior del edificio y condense en la envolvente del edificio pudiendo crear condensaciones intersticiales nocivas para el cerramiento del edificio.

Encontrar dónde están las fugas consta en saber cuáles son los lugares donde generalmente se escapa el aire. Éste puede penetrar por uniones de

elementos constructivos con instalaciones, pasos de tubos y cables, juntas de puertas y ventanas, uniones de materiales y elementos de cerrajería y carpintería en general. Ubicarlos se puede realizar simplemente en poner las manos donde se encuentren las uniones antes mencionadas, como también puede usarse un generador de humo o toma de imágenes termográficas.

Generalmente se utiliza la prueba de despresurización. Se pueden realizar pruebas de diferencias de presión que van entre los 4 y 60 Pa, dentro de las más importantes se encuentran el flujo de aire en pies cúbicos por minuto (CFM) para una diferencia de presión de 50 Pa, número de veces por hora que el volumen interior de aire se sustituye con el aire exterior con una diferencia de presión de 50 Pa (ACH) y área equivalente de infiltración a 10 Pa.

Es necesario anotar observaciones generales del edificio, como hacer un pequeño bosquejo de éste y anotar donde están ubicados las puertas, ventanas y posibles lugares por donde puede encontrarse la fuga. Es necesario hacer un reporte con las temperaturas iniciales y finales antes y después del test, la ubicación de la edificación, la altura sobre el nivel del mar y condiciones bajo las cuales fue realizado el test, para esto se encuentra disponible una planilla para llenar la cual fue obtenida de RetroTec.

Tabla 2.5 : Rangos de resultados del blower door test

Unidad	Hermético	Moderado	Permeable
CFM a 50 Pa	Menos de 1.500 CFM/50	Entre 1.500 y 4.000 CFM/50	Sobre 4.000 CFM/50
ACG a 50 Pa	Menos de 5 ACH/50	Entre 5 y 10 ACH/50	Sobre 10 ACH/50
ENIR	Menos de 0,35 ACH	Entre 0,35 y 1 ACH	Sobre 1 ACH

Fuente: Elaboración propia

Se adjunta una imagen a continuación del blower door test insertado en una puerta para la realización del ensayo.



Figura 2.4: Blower door test
Fuente: www.retrotec.com

2.7 Puentes térmicos

Los elementos que pueden formar parte de la envolvente térmica son: cubiertas, suelos, fachadas, medianerías, cerramientos en contacto con el terreno y particiones interiores. Al realizar un recorrido por toda la envolvente nos podemos encontrar con algunas interrupciones en su geometría, lo que ocasiona un aumento extra de las pérdidas energéticas que se producen en la envolvente. Estas zonas se denominan puentes térmicos.

El puente térmico se produce cuando existe una brecha entre los materiales y las superficies estructurales. Los principales puentes térmicos se pueden encontrar en las uniones de los muros con el piso, revestimientos y paredes transversales, revestimientos y techos y revestimientos y pisos bajos entre otros, estos son los llamados puentes térmicos estructurales.

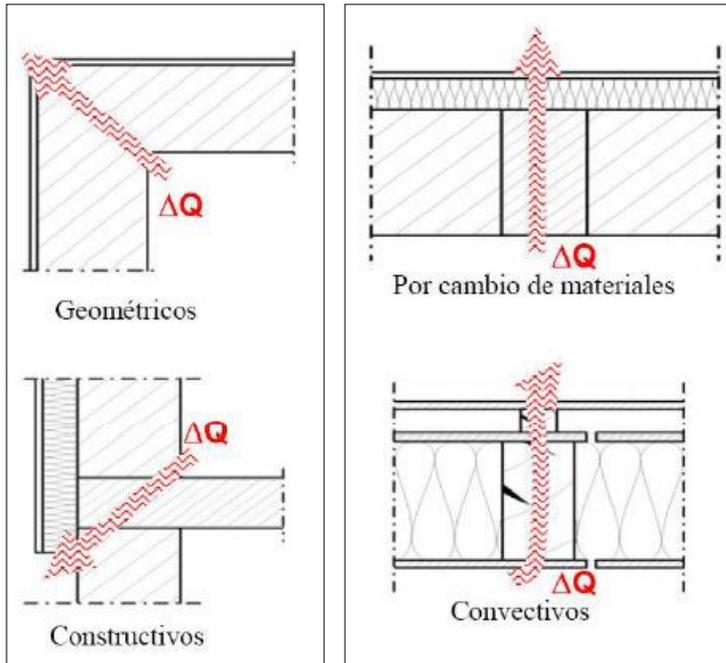
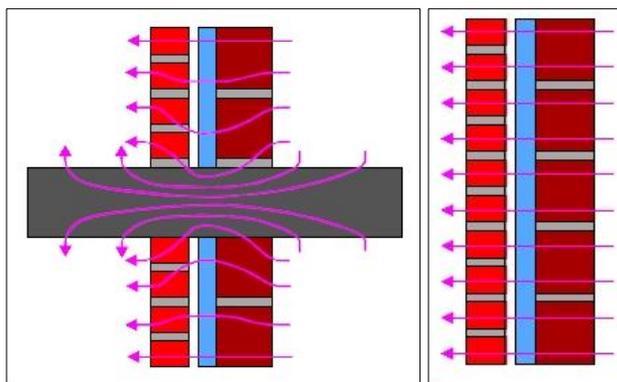


Figura 2.5: Encuentros de puentes térmicos
 Fuente: Magíster de Eficiencia energética Universidad Mayor

El calor fluirá el camino más fácil desde el espacio caliente al exterior, seguirá el camino de la menor resistencia, esto no necesariamente será la trayectoria perpendicular a las superficies. Generalmente el calor fluirá a través de un elemento con conductividad mucho mayor que el material circundante. En la figura 2.6 (a) se observa como el flujo de calor se mueve con puente térmico, en comparación con la figura 2.6 (b) en el cual no ocurre.



(a) (b)
 Figura 2.6: Flujo de calor
 Fuente: <http://www.scalofrios.es>

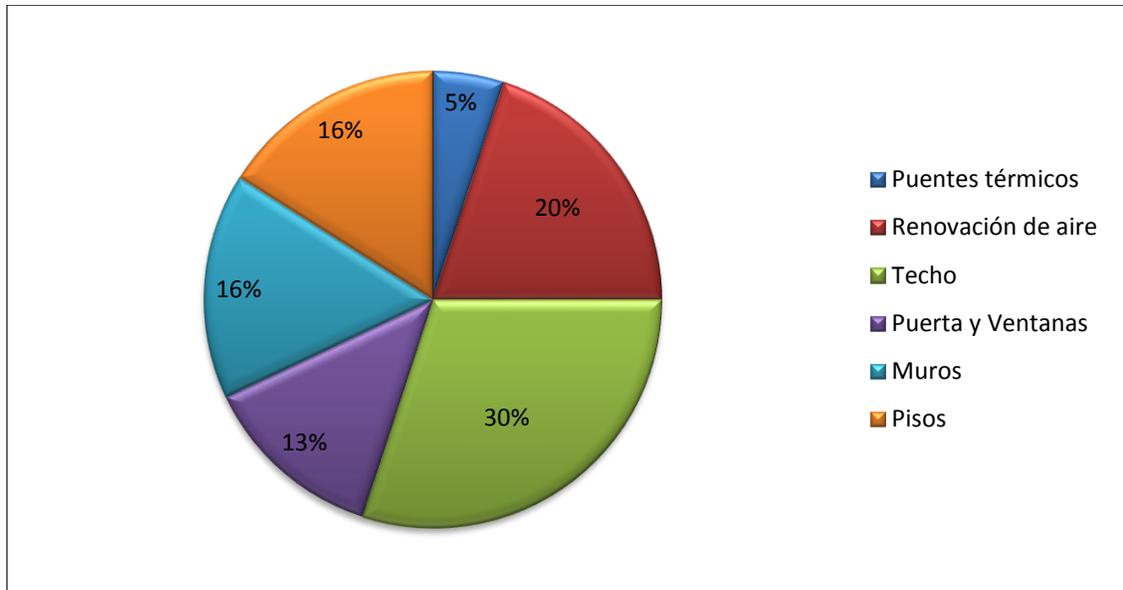


Figura 2.7: Pérdidas por puentes térmicos

Fuente: <http://www.isover.com>

Como se observa en la figura anterior, el 75% de las pérdidas en un edificio no aislado corresponde a las pérdidas de superficie: ventanas, puertas, techos, muros y pisos; el 5% de las pérdidas ocurren debido a los puentes térmicos; el 20% restante se pierde en las renovaciones de aire.

Los puentes térmicos se pueden evitar a través de una adecuada composición estructural y mediante el aislamiento de los puentes térmicos existentes. Esto resulta importante no sólo para el ahorro de energía y reducción de costos, sino también por el aumento de vida del edificio. Mientras mayor es el aislamiento de la edificación, más importancia toman las pérdidas energéticas producidas por los puentes térmicos.

Existen distintos tipos de puentes térmicos, los más comunes son los de dos dimensiones y se conocen como puentes térmicos lineales, los que se forman en las uniones de dos o más elementos edificatorios o donde la composición estructural de un elemento cambia de forma. Esto conlleva un cambio en el flujo de calor y por lo tanto cambio en la temperatura superficial del elemento.

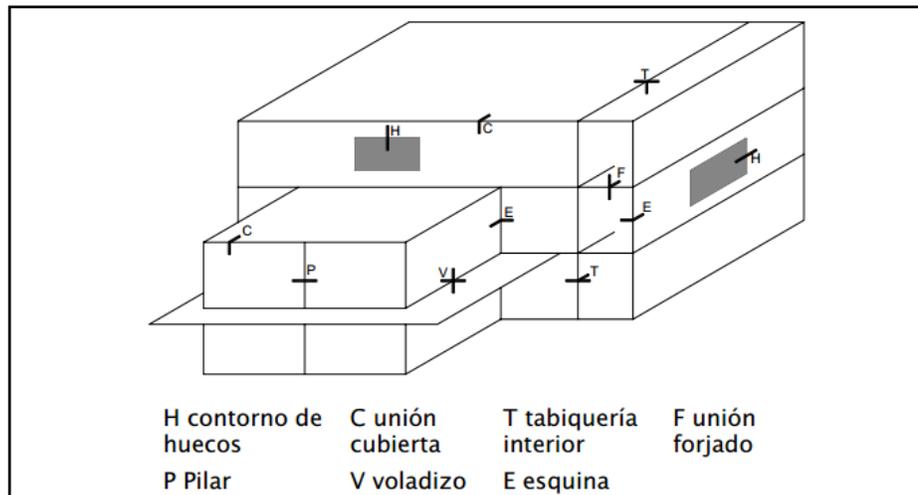


Figura 2.8: Localización puentes térmicos lineales
Fuente: ISO/DIS 14683:2005

Además se pueden encontrar los puentes térmicos tridimensionales o puntuales, los cuales se forman cuando un cerramiento aislado térmicamente es perforado por otro elemento con alta conductividad térmica o la intersección de tres esquinas.

Existen hoy en día 3 formas para poder evaluar los puentes térmicos.

2.7.1 Ensayos de laboratorio

Al realizar la determinación de la transmitancia térmica lineal o puntual del puente térmico en laboratorio, se utilizan métodos de ensayos normalizados en dos elementos del edificio idénticos, uno con y el otro sin puente térmico. La aplicación de este método está limitada a elementos de edificio los cuales se puedan ensayar bajo estas circunstancias.

2.7.2 Ensayos in situ

Estos ensayos evalúan la temperatura ambiente y de la superficie de las dos caras del elemento edificatorio. Hay que tomar en cuenta que debido a la humedad, aire o velocidad del viento estas temperaturas no son constantes, por esta razón los resultados que se obtienen son significativos a partir de medidas tomadas a largo plazo.

La temperatura y grado de humedad del ambiente exterior se deben medir durante periodos mínimos de un mes, al igual que la temperatura interior preferentemente esta toma debe hacerse en otoño. Para la temperatura

superficial se debe medir en ciertos puntos críticos y relevantes de la superficie interior durante al menos dos semanas.

2.7.3 Métodos disponibles y precisión esperada para el cálculo de la transmitancia térmica lineal, Ψ

Los dos métodos anteriores resultan ser bastante costosos y laboriosos y solo se utilizan en proyectos importantes o para validar cálculos informáticos de simulación. Además se ha descubierto que para detalles constructivos sin cavidades, los resultados de cálculos numéricos y ensayos resultan bastante parecidos.

En un principio cuando aún no se tienen los detalles, pero sí el tamaño y forma principal del edificio, se puede hacer una estimación de los puentes térmicos sobre el total de la pérdida de calor utilizando los valores por defecto de la transmitancia térmica lineal Ψ .

Luego al tener los detalles a grandes rasgos, los valores de Ψ se pueden obtener con mayor exactitud para cada puente térmico lineal al comparar el detalle con la solución del catálogo que mejor se adapte. Finalmente cuando se conocen los detalles, se podrán utilizar todos los métodos para calcular Ψ .

Se tienen los siguientes métodos y sus respectivos márgenes de error:

2.7.3.1 Método numérico -5%

El método numérico consiste en utilizar los valores entregados por algún programa, por ejemplo THERM y utilizarlos en calcular las pérdidas mediante las fórmulas que se explican en el punto 2.2.

2.7.3.2 Catálogo de soluciones - 20%²

Las soluciones constructivas de los catálogos no son muy precisas debido a que son determinadas a partir de parámetros fijos como los materiales y dimensiones de las edificaciones. Generalmente no se encuentran los mismos ejemplos en los catálogos con los de las edificaciones reales, al aplicar el valor real de Ψ se introduce una exactitud con relación al detalle real, sin embargo si los ejemplos del catálogo son muy similares a los del detalle se pueden usar los valores de Ψ de éste. El catálogo deberá tener: una guía clara de cómo derivan los valores de Ψ ; dimensiones del detalle y valores de la transmitancia térmica de las partes térmicamente homogéneas del detalle; las resistencias de la superficie interna y externa que se

² El catálogo de la norma europea se puede encontrar en la norma prEN ISO 14683

utilizan para los cálculos de los valores dados. Los ejemplos de los catálogos aportan ejemplos útiles a diseñar cuando aún no se tienen los detalles de los puentes térmicos plenamente realizados.

2.7.3.3 Manual de cálculo - 20%

Existe una gran variedad de manuales de métodos de cálculo para ser utilizados en calculadoras o en programas computacionales. La mayoría de los métodos de cálculo se aplican solamente para un tipo específico de puente térmico, por lo que para ese caso ese manual puede ser muy exacto pero fuera de ese, inexacto. El manual deberá contener: detalles de los tipos de construcción a los cuales se aplica; límites dimensionales para los cuales es válido el método; límites de la conductividad térmica de los materiales utilizados; valores de la resistencia superficial para ser utilizada; estimación de la exactitud.

2.7.3.4 Valores por defecto - 0 a 50%

Estos valores se rigen de la norma EN ISO 14683, se pueden encontrar valores para alrededor de 50 puentes térmicos lineales, valores que pueden utilizarse para cuando no hay detalles disponibles para el puente térmico en particular o cuando no se requiere de un valor exacto para la evaluación total de la pérdida de calor y basta con una estimación aproximada. Estos valores por defecto se han obtenido con la ayuda de cálculos numéricos y se basan en el modelo numérico bidimensional de acuerdo con la norma EN ISO 10211-2. Estas tablas se presentan en dibujos esquemáticos del puente térmico y su valor de Ψ . Para cada tipo de puente térmico se simulan cuatro situaciones, dependiendo de la situación del aislante térmico, la capa con mayor resistencia térmica: en la capa exterior, en la cara interior, en el interior del cerramiento o la cuarta hipótesis se refiere al caso sin la capa de aislamiento típica, sino en la que el cerramiento en su totalidad está construido con un material de ciertas propiedades aislantes.

Se utilizará el software THERM, el cual calcula el flujo de calor en 2 dimensiones en régimen estacionario. No solo sirve para el cálculo de puentes térmicos, sino también para calcular características térmicas de huecos, marcos y sistemas de acristalamiento. Los resultados que entrega son: líneas de temperatura constante (líneas isotermas), caminos preponderantes seguidos por el calor (vectores de flujo), simulación de temperaturas mediante escalas de colores (infrarrojo) y transmitancias térmicas (factores U).

2.7.4 Cámara termográfica

Para el siguiente trabajo se utilizará una cámara infrarroja marca FLIR, la cual es un dispositivo con la capacidad de formar imágenes visibles a partir de las emisiones en el infrarrojo medio del espectro electromagnético emitida de los cuerpos detectados, transformándola en imágenes luminosas para ser visualizadas por el ojo humano. La energía infrarroja que proviene de un objeto se hace converger, por medio de la óptica, sobre un detector de infrarrojo, el cual envía la información al conjunto sensor electrónico para que se procese una imagen. El conjunto electrónico utiliza los datos que provienen del detector para crear una imagen que puede ser vista en el monitor. Esto nos permite leer los valores de temperatura de un objeto a partir de una imagen, todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación de cuerpo negro en función de su temperatura, los objetos con mayor temperatura emiten más radiación infrarroja que los que poseen menor temperatura.

Las imágenes se pueden ver en colores, pero éstos no corresponden a la radiación infrarroja percibida, la cual es monocromática, los cuales son para mayor facilidad de interpretación. Estos falsos colores se designan con el azul para las partes más frías y de color rojo las más calientes.

La termografía permite tomar medidas correctivas antes que se produzcan fallos costosos en un sistema debido a su factibilidad de poder detectar anomalías que con frecuencia son invisible a simple vista. La imagen térmica es un método sencillo y rápido que permite detectar pérdidas de energía en los edificios, carencia de aislamiento, sistemas ineficientes de calefacción y ventilación y aire acondicionado para poder así diagnosticar adecuadamente las áreas donde se producen dichas pérdidas.

En el caso estudiado de las fugas de aire, la ruta de escape de éste generalmente es muy compleja y con la ayuda de la proyección de imágenes térmicas se obtiene una mayor facilidad de visualizarlas y poder así detenerlas.



Figura 2.9: Cámara termográfica
Fuente: www.flir.com

A continuación se adjunta ver una foto tomada en una de las pruebas de la cámara, muestra el marco de una ventana y las distintas opciones que pueden obtenerse de las fotos.

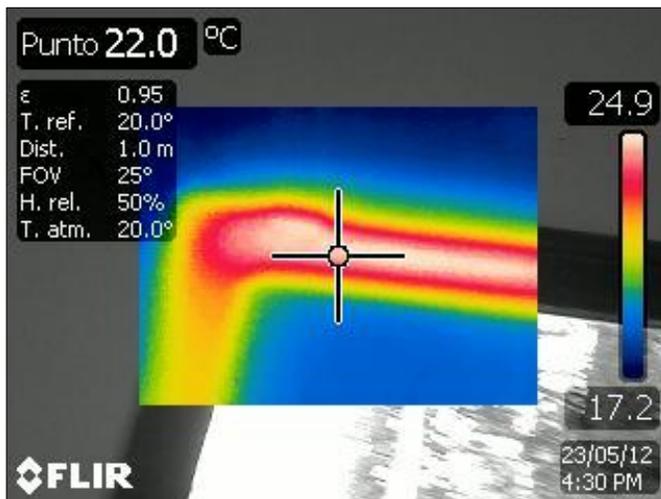


Figura 2.10: Imagen termográfica
Fuente: Elaboración propia.

2.8 Proyecto arquitectónico

La edificación que será acondicionada, corresponde a una casa oficina del año 1930 aproximadamente, ubicada en Federico Froebel 1740 en la comuna de Providencia, Santiago.

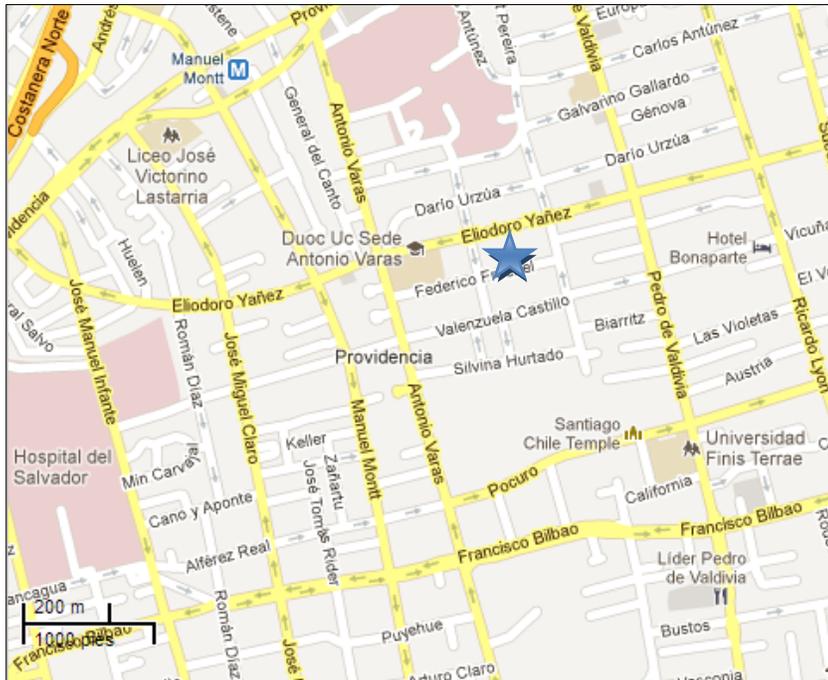


Figura 2.11: Ubicación de la edificación

Fuente: maps.google.cl

En la actualidad la casa tiene alrededor de 220 m² en el primer piso, en el cual se encuentran 3 habitaciones y una cochera, las cuales se utilizan como oficina y sala de reuniones, un hall recibidor, 2 baños y una cocina. La casa tiene también un segundo piso y un subterráneo. El piso de abajo tiene una altura de 2.9 metros. A continuación se adjunta un resumen con los datos de la casa.

Tabla 2.6: Dimensiones de la edificación

Área	Poniente [m ²]	Sur [m ²]	Oriente [m ²]	Norte [m ²]
Fachada	60.5	38.0	60.5	38.0
Muros	49.4	36.1	54.7	22.1
Ventana	8.7	1.9	5.8	15.9
Puerta	2.4	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

El estudio de infiltración se realizará para el primer piso, debido a que el segundo piso tiene una oficina de otra empresa. Los datos de la tabla 2.5 consideran solo la fachada del primer piso.

A continuación se puede observar un plano de planta de la oficina.

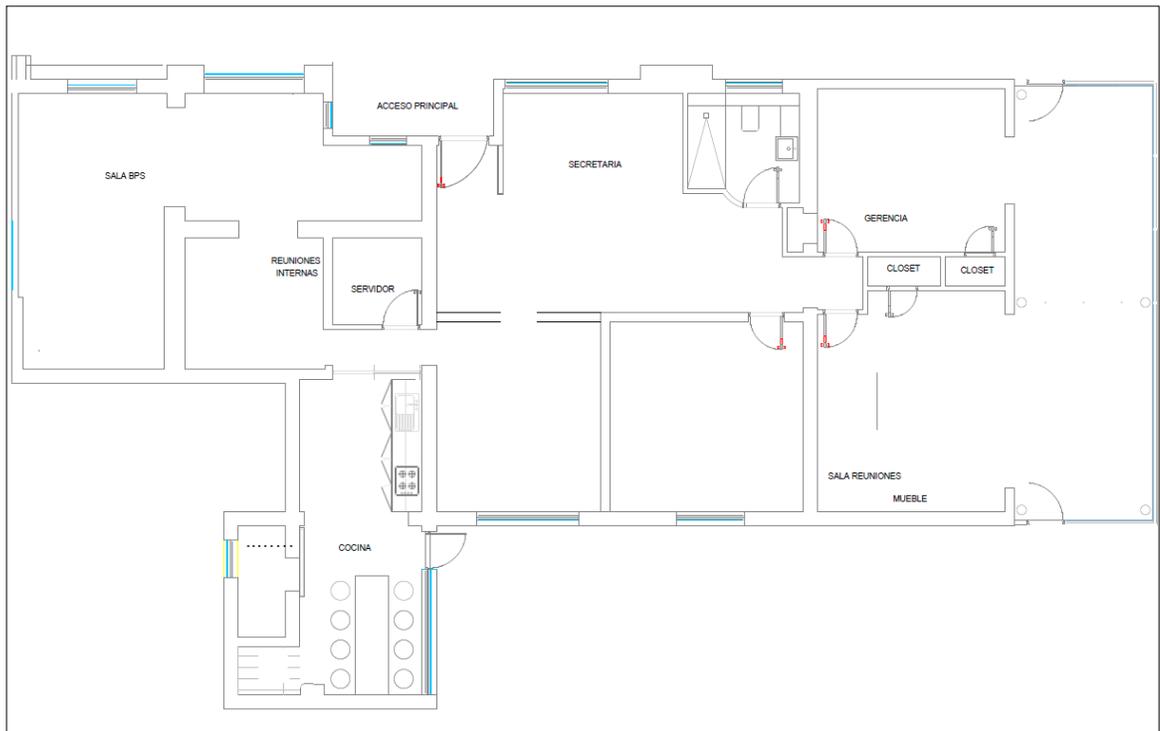


Figura 2.12: Plano edificación
Fuente: Energyarq

A continuación se adjuntan imágenes de elevación de la oficina tomadas un día de verano en la mañana.



Figura 2.13: Vista frontal de la casa (Sur)
Fuente: maps.google.cl



Figura 2.14: Vista del patio trasero (Norte)
Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.15: Vista este
Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.16: Vista oeste
Fuente: Elaboración propia.

Debido a que se trata de una casa muy antigua, esta debería presentar un nivel de estanqueidad bajo, ya que los materiales tienen una cierta vida útil, y es por esta razón que por ejemplo los marcos de las ventanas, de madera, ya no cierran perfectamente, dejando así gran paso al movimiento de aire entre el interior y el exterior.

Se muestra a continuación una foto tomada a la ventana del baño del muro oeste, se observa que el aire entra por abajo del marco de la ventana y por el marco del vidrio.



Figura 2.17: Acercamiento a ventana
Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento climático de una edificación no solo depende de su diseño, también está influenciado por su ubicación y existencia de accidentes naturales o artificiales que crean un microclima que se ve afectado por el viento, humedad y radiación solar que pueda recibir.

Debido a la ubicación de la casa, el sol empieza a llegar directamente a ésta a partir de las 10:30 am en verano, el cual permanece sobre la casa hasta las 19:00 pm aproximadamente.

La foto que se muestra a continuación representa la ventilación que tiene el pequeño subterráneo hacia la sala de espera de la oficina de Energy Arq, es un canal bastante grande por donde puede entrar y salir aire en grandes cantidades.



Figura 2.18: Ventilación subterráneo
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 3 Metodología

Se estudiará a través de la bibliografía los temas de calor, puentes térmicos y blower door test, para poder comprenderlos mejor y lograr aprovechar al máximo de los equipos a utilizar. Se estudiarán distintas formas para medir los puentes térmicos: Método numérico y Análisis de elementos finitos. Cada uno de ellos se estudiará para encontrar el mejor resultado.

Primero se hace una inspección visual de la casa para ver las condiciones en las cuales se encuentra ésta, ubicando tentativamente los lugares donde se podrían ubicar las principales infiltraciones de aire.

También se dispone de un Blower door test, el cual mide la impermeabilidad al aire de una construcción, para poder prevenir patologías como condensaciones de flujos de humedad que penetran al interior de la oficina por las juntas, además de la disminución de aire frío en invierno que entra a la habitación.

Se utiliza una cámara termográfica para ubicar las zonas donde se escapa mayoritariamente el calor de la envolvente de la edificación mientras se utiliza el Blower door test y sin él.

Las primeras mediciones se harán en invierno, debido a que se tienen las temperaturas más bajas en ese momento para poder calcular las diferencias. Luego se harán unas segundas mediciones en verano, para corroborar los cálculos realizados anteriormente.

3.1 Metodología de medición

Para estudiar el comportamiento de la edificación se realizarán mediciones y estudios a la oficina base, es decir sin algún tipo de intervención. Para ello primero se estudiará como utilizar los métodos escogidos y todo lo que se requiere para su medición.

En muros perimetrales se presentará la solución constructiva para aislación continua con EIFs, el cual se colocará por el exterior de la edificación con un espesor de 5 cm.

Se deben considerar los siguientes aspectos físicos de la casa oficina:

- Ubicación geográfica.
- Orientación del edificio respecto a estructuras próximas que tengan efectos de sombra.
- Dimensiones: largo, ancho y alto.
- Ventanas: dimensiones y situación; marcos y cristales.
- Puertas: dimensiones y situación.

La ubicación geográfica está descrita en el punto 2.7, al igual que la orientación del edificio; el resto de las propiedades físicas se pueden observar en el plano adjunto en el Anexo B.

Los cálculos a realizar serán respaldados de acuerdo la norma Chilena NCh 853 Of2007, “Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios- Cálculo de resistencias y transmitancia térmica”.

Para realizar las mediciones es necesario usar el blower door test primero para calcular la tasa de cambio de aire y las infiltraciones de aire, luego se realizarán escantillones los cuales serán interpretados con THERM para obtener los valores U y luego así realizar los cálculos de pérdidas de energía calórica mediante las fórmulas expuestas en el punto 2.2.

3.2 Infiltración

Se medirá la infiltración en la casa base 2 veces, por el método del Blower Door test. Para realizarlo se escoge un día de invierno y uno de verano, los días escogidos son el 28 de Junio del 2012, con una temperatura mínima de 7°C y temperatura máxima de 11°C en Santiago. Las mediciones se hicieron a las 11:45 am, momento en el cual había 8°C en el exterior de la casa oficina.

La segunda medición se hizo el 1 de Marzo del 2013, a las 15:00, con una temperatura exterior de 29°C. La temperatura máxima en Santiago fue de 30°C y la mínima de 12°C.

Para las mediciones se necesita lo siguiente:

- Ventilador o blower
- Marco para puerta
- Panel flexible
- Medidor de presión
- Manómetro de flujo de aire
- Mangueras para medir el flujo de aire

Los equipos para realizar la prueba de hermeticidad necesitan estar calibrados para medir la cantidad de aire que el ventilador empuja hacia el exterior de la

estructura. Si sólo se quiere localizar los escapes se puede utilizar un equipo sin calibrar.

Para realizar las mediciones se siguen los pasos descritos en el Anexo C. Como se observa en los pasos descritos en el anexo, primero se debe escoger la puerta en la cual se instalará el ventilador, hay que verificar que éste pueda quedar dentro del marco de la puerta. A continuación se coloca el marco y el panel en la puerta escogida, en el cual se inserta el ventilador en una apertura redonda ubicada en la parte baja del panel.

Hay que verificar que todas las puertas que dan al exterior estén cerradas, y las que están en el interior que queden abiertas; cerrar todas las ventanas y en caso de tener chimenea tapparla y cerrarla para que no haya flujo de aire; tener cuidado que no hayan elementos sueltos cerca del lugar donde se colocará el ventilador para que obstruyan el paso o sean absorbidos por éste.

Una vez colocado el ventilador en el marco se procede a instalar las mangueras, una va hacia el exterior y otra va al ventilador. Al encender el ventilador el manómetro mide la diferencia de presión que hay entre el interior y el exterior de la edificación, también puede medirse el volumen de aire que se mueve a través del ventilador en pies cúbicos por minuto (cfm).

Se calibra el ventilador a 50 Pascales de presión y se deja funcionar para que se logre esta presión inducida. El manómetro medirá la diferencia de presión entre el interior y exterior de edificio y el volumen de de aire que se mueve. También se puede la tasa de cambio de aire por hora.

Se utiliza una diferencia de presión de 50 Pa debido a que es lo suficientemente baja como para que pueda ser alcanzada por un equipo estándar de Blower-door, y es lo suficientemente alta como para que los resultados sean independientes con respecto a las condiciones ambientales.

Una vez determinada la tasa de cambio de aire, se procede a identificar dónde ocurre la infiltración de aire. Esto puede realizarse con una cámara de imágenes térmicas infrarroja, también se puede verificar con un incienso viendo cómo se mueve el humo colocado por ejemplo en el marco de la ventana. Otra forma para ver dónde ocurren las infiltraciones es arrastrar las manos cerca de la pared para sentir los flujos de aire que ocurren en las infiltraciones.

La imagen siguiente muestra el verificador, en el cual se obtienen los valores que entrega el blower door.



Figura 3.1: Verificador de datos
Fuente: <http://www.retrotec.com>

A continuación se observa el blower door puesto en la puerta principal de la casa para la segunda medición.



Figura 3.2: Blower door instalado
Fuente: Elaboración propia

Con la cámara se pueden observar variaciones de temperatura en la superficie a analizar y se pueden obtener sus imágenes digitales. Los lugares comunes para buscar fugas son las ventanas, puertas exteriores, a lo largo de los zócalos, cerca de los áticos, vigas, chimeneas, ventiladores, enchufes, etcétera.

3.3 Desarrollo escantillones

Para el desarrollo de los escantillones se utilizará el programa AUTOCAD 2011. Se realizan 4 escantillones en los cuales se muestra el detalle final con el aislante incorporado. Los escantillones desarrollados son los siguientes:

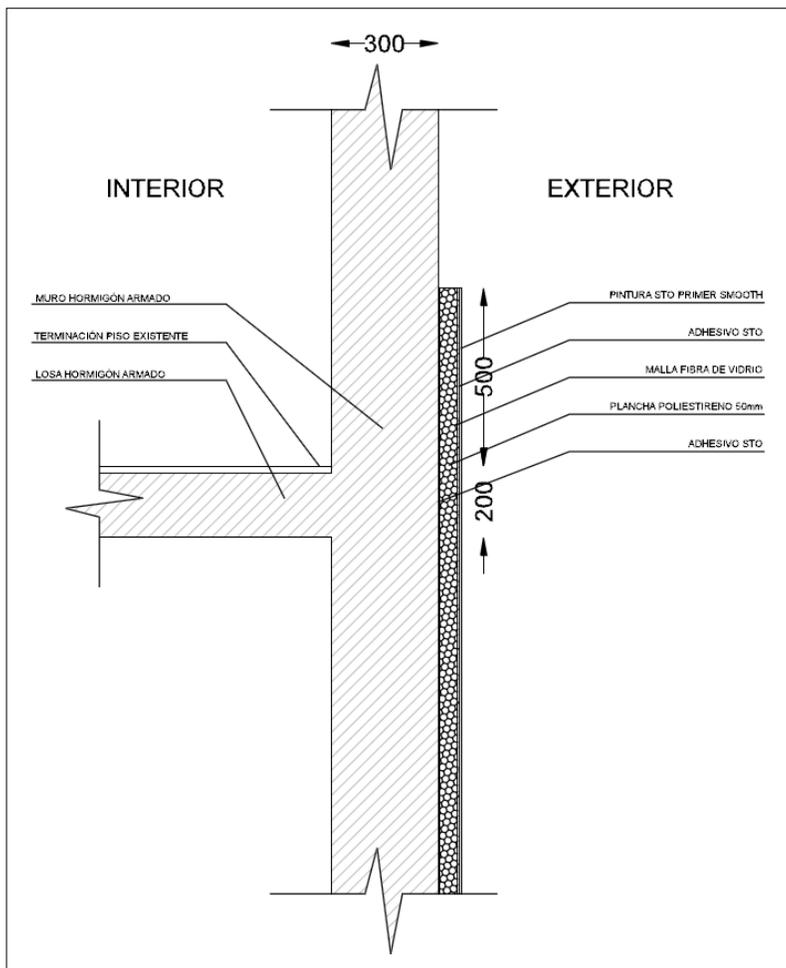


Figura 3.3: Detalle 1
Fuente: Elaboración propia

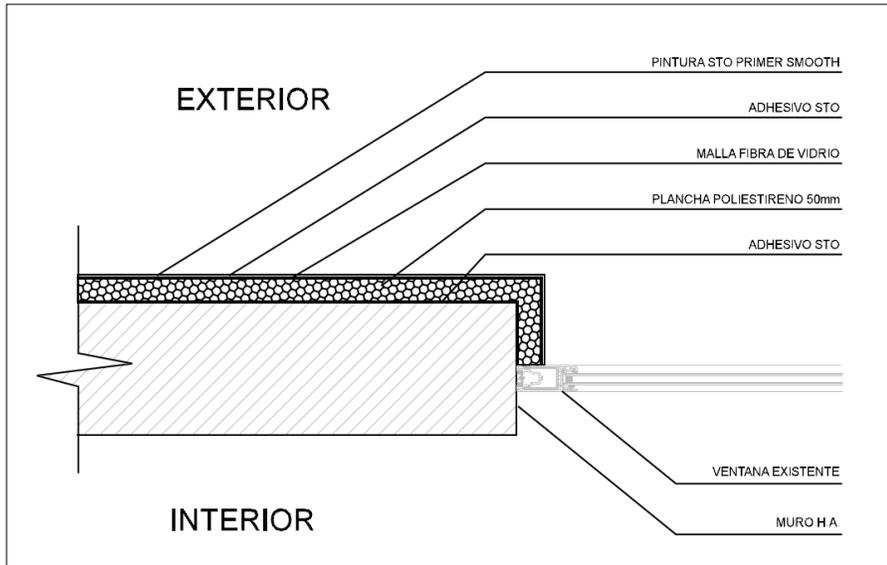


Figura 3.4: Detalle 2
Fuente: Elaboración propia

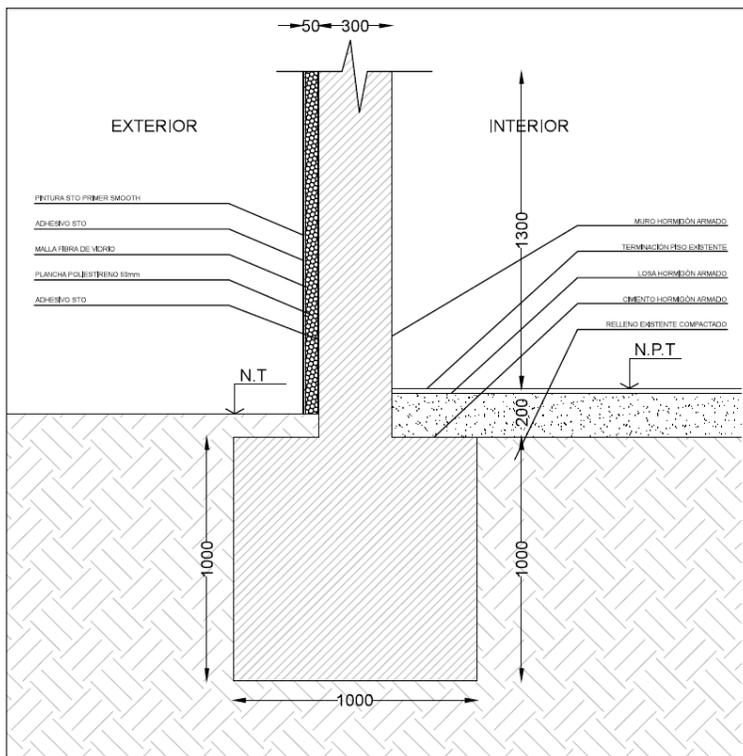


Figura 3.5: Detalle 3
Fuente: Elaboración propia

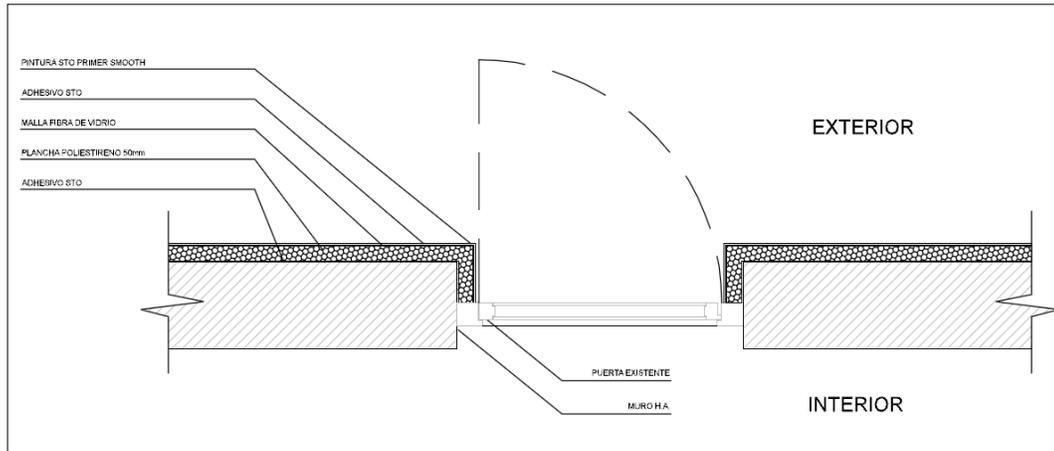


Figura 3.6: Detalle 4
Fuente: Elaboración propia

3.4 Análisis elementos finitos (THERM)

Para el análisis de los puentes térmicos a través de elementos finitos se analizarán 3 situaciones para cada escantillón: sin aislación térmica, con aislación térmica por el interior y con aislación térmica en el exterior.

Para la realización de estos se utilizan los escantillones realizados en AUTOCAD y se usan como guía para dibujar en el programa THERM. Una vez dibujados, se les proporcionan a ellos las propiedades de cada material: Hormigón y Sistema EIFs con las siguientes propiedades:

Tabla 3.1: Propiedades de materiales

Material	Conductividad [W/m ^o K]	Emisividad	Color
Hormigón ³	0.8	0.9	Gris
Sistema EIFs	0.04	0.9	Amarillo
PVC	0.2	0.84	Verde
Tierra	1.2	0.95	Café claro
Puerta	0.13	0.9	Café

Fuente: Elaboración propia

³ Densidad de hormigón a utilizar de 1800 kg/m³.

Para las ventanas se utiliza el programa WINDOW 6 en el cual se crea la ventana correspondiente, en este caso se utilizará una ventana Pilkington low-e como se muestra a continuación.

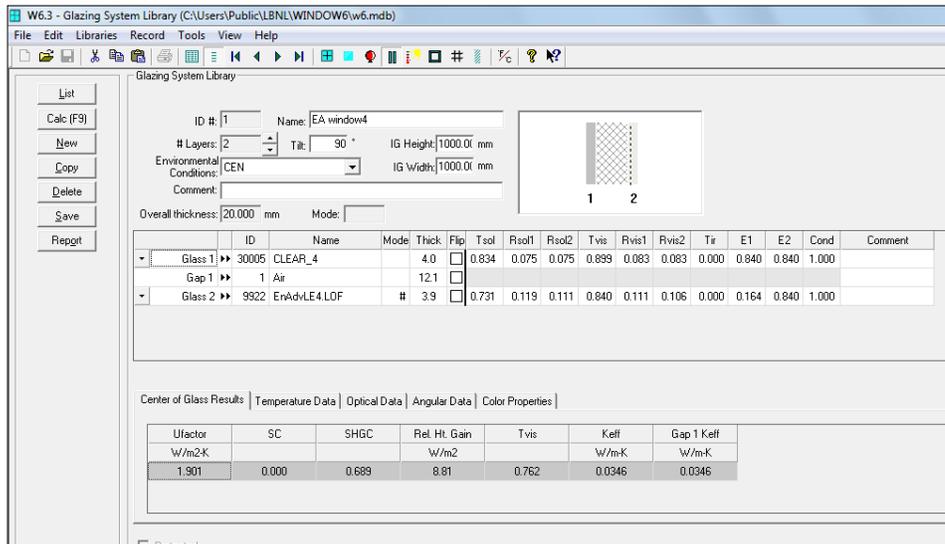


Figura 3.7: Ventana de WINDOW 6
Fuente: Elaboración propia

Esta ventana es insertada en el THERM y posterior a esto se le aplican las siguientes condiciones de borde:

Tabla 3.2: Condiciones de borde

Condición de Borde	Temperatura [°C]	Coefficiente de transmisión de calor [W/m ² °K]	Color
Exterior	0 °C	25	Rojo
Interior	20 °C	7,7	Verde
Interior no aislado	10 °C	7,7	Naranja
Tierra	14 °C	20	Café

Fuente: Elaboración propia

Para definir las temperaturas a utilizar se impone una temperatura menor de invierno de 0°C en el exterior de la oficina. La norma dice que para el interior de la vivienda debe haber por lo menos 15°C para que sea confortable, pero usaremos 20°C debido a que se trata de una oficina en la cual hay más de 20 personas en el interior trabajando con computadores. La condición de borde de interior no aislado es para el segundo piso de la oficina y para el caso no

aislado, que se espera que tenga un valor cercano a 10°C debido a que no tiene algún tipo de aislación térmica. A continuación se muestran los 3 tipos distintos a analizar.

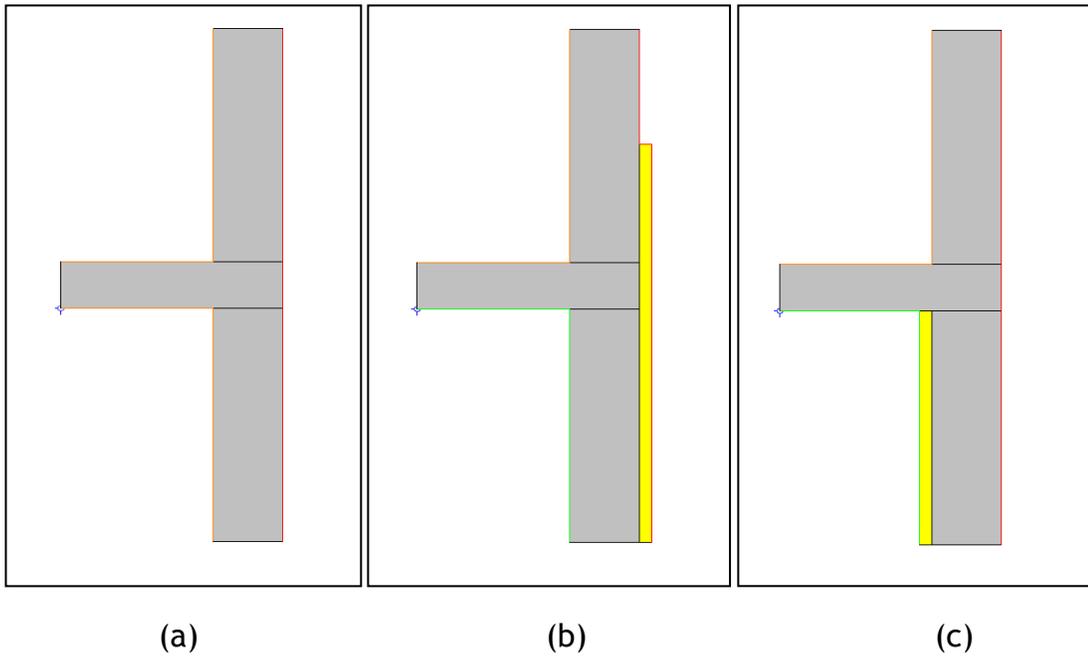
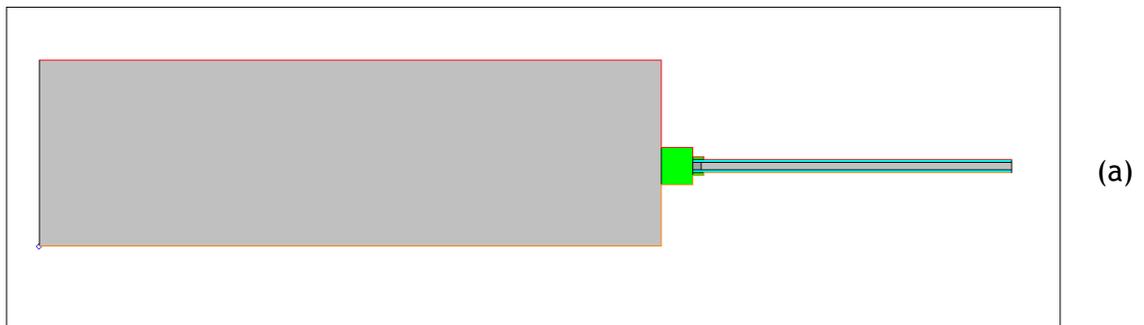


Figura 3.8: Escantillón 1 para analizar en THERM
Fuente: Elaboración propia

El escantillón 1 corresponde al muro exterior con la unión de la losa del segundo piso. Se considera en la figura 0.3 (b) que la aislación térmica continúa hasta el segundo piso 50 centímetros.



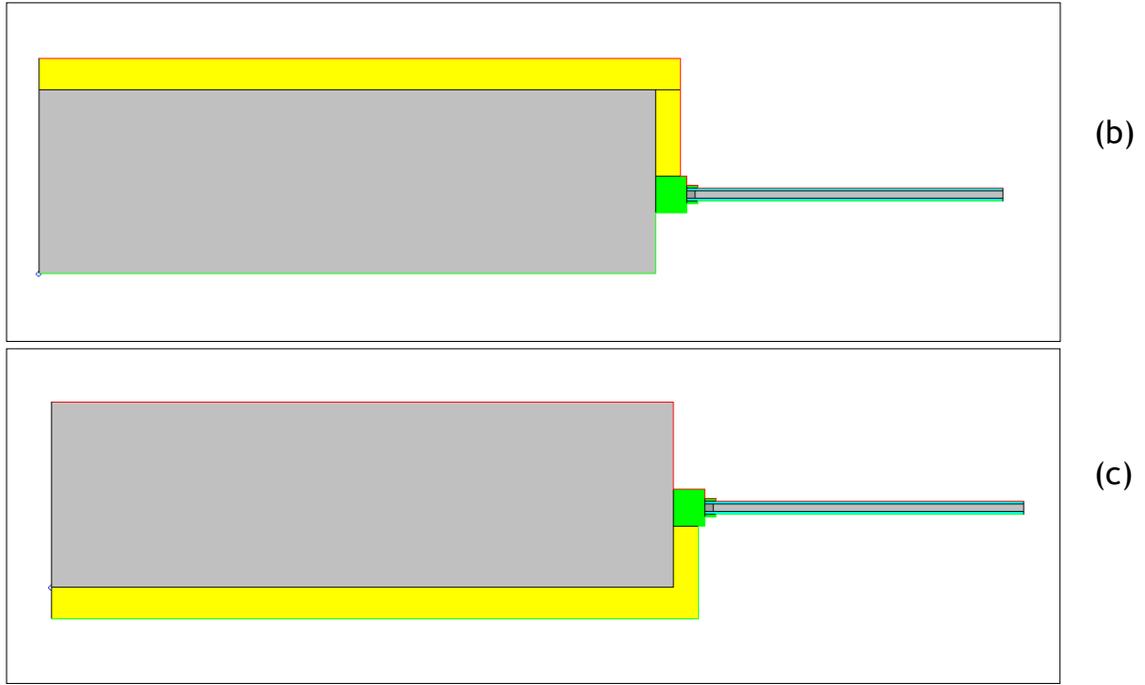
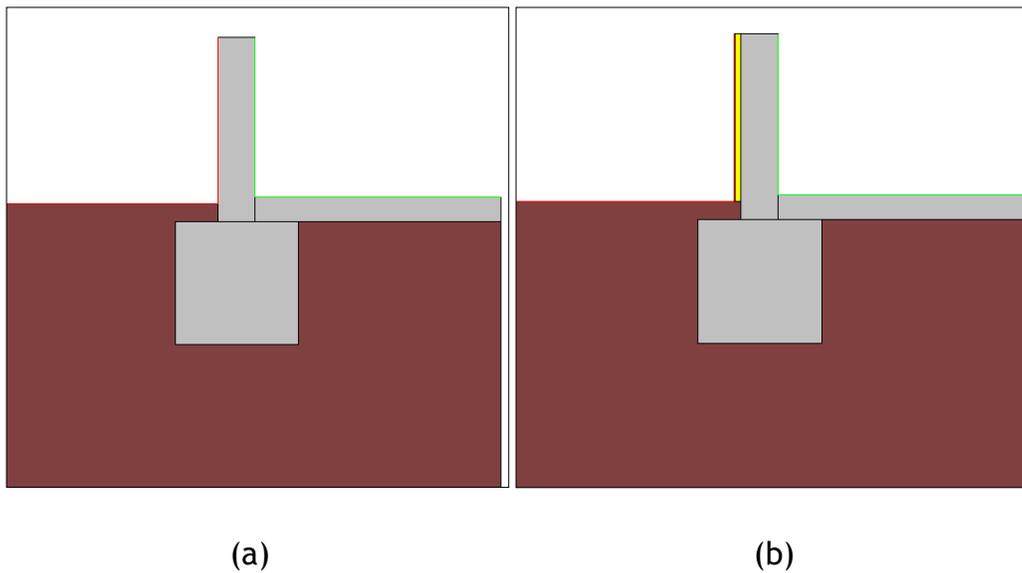
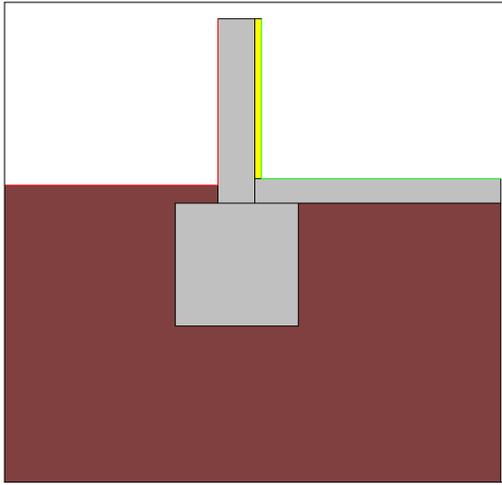


Figura 3.9: Escantillón 2 para analizar en THERM
 Fuente: Elaboración propia

El escantillón 2 corresponde a la unión de muro con ventana, en la cual se inserta la ventana Pilkington low-e desde WINDOW 6, con un marco de PVC.

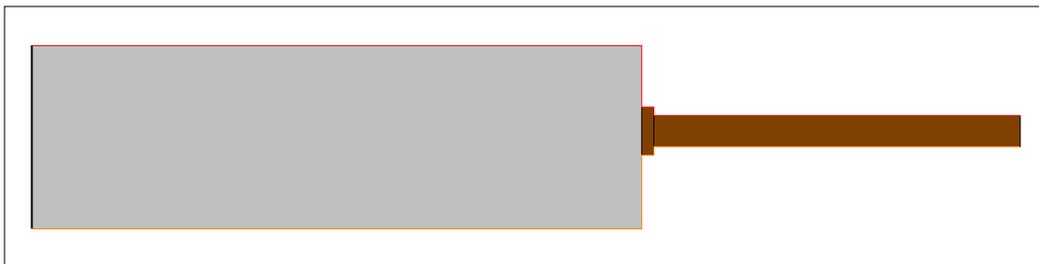




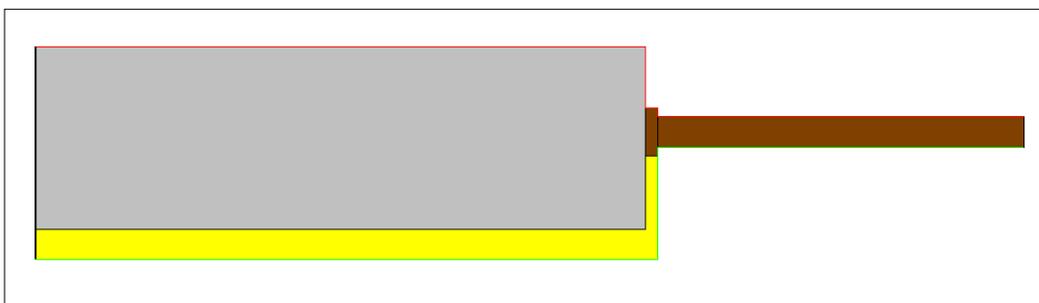
(c)

Figura 3.10: Escantillón 3 para analizar en THERM
Fuente: Elaboración Propia

El escantillón 4 hace referencia a una fundación más la unión del muro con la losa del piso 1.



(a)



(b)

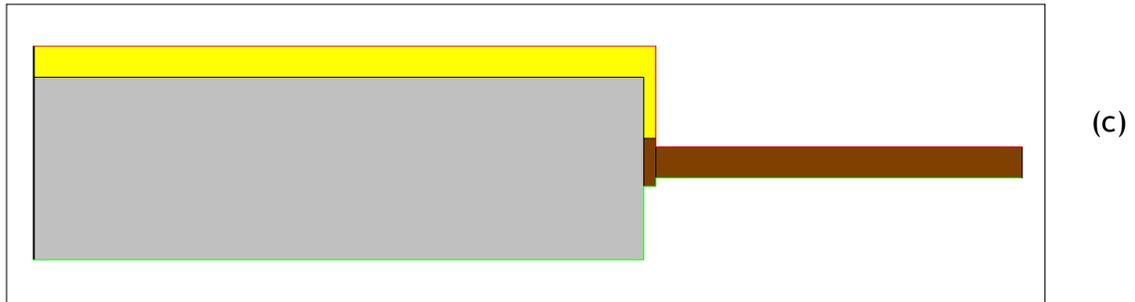


Figura 3.11: Escantillón 4 para analizar en THERM
Fuente: Elaboración propia

3.5 Método numérico

El método numérico consiste en calcular la pérdida que se produce en el puente térmico del elemento no aislado en comparación con el aislamiento interior y exterior.

Primero se obtiene el Factor-U que entrega THERM, se calcula luego la conductancia térmica bidimensional y a continuación se obtiene el valor de la transmitancia térmica lineal. Esto se calcula con las fórmulas explicadas en el capítulo 2.2.

$$\Psi = L^{2D} - U_i * l_i \frac{W}{mK}$$

$$L^{2D} = U_m * l_m \frac{W}{mK}$$

De las fórmulas anteriores U_m corresponde al Factor-U entregado por THERM.

Luego del cálculo anterior, es posible calcular la potencia de las pérdidas de calor con:

$$\text{Pérdida calor} = \Psi * \Delta T * A [W]$$

Se calcularán la transferencia de calor a través de la envolvente incluidos los puentes térmicos con la fórmula siguiente antes mencionada.

$$L = U_i * A_i + \Psi_k * l_k + X_j$$

La transmitancia térmica puntual X_j no será considerada debido a que el valor que entrega es cercano a cero.

3.6 Propuesta de soluciones

Se prevé que la situación más favorable será un Sistema de Aislamiento Exterior y Acabados (Exterior Insulation and Finish System, EIFS). Para aislar se utilizará el sistema EIFS de STO.

EIFS es una solución constructiva que incorpora una capa de poliestireno expandido adherida al muro y revestida con una malla de vidrio dentro de un mortero delgado elastomérico recubierto todo con un revestimiento texturizado.

El sistema EIFS presenta varias ventajas en comparación a una edificación sin algún tipo de aislación. Al ser un aislamiento exterior continuo, se obtiene un gran ahorro de energía, la entrada de aire exterior y filtración de humedad en paredes ventiladas se reduce hasta un 55%, comparado con una construcción convencional. Se espera una gran reducción de pérdida de calor a través de las paredes, la cual generalmente es cercana al 40%.

En cuanto al punto de condensación, este sistema aislante lo lleva fuera del muro, reduciendo en gran medida la posibilidad de que la humedad se condense dentro de la pared causando daños.

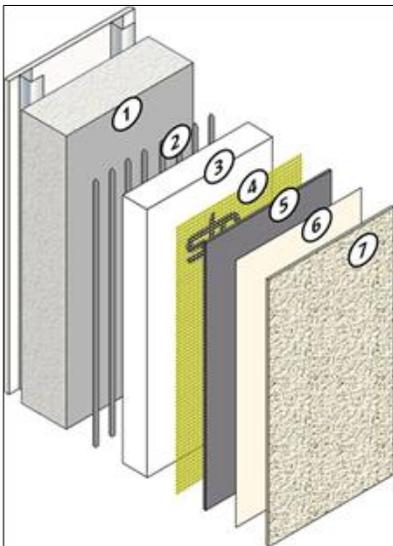


Figura 3.12: Capas de aislamiento
Fuente: Sto

Se observa a continuación un corte de las capas del sistema StoTherm.

1. Sustrato: Hormigón
2. Sto Primer/Adhesive Base Coat: Pegamento cementicio para fijar el poliestireno al muro
3. Plancha de Poliestireno: 5 cm de ancho
4. Sto Mesh: Malla de fibra de vidrio con densidad de 380g/m²
5. Sto Primer/Adhesive Base Coat: Para fijar la malla de fibra de vidrio al poliestireno
6. Sto Primer Smooth: Pintura lisa
7. Sto DPR Finish: recubrimiento de muros texturizado, de base acrílica, con agregados graduados y tecnología de resistencia a la acumulación de polvo.

Inicialmente la edificación cuenta con ventanas normales de 3 mm en toda la casa. Para mejorar la aislación se colocarán ventanas Pilkington low-e. Son ventanas dobles las cuales tienen un vidrio Low-E, una ventana normal, y entremedio una cámara de aire de 12 mm.

Low-E es un cristal revestido el cual en una de sus caras tiene aplicado un revestimiento de baja emisividad que se reduce drásticamente la transferencia de calor y refleja el calor de vuelta a la habitación.

El vidrio Pilkington Low-E está recubierto para ser selectivo con las longitudes de onda de energía que permite pasar y que hace que se reflejen. La mayor parte de la energía del sol llega a la ventana en forma de radiación de onda corta que se le permite el paso a través del recubrimiento. Parte de la energía es absorbida por el vidrio a medida que pasa a través de él, la cual calienta el vidrio. Los muebles y artefactos que están dentro de la habitación absorben el calor, y luego éste es emitido en forma de ondas largas, las cuales son reflejadas en el interior.

Actualmente es el vidrio más empleado en Estados Unidos, Europa y Japón en construcciones residenciales y comerciales, su capacidad es mayor a la de un triple vidriado hermético compuesto por tres vidrios y dos cámaras de aire. Hay que tener en cuenta que la cara revestida con la capa de baja emisividad de un vidrio Low-E siempre debe quedar expuesta mirando hacia la cámara de aire.

En invierno, conserva cerca de dos tercios de la energía que se perdería a través de un simple vidriado, lo que reduce el uso de calefacción. En verano contribuye a limitar el ingreso de calor solar radiante.

Se espera que con estos cambios disminuya considerablemente el nivel de infiltración de la oficina.

Capítulo 4 Análisis de resultados

4.1 Blower door

Como se explicó en el punto 3, se realizaron 2 mediciones de infiltración con el Blower door. Los datos de cada medición son los siguientes:

Tabla 4.1: Ensayo blower door

Datos	Medición 1	Medición 2
Fecha	28-06-2012	01-03-2013
Hora	11:45	15:00
Temperatura exterior	8 °C	27°C
Temperatura interior	24°C	24°C

Fuente: Elaboración propia

A continuación se adjuntan los valores obtenidos con el ensayo del blower door para ambas mediciones.

Tabla 4.2: Resultados del ensayo de Blower Door

Resultados	Medición 1	Medición 2	Unidades
Flujo de aire en STP	2305	2475	CFM a 50Pa
Tasa de cambio de aire	13	12	/h a 50Pa
Área equivalente de infiltración	0.18	0.18	m ² a 10Pa
LBL área de infiltración efectiva	-	8	cm ² a 4Pa

Fuente: Elaboración propia

Se observa en los valores obtenidos de la tabla 4.2 que ambas mediciones se obtiene un valor alto, de 12 y 13 veces de intercambio de aire por hora a 50 Pascales.

En el Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos hacen referencia a un máximo de cambio de aire como 3 veces por hora a 50 Pa, lo que se rige de las normas europeas, según la norma UNE-EN 13829 de España, la tasa de intercambio de aire debería oscilar entre 1 y 2, valor cercano a lo propuesto. Actualmente en Chile no hay alguna norma que imponga valores al uso del blower door.

Como es de esperar con esos resultados tan diferentes, es necesario realizar cambios en la envolvente y revisar por donde sale el aire para poder controlar las infiltraciones.

Según el manual que trae el blower door como se muestra en la tabla 2.5, el flujo de aire en CFM debería ser menos de 1500 para ser hermético, pero se encuentra en el rango de moderadamente hermético debido a que están ambas mediciones entre 1500 y 4000 CFM.

4.2 Tomas termográficas

Durante el método del blower door se hicieron tomas termográficas a las zonas donde se cree que habían mayores pérdidas de aire por infiltración. Hay que tener en cuenta que la temperatura exterior era en ese momento cercana a los 8°C. Algunas de las imágenes se muestran a continuación.

En la primera foto adjunta se observa una esquina externa de la oficina principal. Se nota una diferencia de al rededor de 2°C entre el muro interior con el muro exterior.



Figura 4.1: Imagen 1
Fuente: Elaboración propia

Las dos imágenes a continuación representan 2 ventanas de dos oficinas diferentes. En la imagen superior se observa que el puntero cerca de la unión de ambas puertas de la ventana observándose ahí una temperatura de 12,6°C. Se observa claramente en figura 4.2 que el viento entra por arriba del marco de las ventanas y una pequeña cantidad por los lados de cada una de ellas. En la imagen inferior se observa también una gran infiltración sobre las ventanas y una temperatura entre el marco y los vidrios de 14,7°C, cerca de 2 grados de diferencia con el muro.



Figura 4.2: Imagen 2
Fuente: Elaboración propia

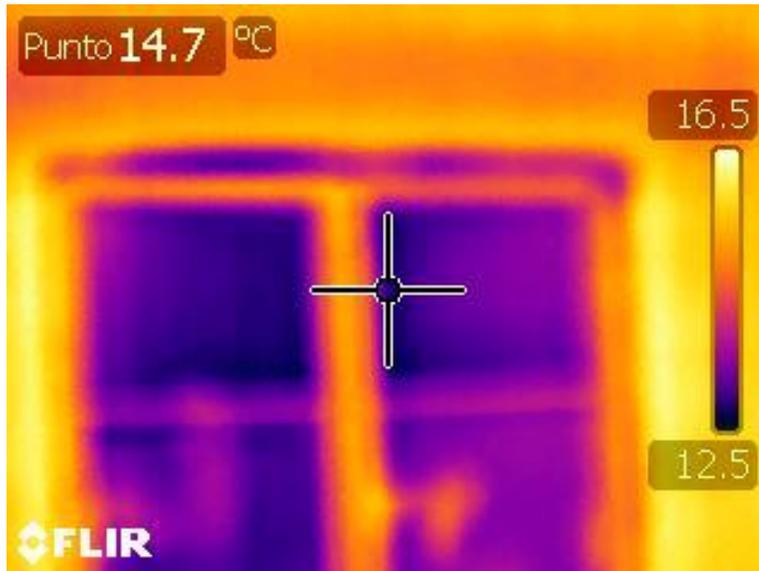


Figura 4.3: Imagen 3
Fuente: Elaboración propia

La siguiente imagen representa un acercamiento a la unión de dos ventanas, donde se puede observar que entremedio de ellas hay una diferencia de temperatura, de lo que se puede inferir que ocurre una infiltración de aire en ese espacio.

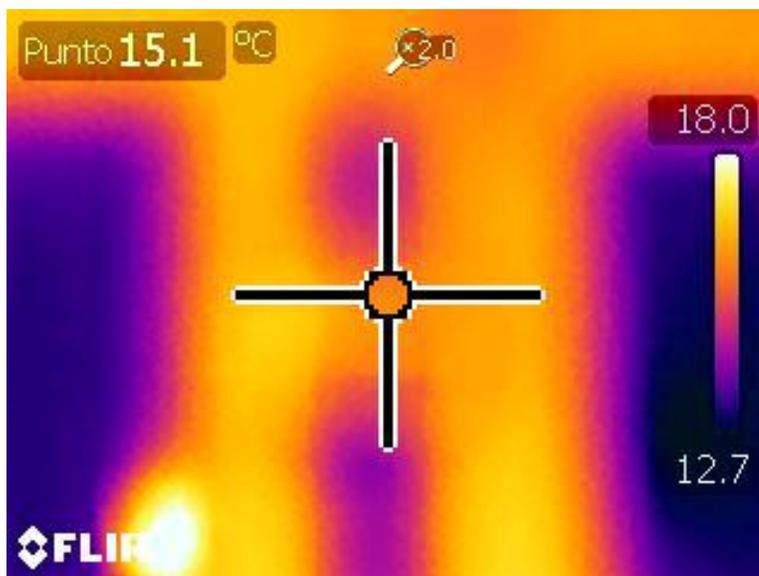


Figura 4.4: Imagen 4
Fuente: Elaboración propia

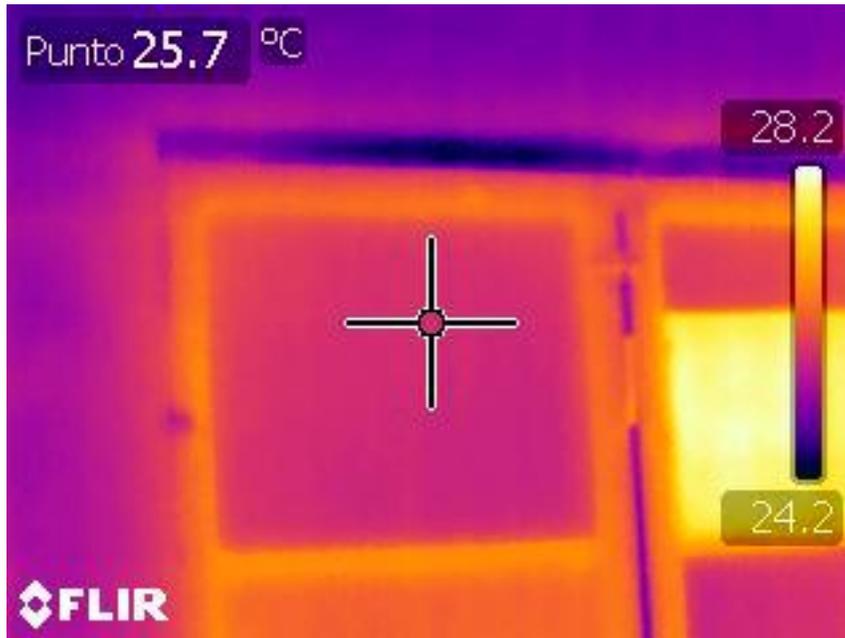


Figura 4.5: Imagen 5
Fuente: Elaboración propia



Figura 4.6: Imagen 6
Fuente: Elaboración propia

Las últimas dos figuras fueron sacadas el segundo día de medición, con una temperatura exterior de 27°C. La figura 4.5 muestra una ventana en la sala de reuniones, donde se observa arriba del marco que hay una diferencia de temperatura en comparación al resto, esto se debe a una gran infiltración de aire que se produce en ese lugar.

En la figura 4.6 se observa un muro interior en el cual se produce una infiltración de aire entre una oficina y el pasillo.

4.3 Análisis elementos finitos método numérico

4.3.1 Escantillón 1: Encuentro de muros

Para el primer escantillón se realizó el análisis de elementos finitos como se menciona en el punto 3.4. Luego de dibujarlos e ingresarle las propiedades de materiales y de borde se realizó el análisis obteniéndose los siguientes resultados.

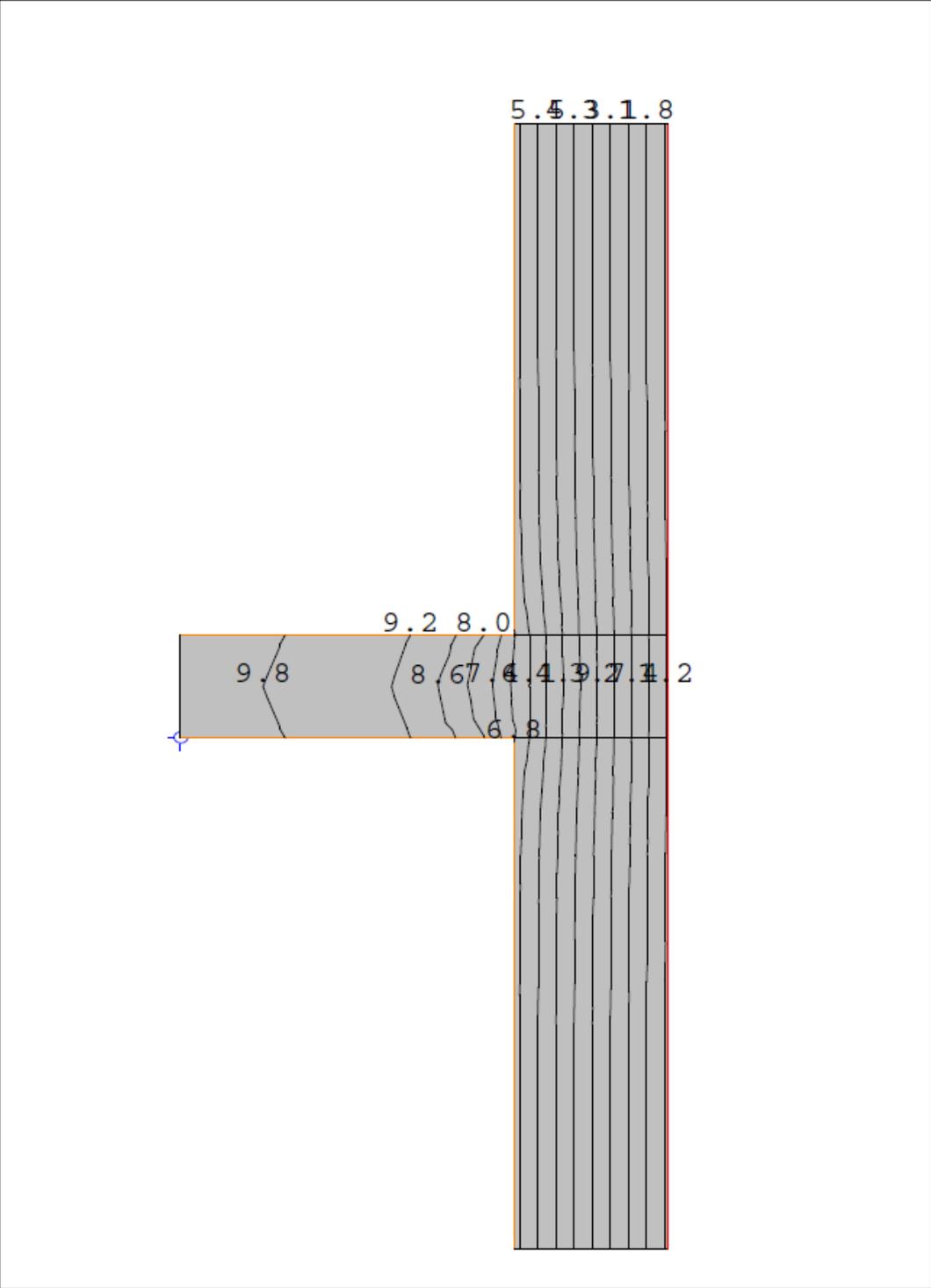


Figura 4.7: Isotermas escantillón 1
 Fuente: Elaboración propia

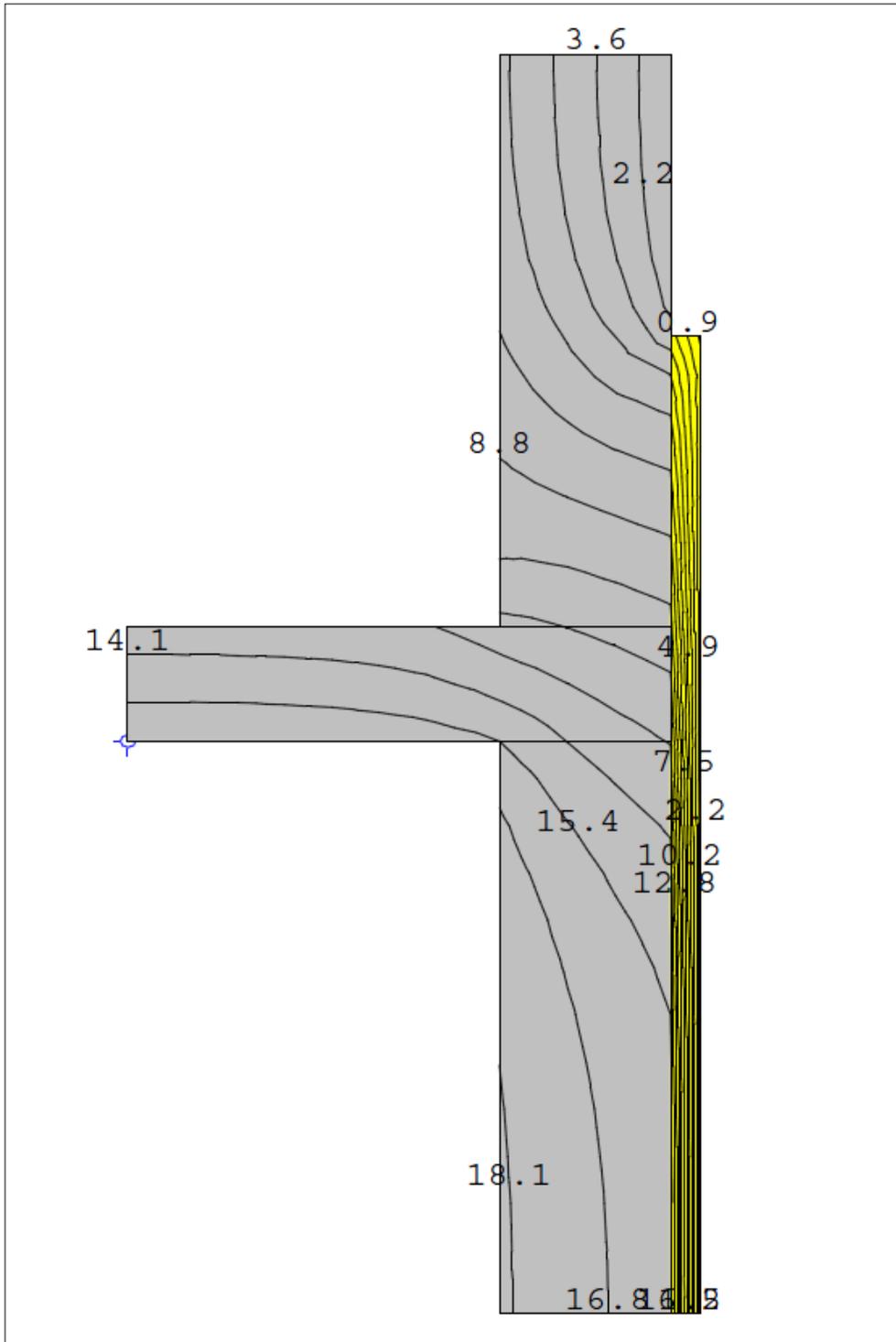


Figura 4.8: Isotermas escantillón 1 con EIFS exterior
Fuente: Elaboración propia

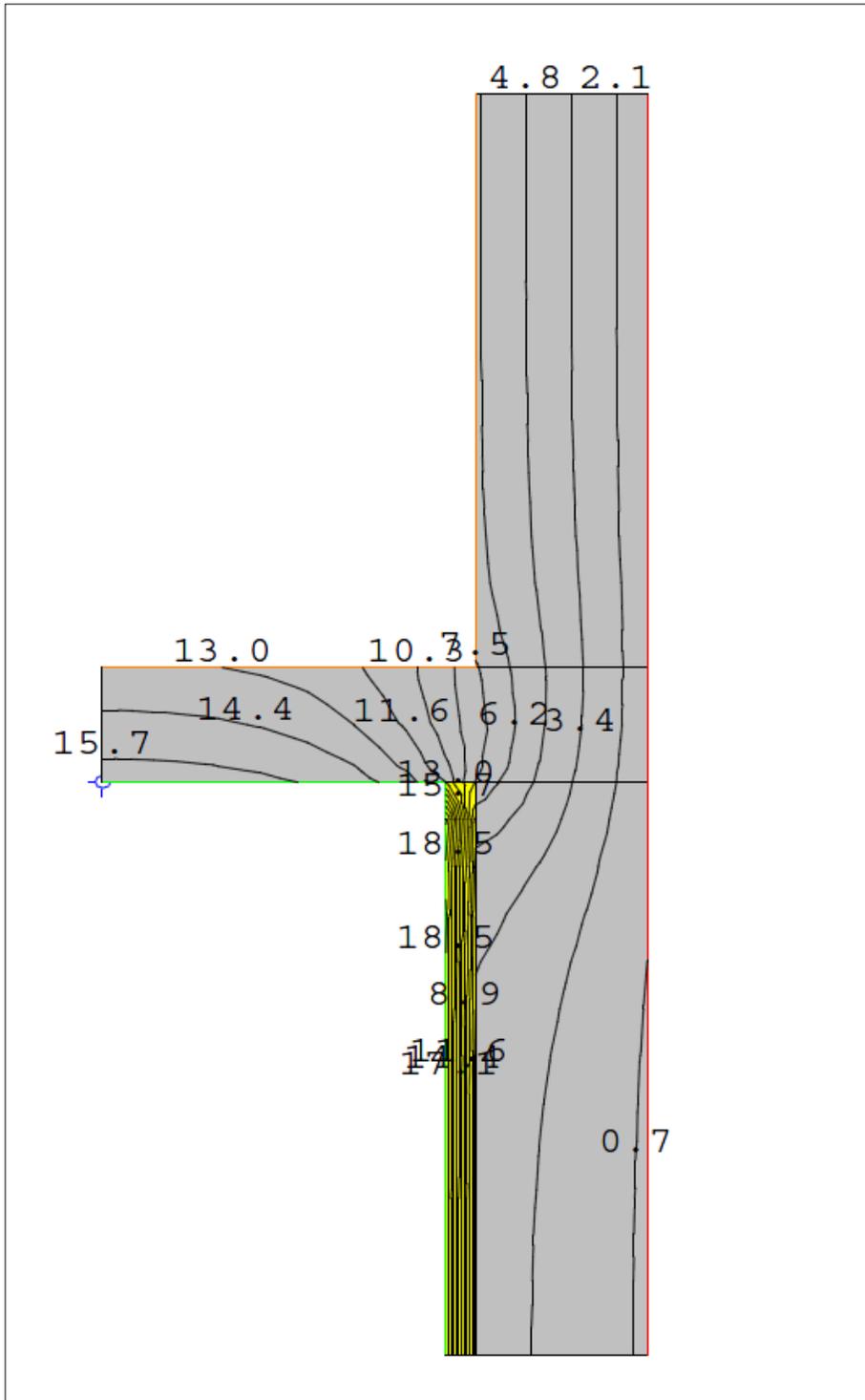


Figura 4.9: Isothermas escantillón 1 con aislación térmica interior
Fuente: Elaboración propia

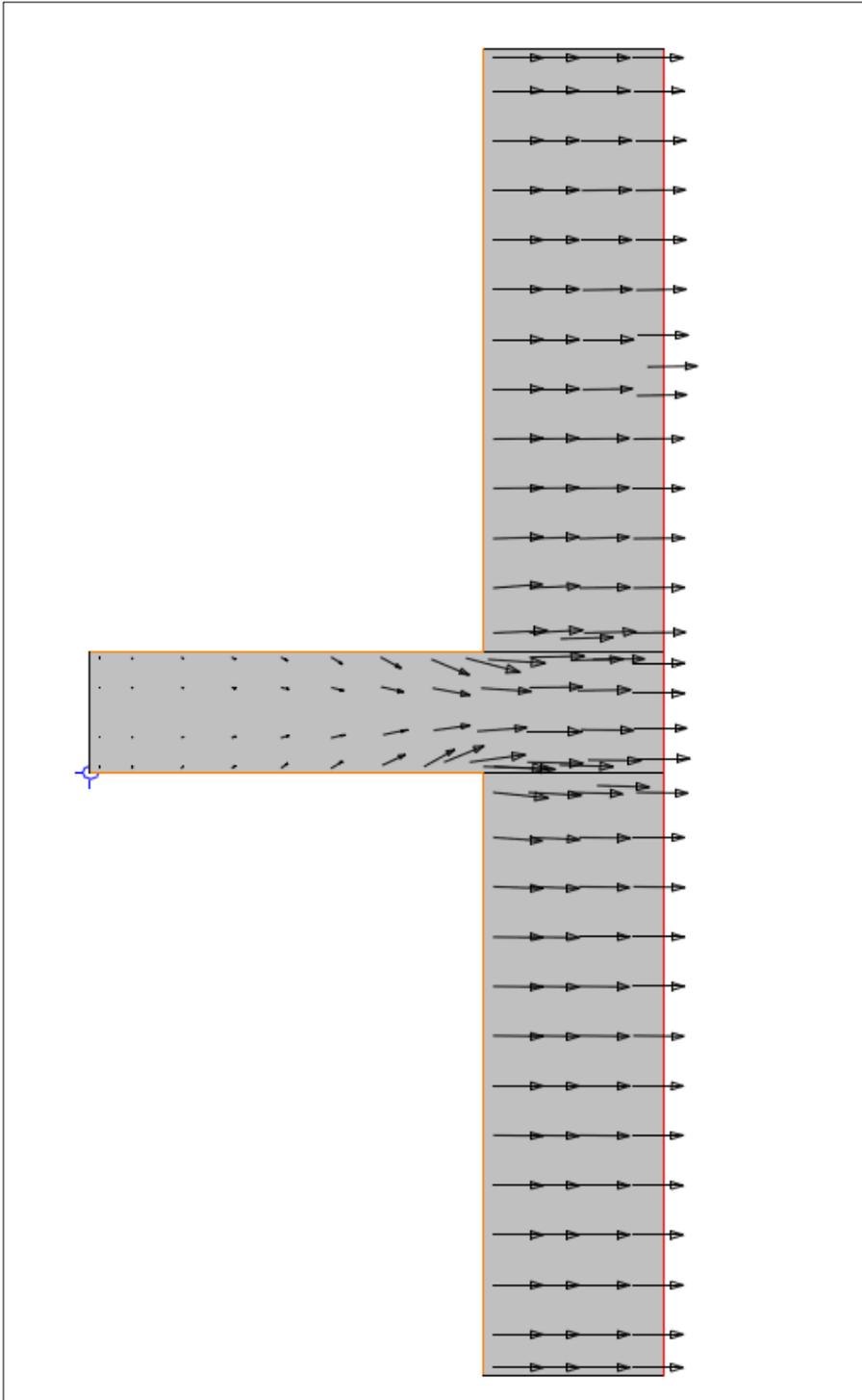


Figura 4.10 : Vectores de flujo escantillón 1
Fuente: Elaboración propia

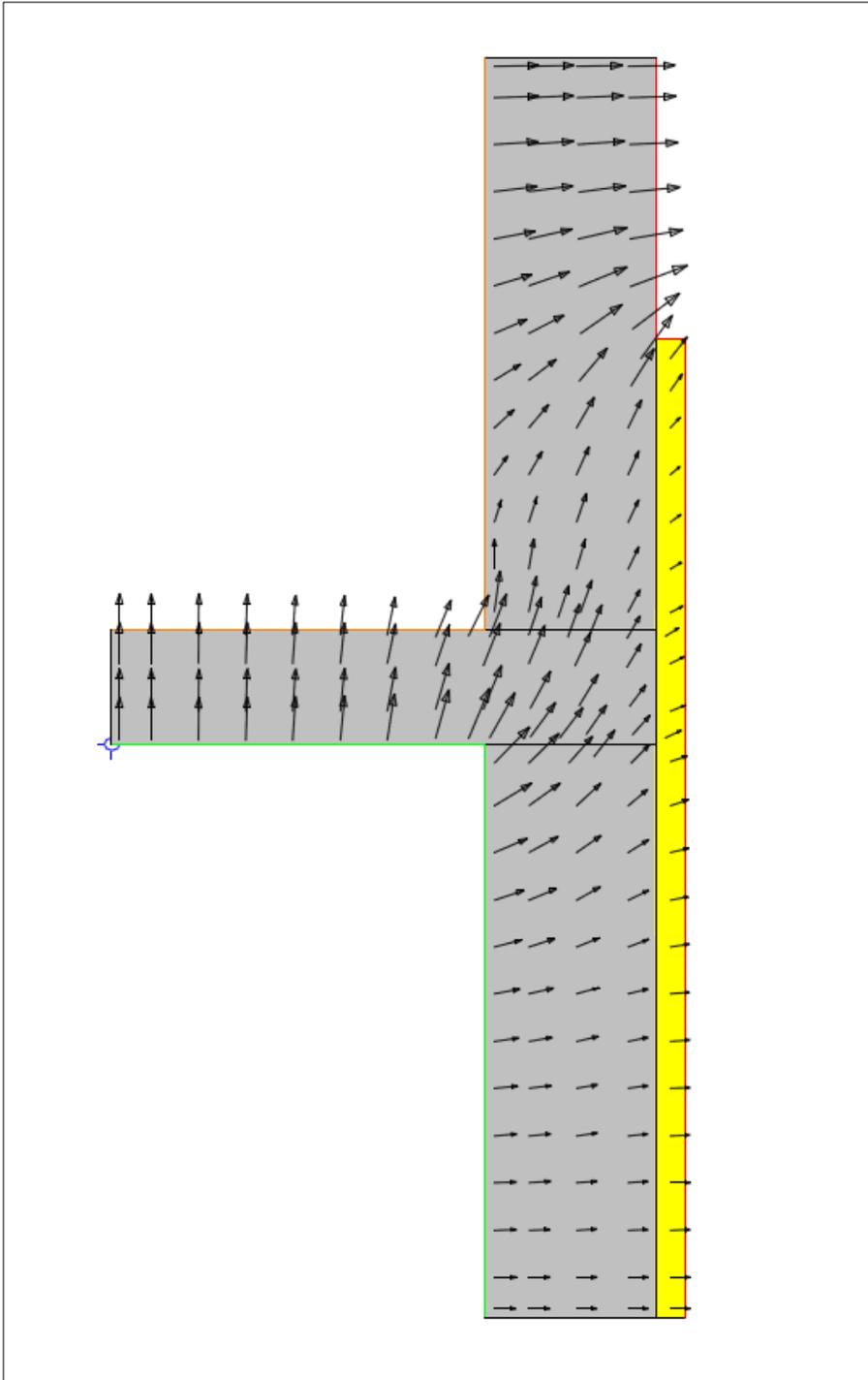


Figura 4.11: Vectores de flujo escantillón 1 con EIFS exterior
Fuente: Elaboración propia

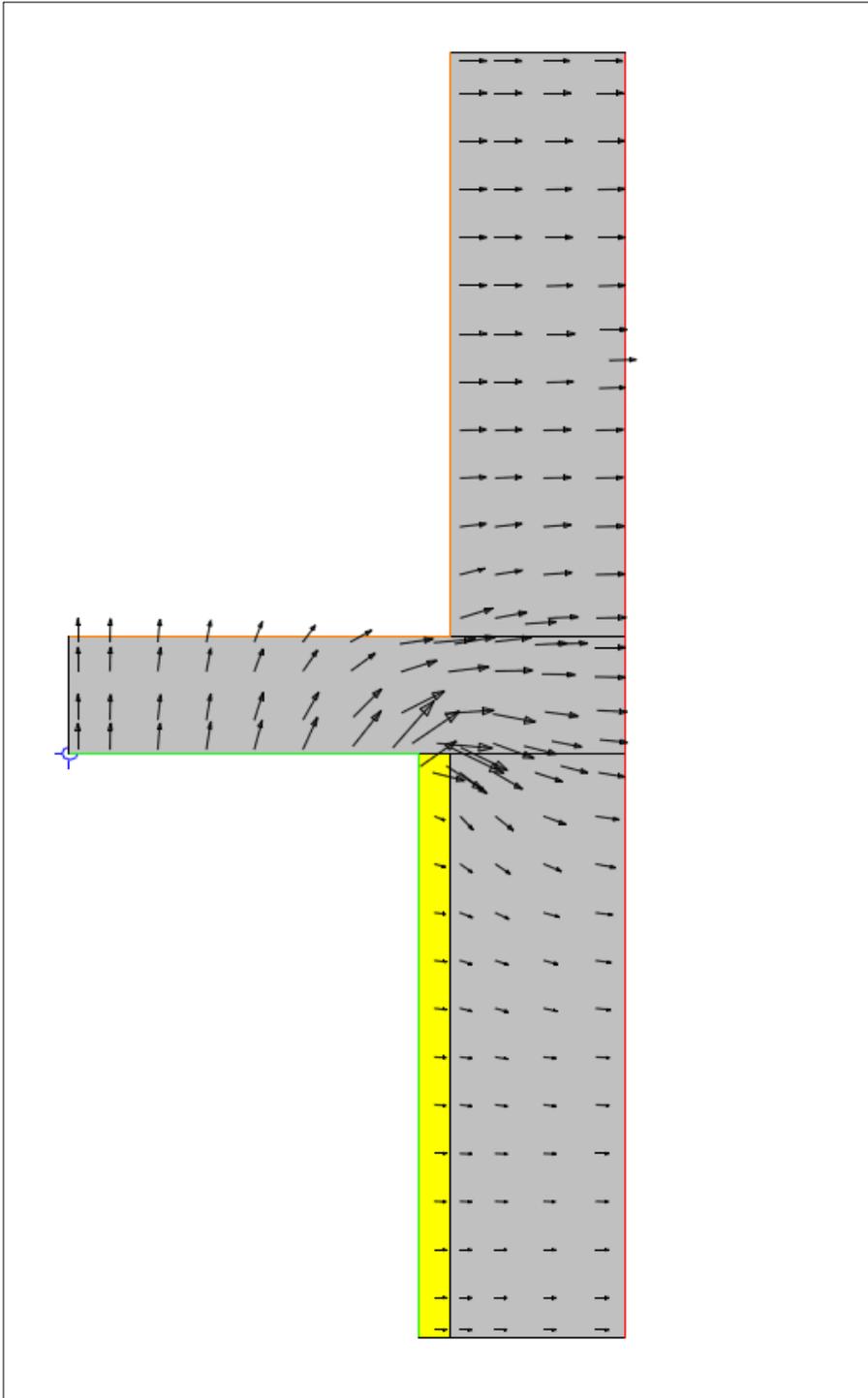


Figura 4.12: Flujo de vectores escantillón 1 con aislación térmica interior
Fuente: Elaboración propia

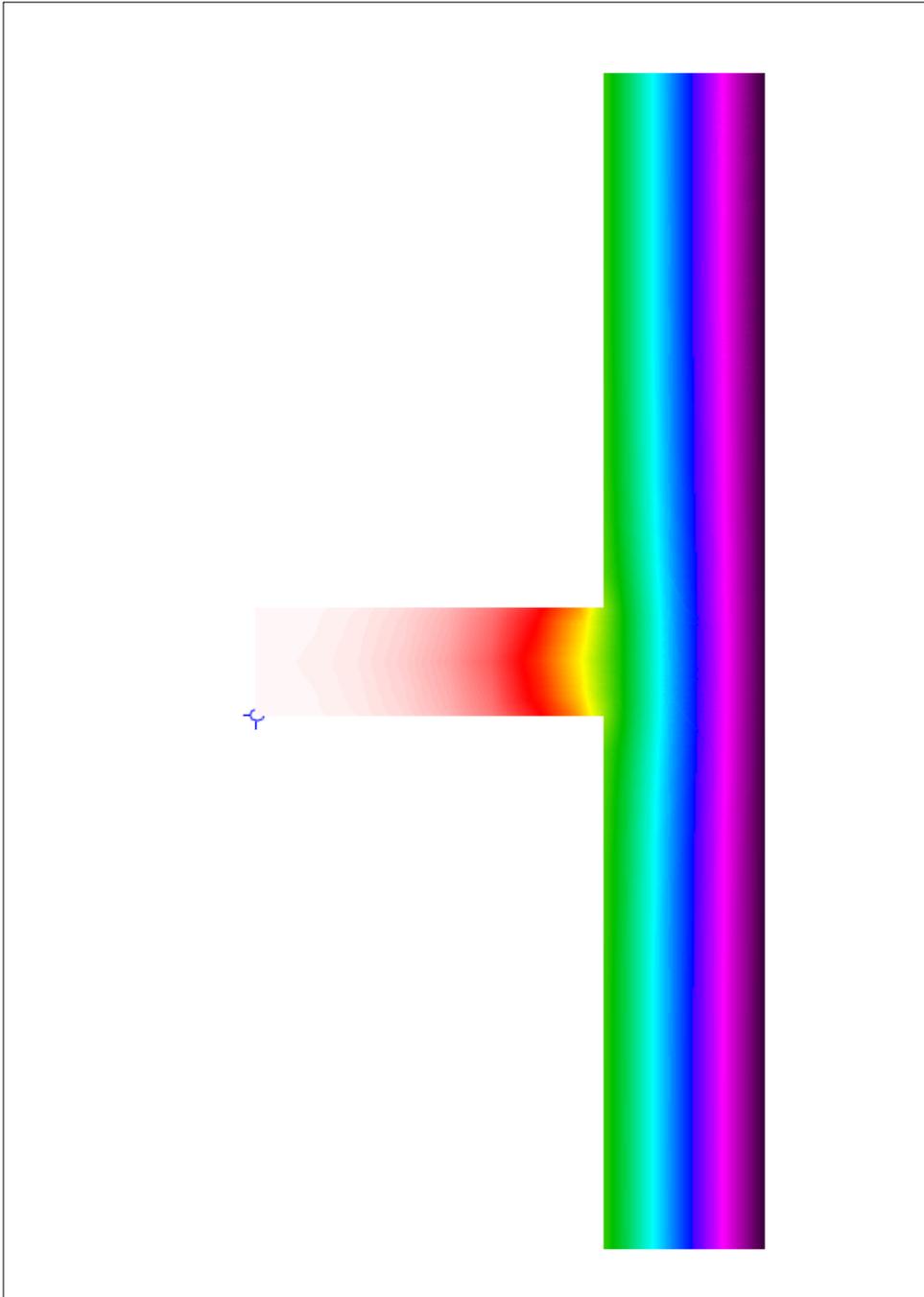


Figura 4.13: Flujo de calor escantillón 1
Fuente: Elaboración propia

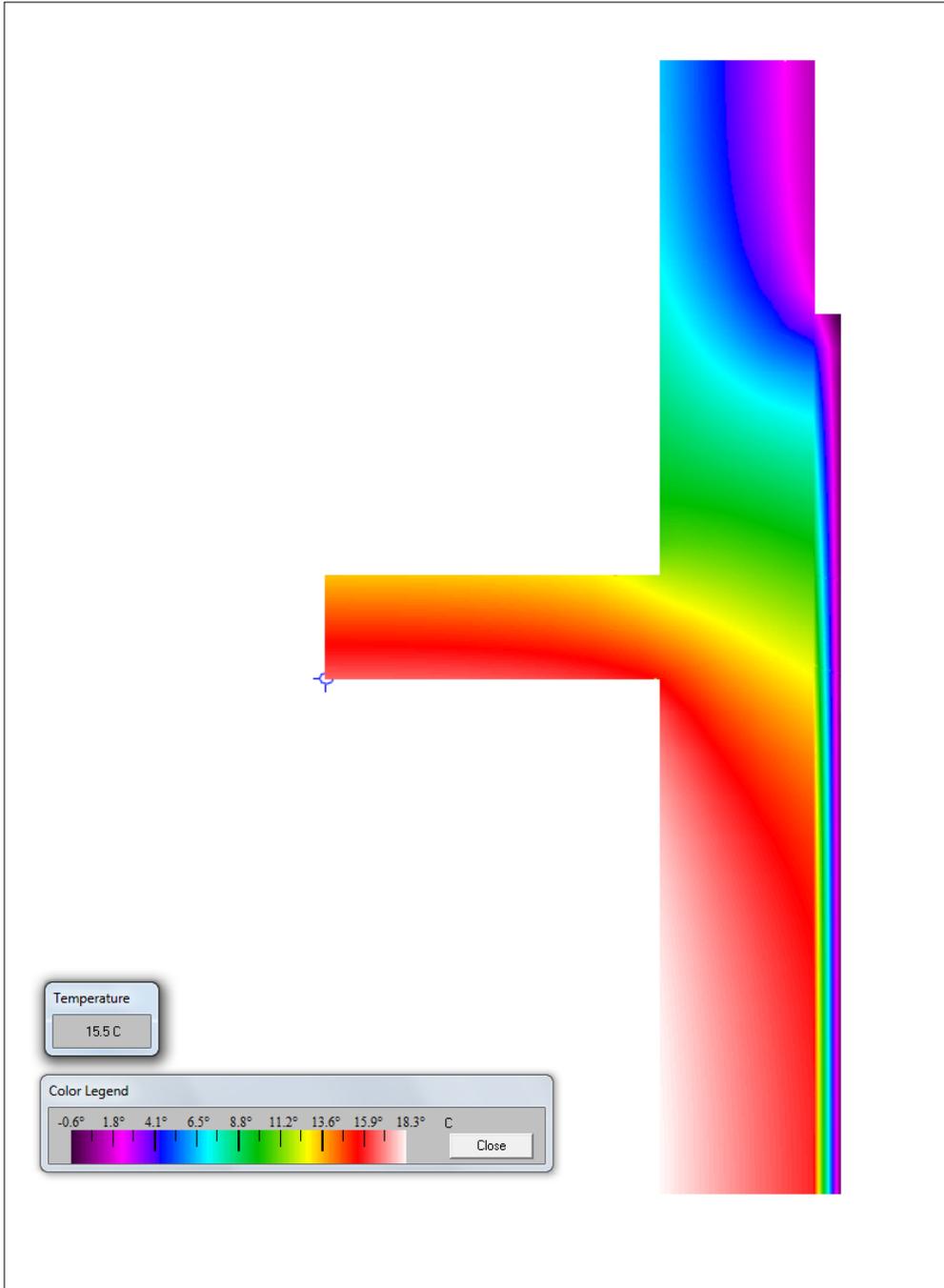


Figura 4.14: Flujo de calor escantillón 1 con EIFS exterior
Fuente: Elaboración propia

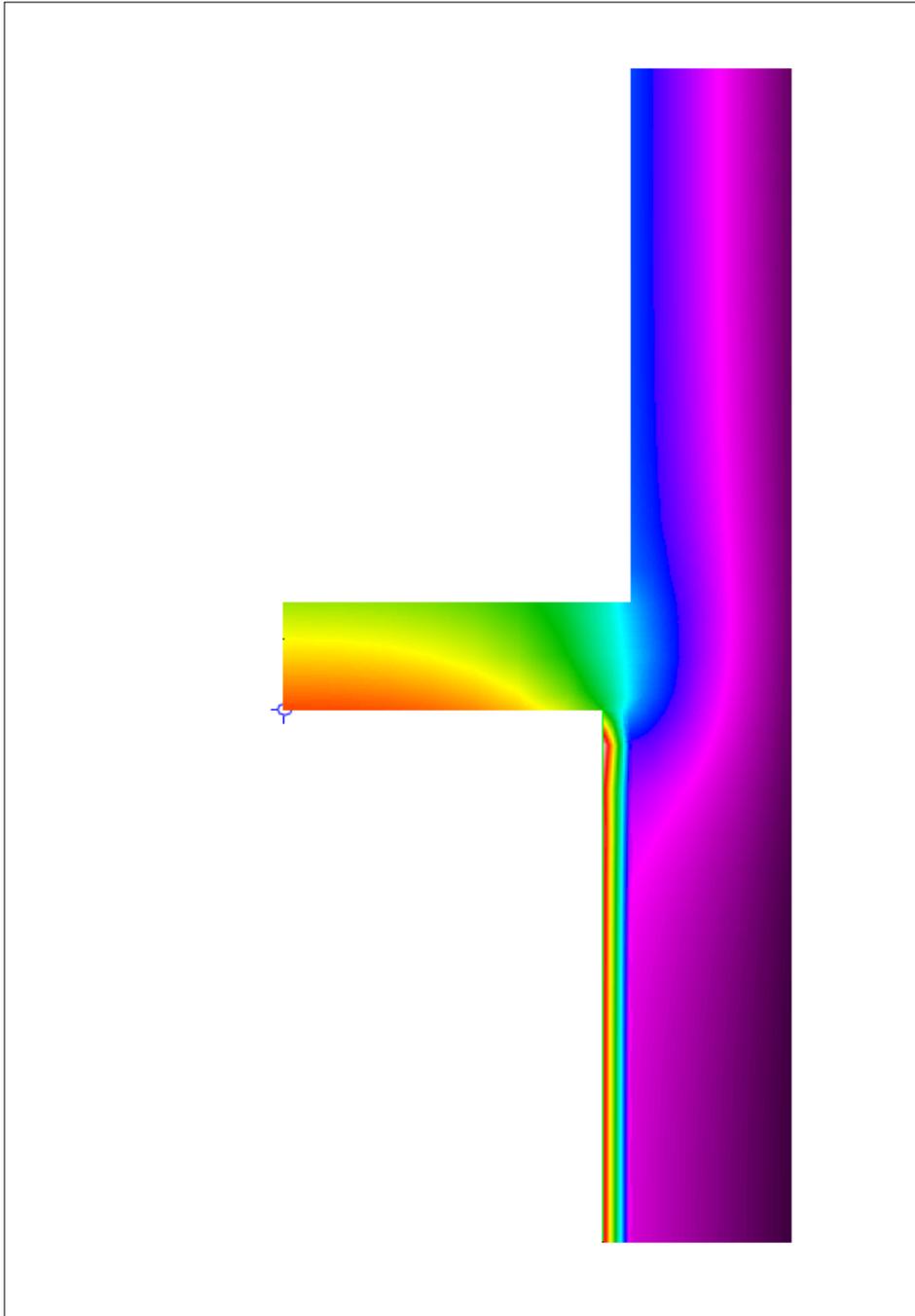


Figura 4.15: Flujo de calor escantillón 1 con aislación térmica interior
Fuente: Elaboración propia

En las figuras anteriores se observa claramente que el mejor de los casos es cuando se tiene el aislante por el exterior. Se puede ver en la figura 4.12 cómo el calor es retenido por el aislante dentro del muro, en comparación con la figura 4.11 donde se observa que el calor del muro se expande rápidamente y las diferencias de temperaturas dentro de éste son mayores en comparación con los otros dos casos.

Cada figura de flujo de calor tiene la temperatura mínima interior de superficie de cada caso, la mayor temperatura interior se da en el caso con aislante por el exterior.

Hay que considerar que la resistencia térmica de superficie es diferente para un objeto vertical que para uno horizontal, además que es diferente para interior y para exterior por lo que se calcula la transmitancia térmica para el muro y para el cielo por separados.

Tabla 4.3: Transmitancia térmica para escantillón 1

Elemento	Rsi [m ² °C/W]	Rse [m ² °C/W]	R [m ² °C/W]	U [W/m ² °C]
Cielo	0.1	0.1	0.12	3.10
Muro	0.12	0.05	0.18	2.82
Muro aislado	0.12	0.05	1.43	0.62

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestran los valores del factor U obtenido con Therm para cada uno de los casos anteriores. El valor U explica en qué proporción el material deja pasar el calor a través de él. A menor valor, menor es la transferencia de calor. Luego de calcular estos factores se procede a los cálculos para poder así calcular la resistencia térmica del muro con y sin aislación, con estos valores se pueden obtener las pérdidas totales de la oficina debido al puente térmico de la unión de ambos pisos. Se considera para calcular las pérdidas una diferencia de 20°C y un perímetro de 67.9 metros.

Tabla 4.4: Pérdidas escantillón 1

Caso	U-Factor [W/m ² °K]	Error [%]	PSI [W/m ² °K]	Pérdida [W]
Sin EIFS	3.145	3.57	-1.694	-2301.3
EIFS Exterior	1.794	3.61	-0.843	-1145.9
Aislación int.	1.687	3.54	-0.795	-1080.5

Fuente: elaboración propia

Además de las pérdidas de energía se pueden obtener las temperaturas superficiales menores en cada caso. Según la MCRMA_TP18 ⁴ el valor mínimo recomendado de factor de temperatura de superficie interior debería ser de 0.75.

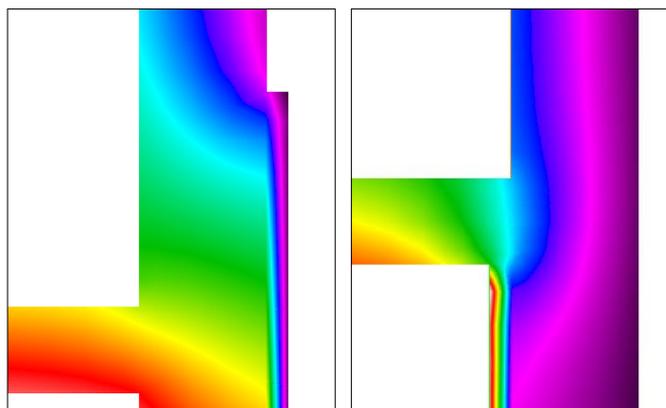
Tabla 4.5: Valores de factor de temperatura de superficie interior

Caso	Temperatura [°C]			<i>f</i>
	Exterior	Interior	Superficial	
Sin EIFS	0	20	6.3	0.32
EIFS exterior	0	20	15.5	0.78
Aislación int.	0	20	11.6	0.58

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 4.5 se obtiene que el único valor que está dentro del rango aceptable es el caso con aislante por el exterior. Esta condición es necesaria para que no ocurra condensación superficial en los cerramientos.

En la figura 4.11 se observa que el puente térmico ocurre fuera del área de la envolvente de la edificación. Este ocurre inmediatamente después del término del aislante como se puede observar en la imagen ampliada a continuación en la figura 4.16-a.



(a)

(b)

Aislante exterior

Aislante interior

Figura 4.16: Puente térmico escantillón 1

Fuente: Elaboración propia

⁴ Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association: Technical Paper 18

A diferencia de la figura 4.16-a en la figura 4.16-b se observa que el puente térmico ocurre en la junta del muro con el cielo, al interior del primer piso de la oficina. Esta es otra de las razones para utilizar el aislante por el exterior, para que no ocurra el puente térmico en la envolvente.

4.3.2 Escantillón 2: Encuentro de muro con ventana

Al igual que el punto 4.3.1 se realiza el análisis al escantillón 2, obteniéndose los siguientes resultados.

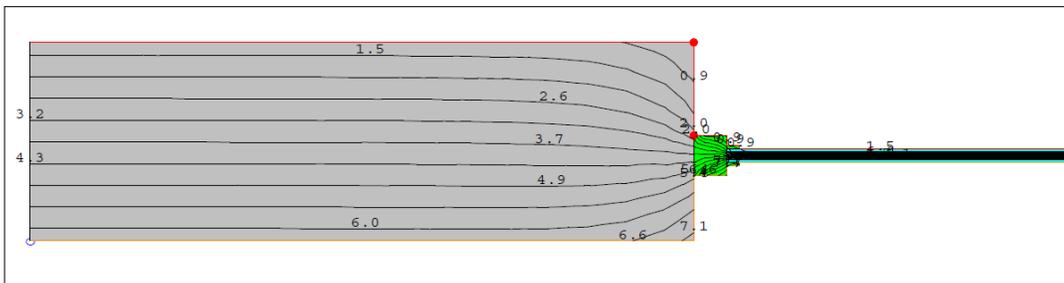


Figura 4.17: Isotermas escantillón 2

Fuente: Elaboración propia

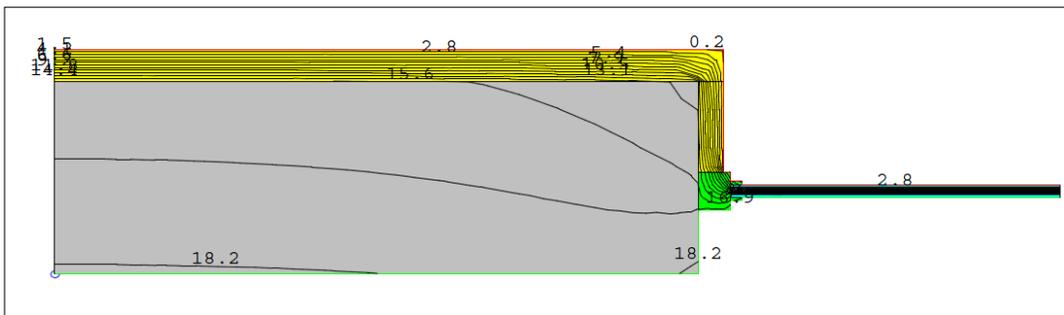


Figura 4.18: Isotermas escantillón 2 con EIFS exterior

Fuente: Elaboración propia

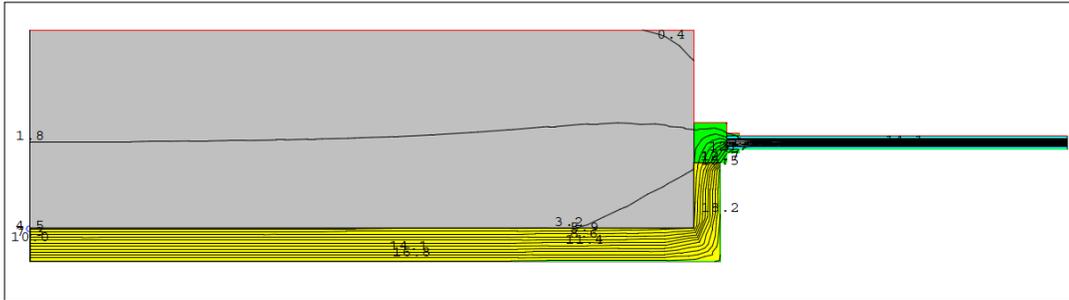


Figura 4.19: Isotermas escantillón 2 con aislación térmica interior
Fuente: Elaboración propia

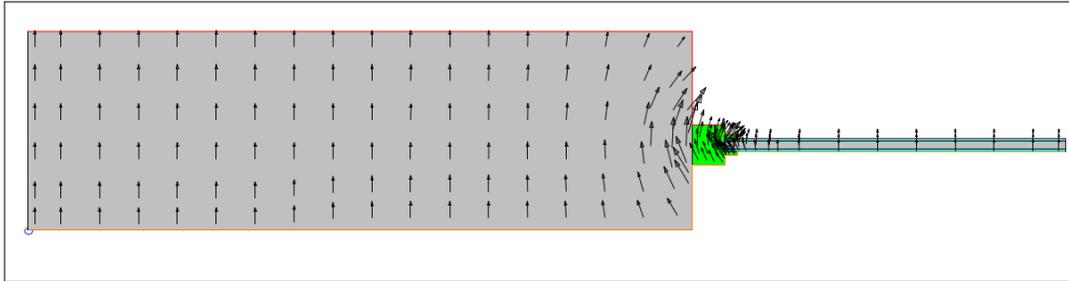


Figura 4.20: Vectores de flujo escantillón 2
Fuente: Elaboración propia

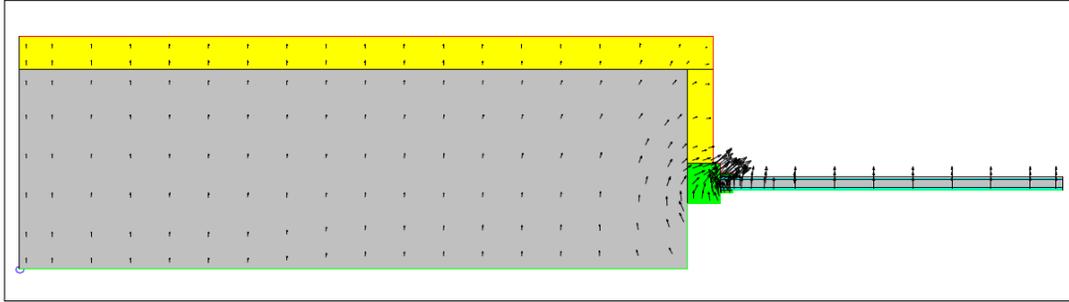


Figura 4.21: Vectores de flujo escantillón 2 con EIFS exterior
Fuente: Elaboración propia

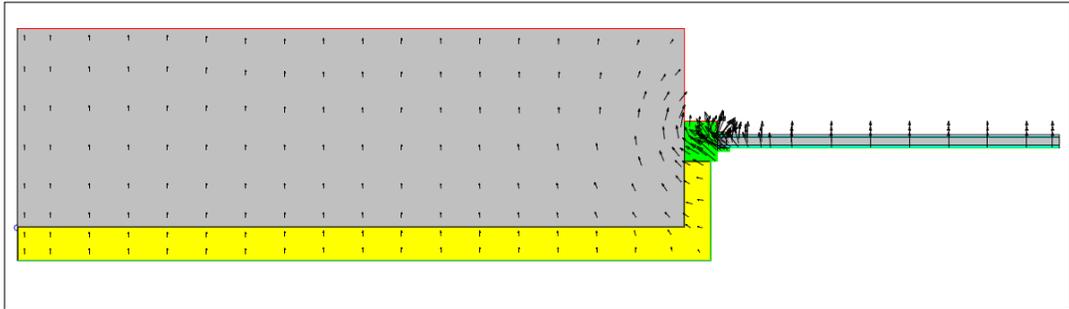


Figura 4.22: Vectores de flujo escantillón 2 con aislación térmica interior
Fuente: Elaboración propia

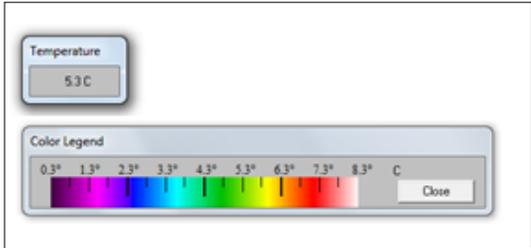
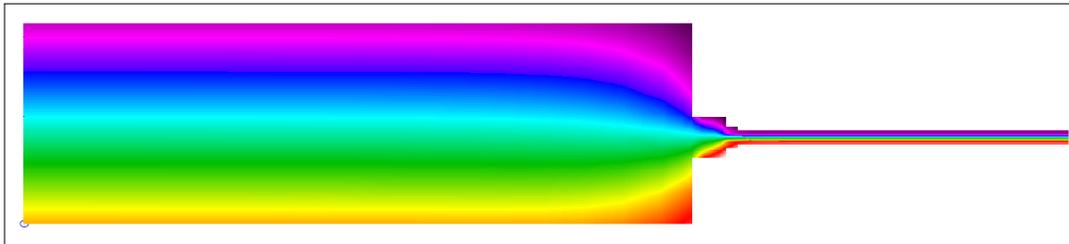


Figura 4.23: Flujo de calor escantillón 2
Fuente: Elaboración propia

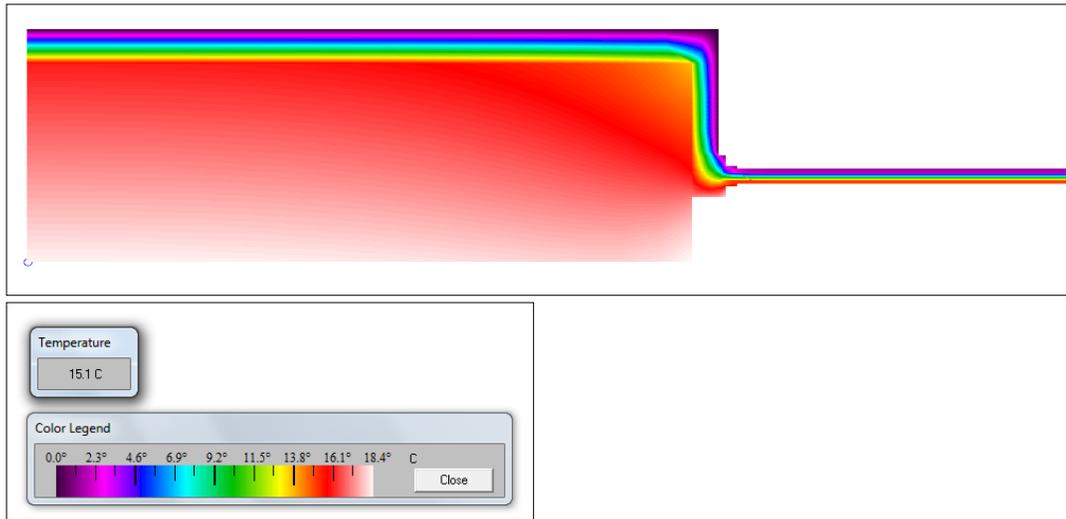


Figura 4.24: Flujo de calor escantillón 2 con EIFS exterior
Fuente: Elaboración propia

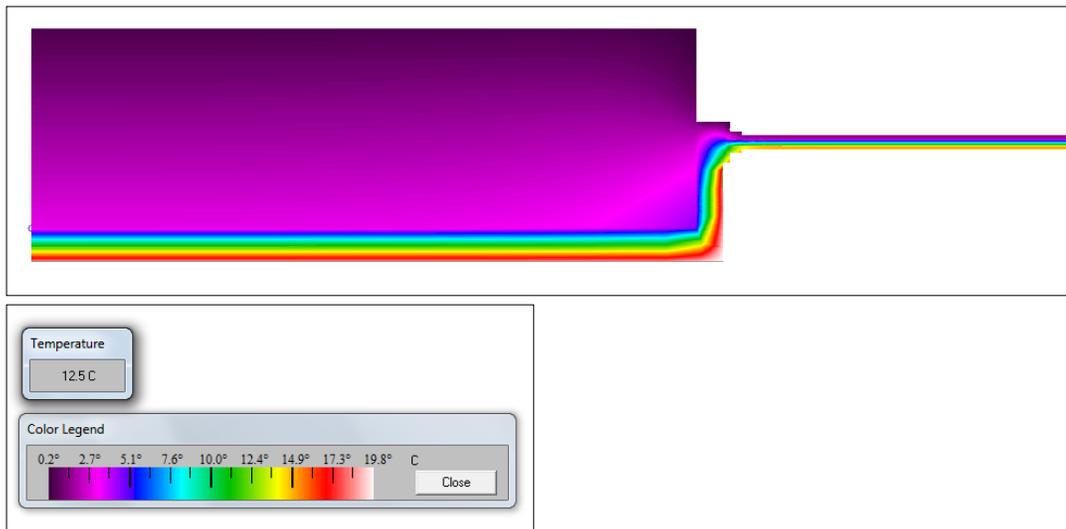


Figura 4.25: Flujo de calor escantillón 2 con aislación térmica interior
Fuente: Elaboración propia

Al igual que en el caso anterior, se observa en la figura 4.24 que el calor queda dentro del muro y no sale muy rápido a través de éste. Como es de esperarse, la mayor temperatura de superficie interior ocurre en el caso de EIFS exterior.

La tabla 4.6 tiene los valores de transmitancia térmica para cada elemento que contiene el escantillón 2.

Tabla 4.6: Transmitancia térmica para escantillón 2

Elemento	Rsi [m ² °C/W]	Rse [m ² °C/W]	R [m ² °C/W]	U [W/m ² °C]
Muro	0.12	0.05	0.18	2.82
Muro aislado	0.12	0.05	1.43	0.62
Marco ventana	0.12	0.05	0.38	1.83
Vidrio	0.12	0.05	0.02	5.36

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla 4.7 son los valores de factor-u de cada caso. El menor valor es al tener la aislación en el exterior, lo que da una pérdida menor, calculada con una diferencia de temperatura de 20°C y un perímetro comprometido de 74.2 m.

Tabla 4.7: Pérdidas escantillón 2

Caso	U-Factor [W/m ² °C]	Error [%]	PSI [W/m ² °C]	Pérdida [W]
Sin EIFS	3.025	5.14	0.508	754.7
EIFS Exterior	0.848	6.75	0.259	384.0
Aislación int.	0.963	8.35	0.388	576.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.8: Valores de factor de temperatura de superficie interior

Caso	Temperatura [°C]			f
	Exterior	Interior	Superficial	
Sin EIFS	0	20	5.3	0.265
EIFS exterior	0	20	15.1	0.755
Aislación int.	0	20	12.5	0.625

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.8 el factor de temperatura de superficie interior que es mayor a 0.75 es en el caso con el EIFS exterior, los otros dos valores no están dentro del rango aceptable para que no ocurra condensación superficial en los muros.

4.3.3 Escantillón 3: Encuentro de muro con suelo

A continuación se realiza el análisis al escantillón 3 al igual que los dos anteriores. Sus resultados se muestran a continuación. Las condiciones de borde impuestas son las mismas que en los casos anteriores, a diferencia del extremo inferior del suelo, en el cual se aplica condición de “tierra”.

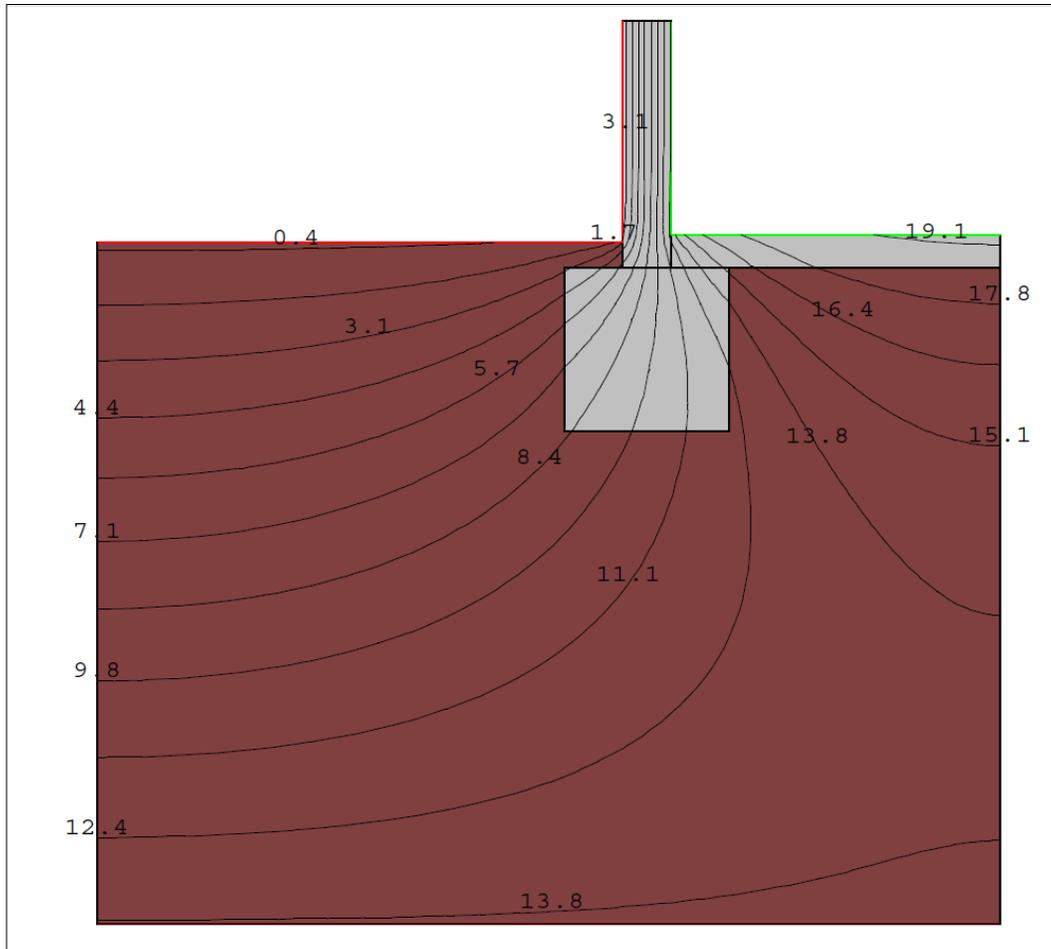


Figura 4.26: Isotermas escantillón 3
Fuente: Elaboración propia

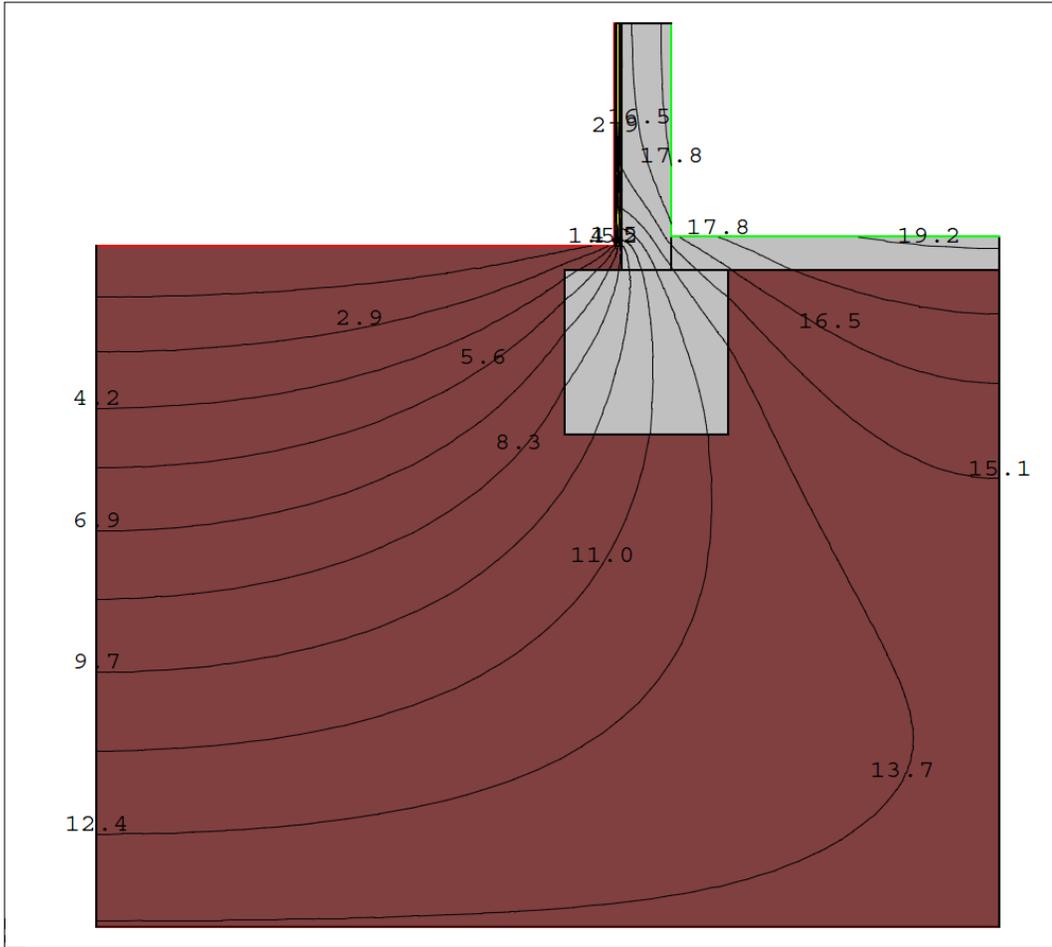


Figura 4.27: Isotermas escantillón 3 con EIFS exterior
 Fuente: Elaboración propia

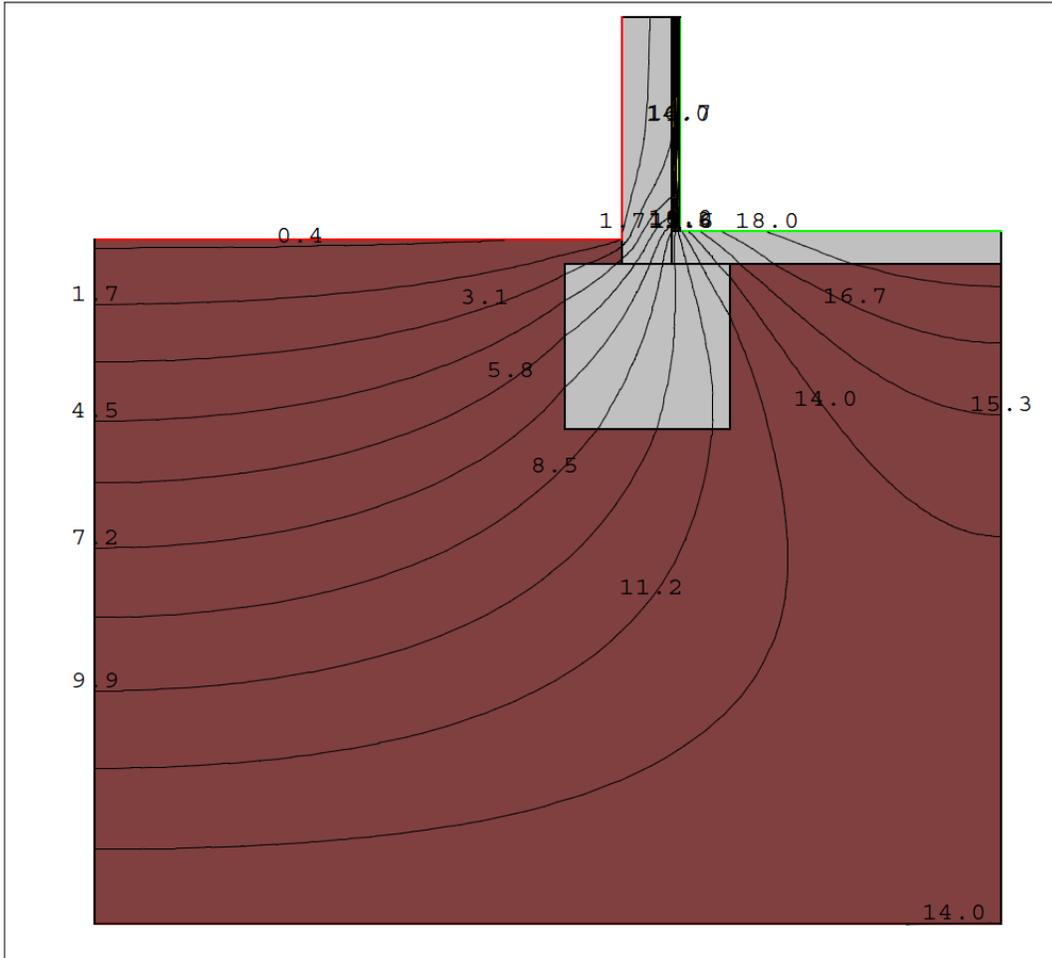


Figura 4.28: Isotermas escantillón 3 con aislación térmica interior
 Fuente: Elaboración propia

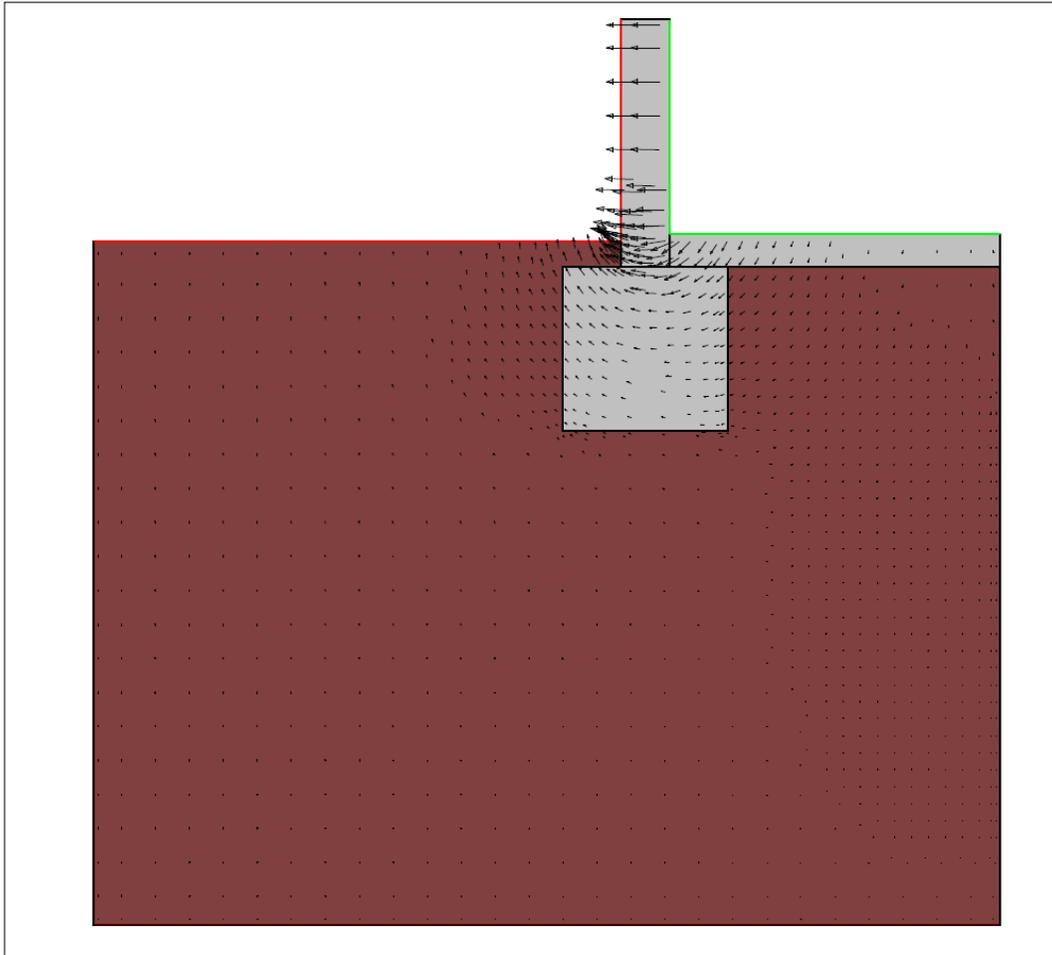


Figura 4.29: Vectores de flujo escantillón 3
Fuente: Elaboración propia

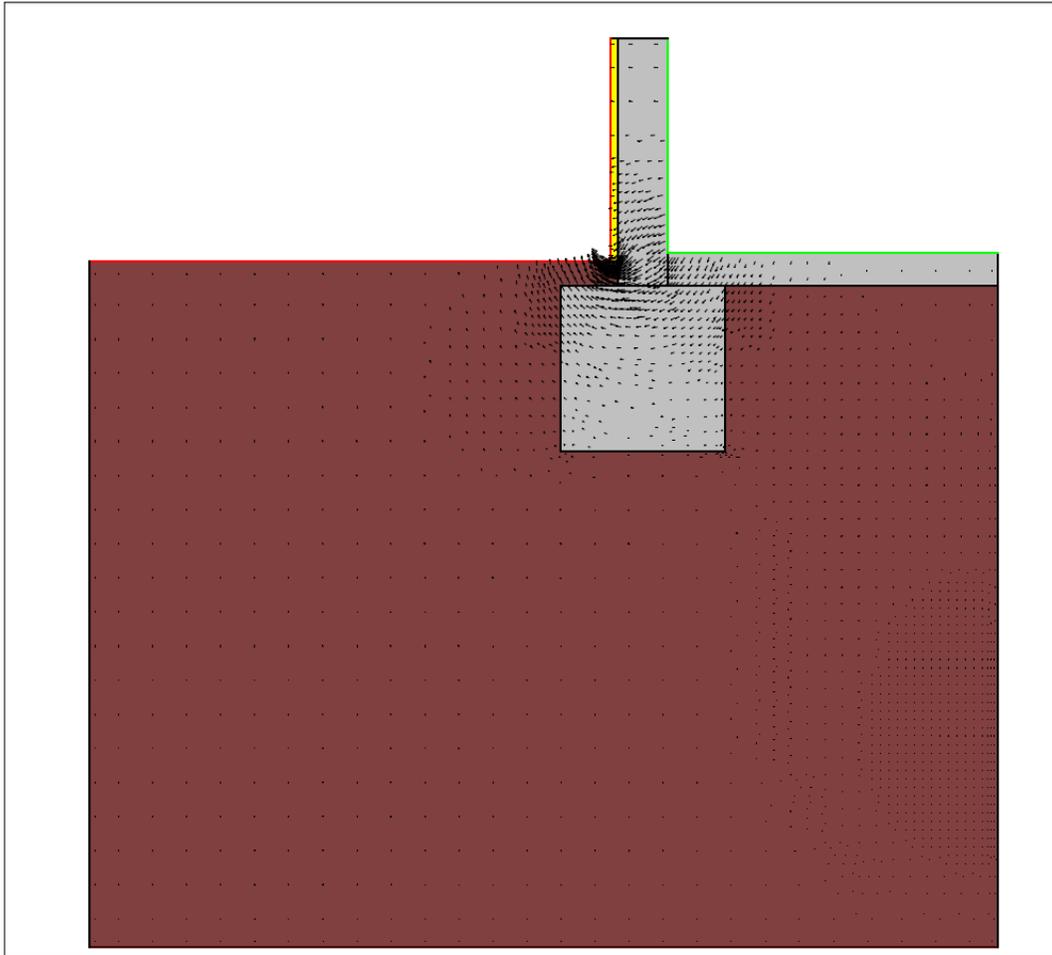


Figura 4.30: Vectores de flujo escantillón 3 con EIFS exterior
Fuente: Elaboración propia

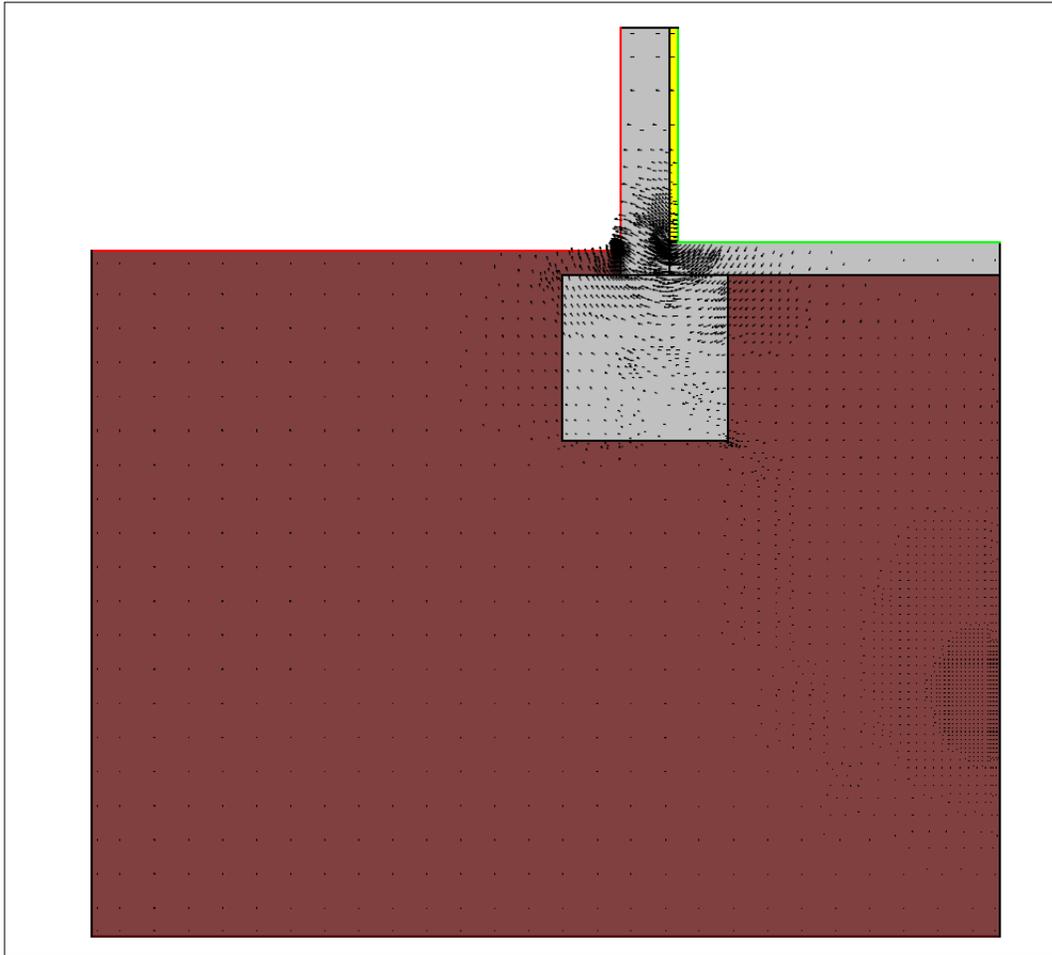


Figura 4.31: Vectores de flujo escantillón 3 con aislación térmica interior
Fuente: Elaboración propia

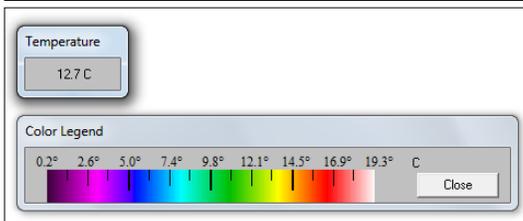
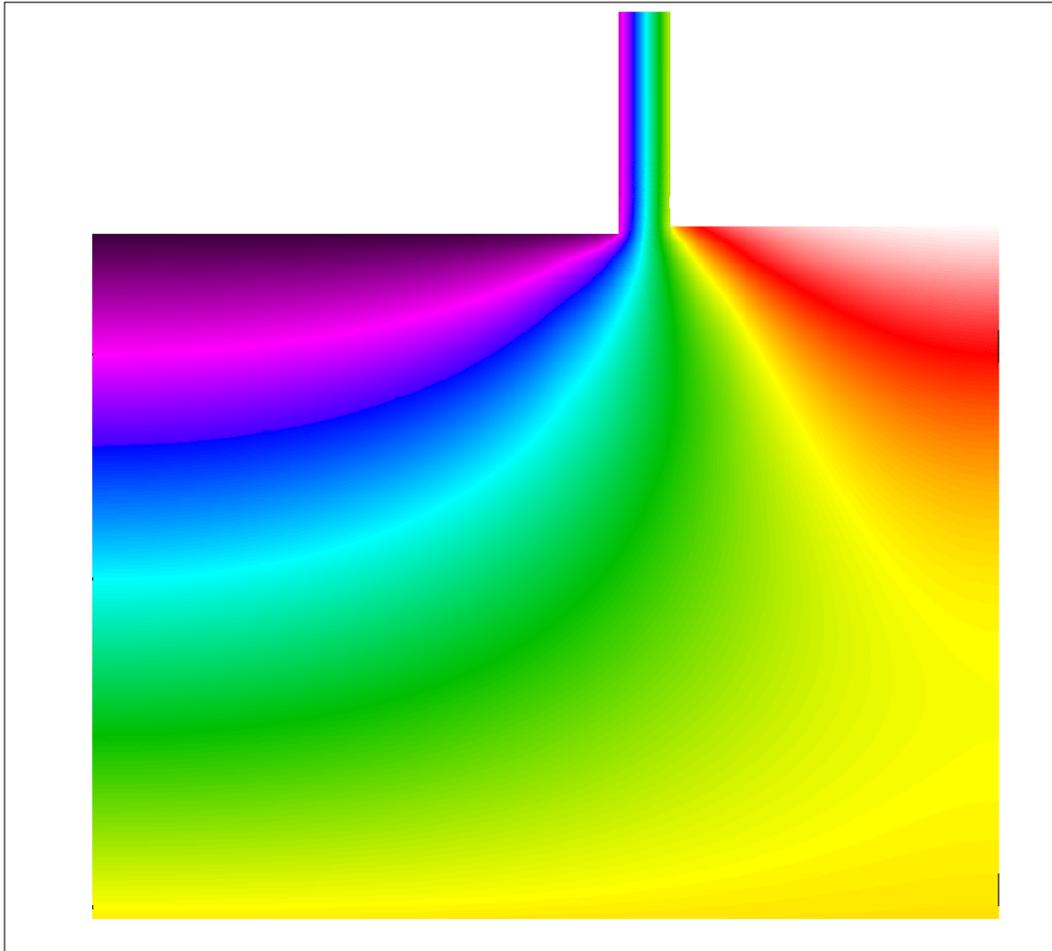


Figura 4.32: Flujo de calor escantillón 3
Fuente: Elaboración propia

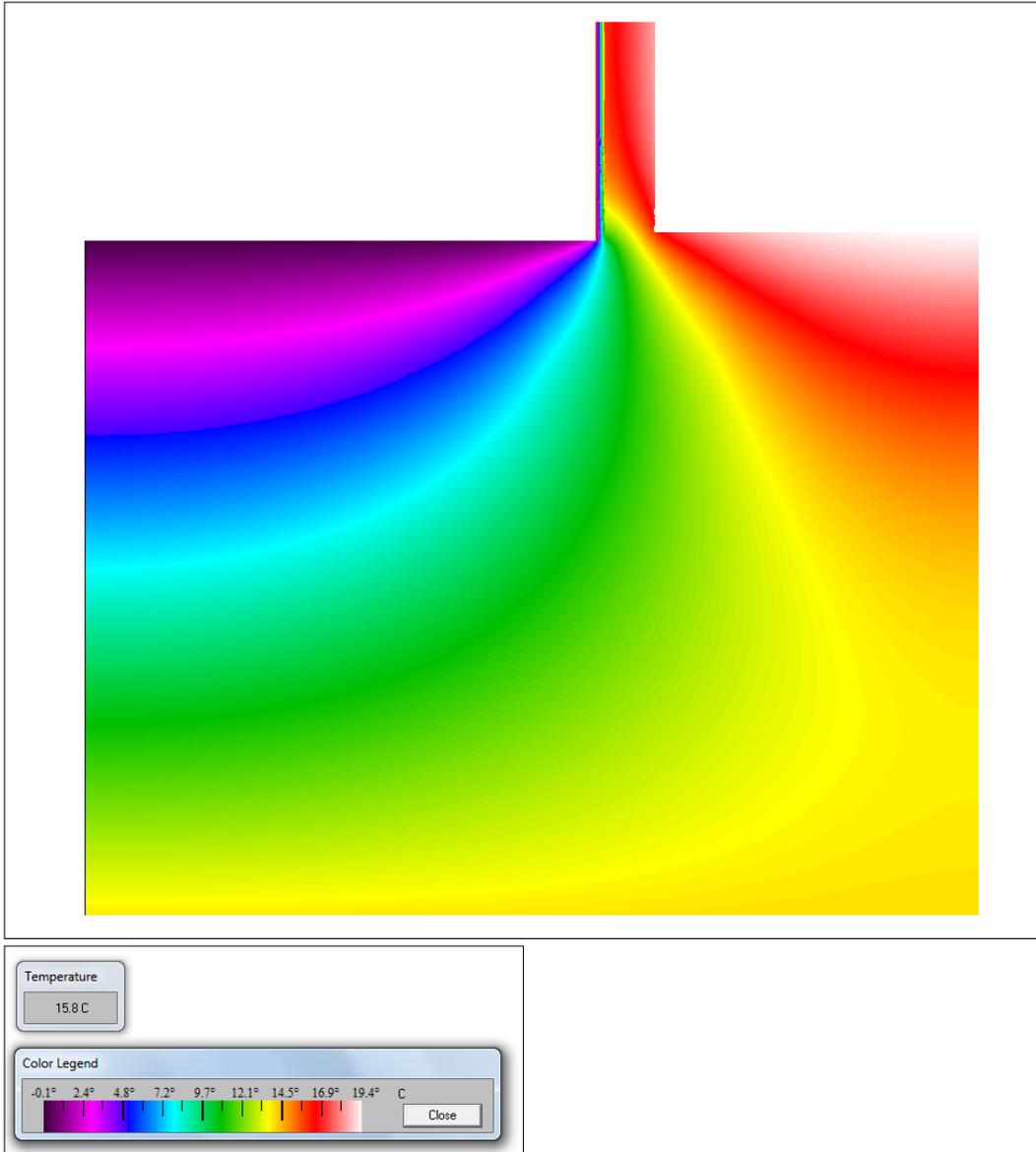


Figura 4.33: Flujo de calor escantillón 3 con EIFS exterior
Fuente: Elaboración propia

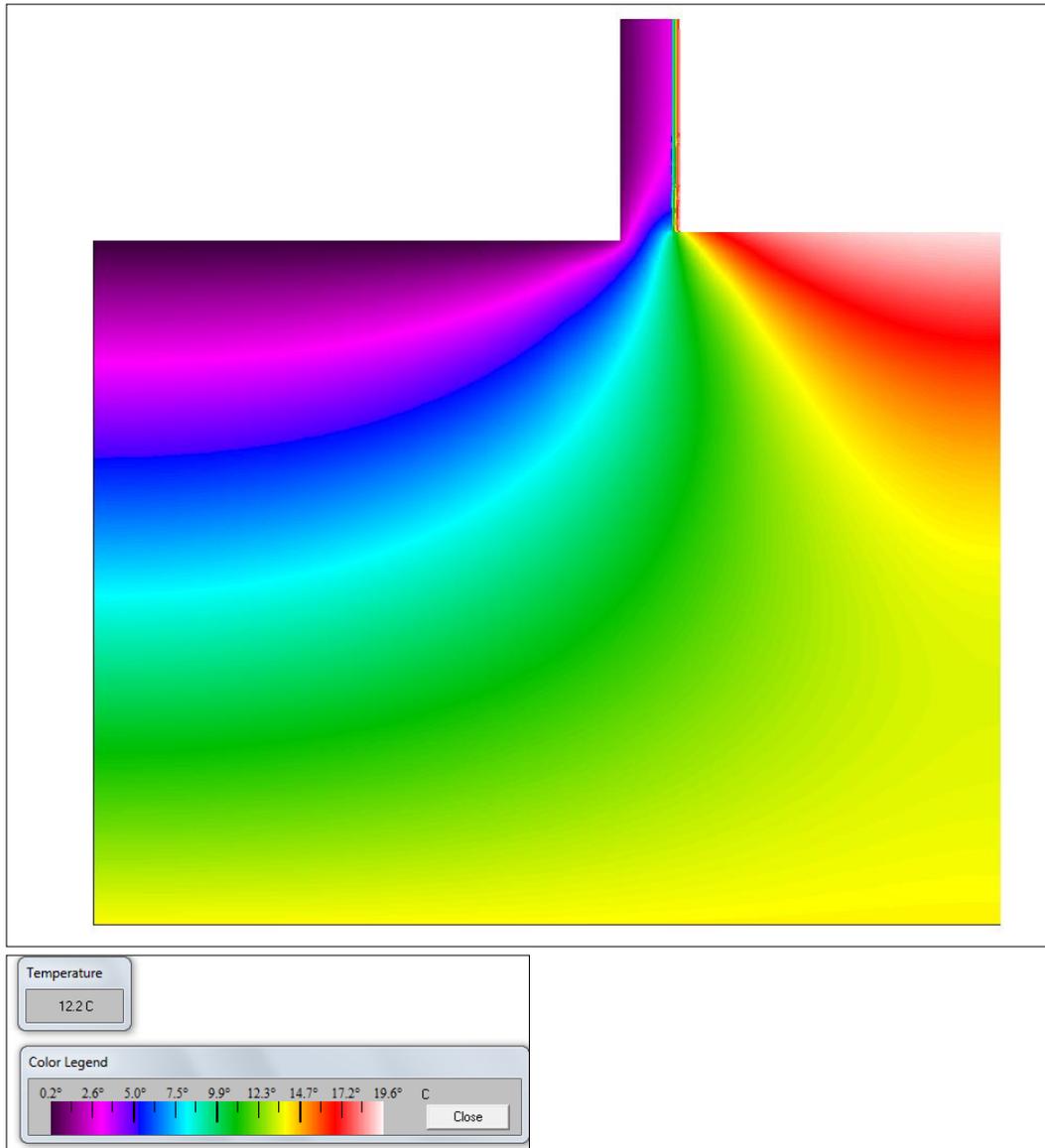


Figura 4.34: Flujo de calor escantillón 3 con aislación térmica interior
Fuente: Elaboración propia

Este es el caso más complicado a analizar. El caso más favorable, al igual que los anteriores, es el cual tiene el aislante por el exterior, aunque no es lo ideal debido a que para tener un máximo de aislación debería ponerse también aislante en el suelo, es decir en toda la envolvente de la edificación, pero al tratarse de una construcción ya hecha, no se hará.

La tabla 4.9 indica los valores de transmitancia térmica para cada elemento componente de éste escantillón.

Tabla 4.9: Tramitancia térmica para escantillón 3

Elemento	Rsi [m ² °C/W]	Rse [m ² °C/W]	R [m ² °C/W]	U [W/m ² °C]
Muro	0.12	0.05	0.18	2.82
Muro aislado	0.12	0.05	1.43	0.62
Losa	0.17	0.17	0.12	2.16

Fuente: Elaboración propia

A continuación se adjuntan los valores entregados por THERM para el conjunto de elementos de edificación. Se utilizó para calcular las pérdidas una diferencia de temperatura de 20°C y un perímetro de 67.9 metros.

Tabla 4.10: Pérdidas escantillón 3

Caso	U-Factor [W/m ² °C]	Error [%]	PSI [W/m ² °C]	Pérdida [W]
Sin EIFS	1.486	3.63	-3.090	-4197.7
EIFS Exterior	0.627	4.94	-3.064	-4162.4
Aislación int.	0.650	3.82	-2.914	-3958.8

Fuente: Elaboración propia

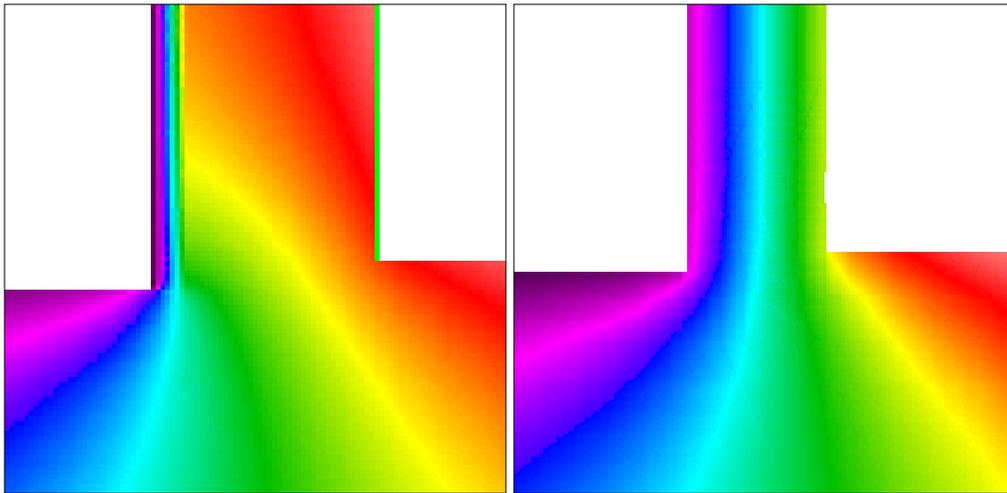
La menor temperatura superficial interior ocurre en el caso con aislación exterior, lo que da un factor de temperatura superficial interior mayor a 0.75.

Tabla 4.11: Valores de factor de temperatura de superficie interior

Caso	Temperatura [°C]			f
	Exterior	Interior	Superficial	
Sin EIFS	0	20	12.7	0.635
EIFS exterior	0	20	15.8	0.79
Aislación int.	0	20	12.2	0.61

Fuente: Elaboración propia

Se presenta a continuación un acercamiento al puente térmico que ocurre con la aislación en el exterior (a) y sin ésta (b), donde se observa que el puente térmico interior se logra controlar en una pequeña proporción, pero sigue estando presente.



(a)

(b)

Figura 4.35: Puentes térmicos escantillón 3
Fuente: Elaboración propia

4.3.4 Escantillón 4: Encuentro de muro con puerta

Finalmente se analiza el último escantillón el cual entregará un pequeño aporte a las pérdidas por el puente térmico, debido a que el largo de éste es muy pequeño.

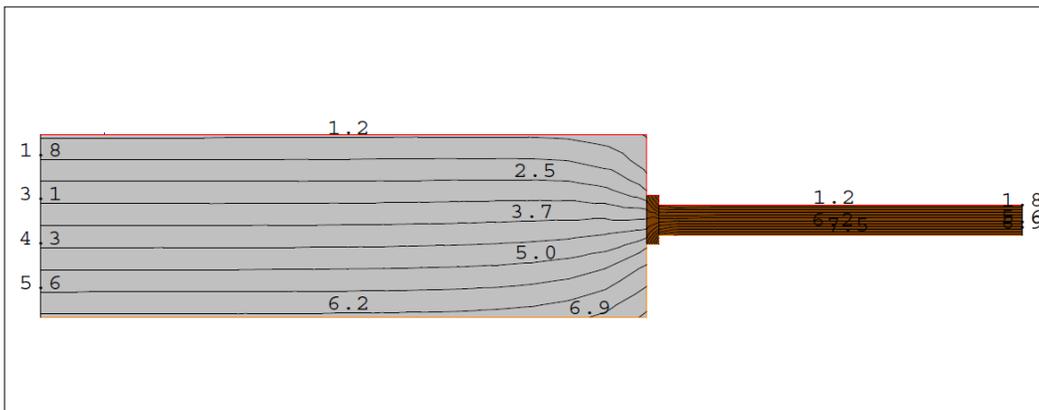


Figura 4.36: Isotermas escantillón 4
Fuente: Elaboración propia

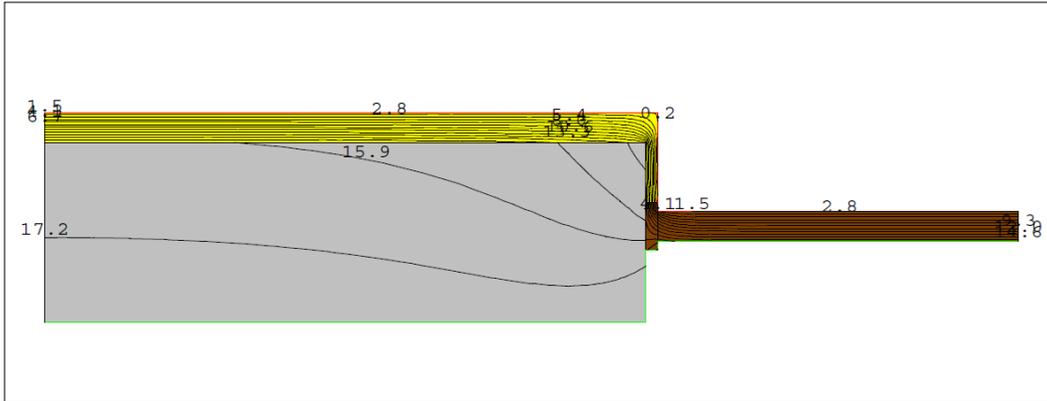


Figura 4.37: Isotermas escantillón con EIFS exterior
Fuente: Elaboración propia

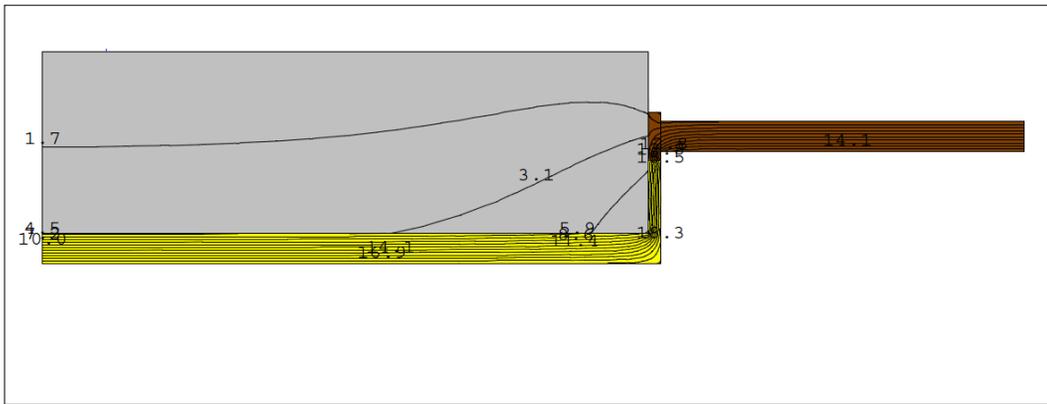


Figura 4.38: Isotermas escantillón con aislación térmica interior
Fuente: Elaboración propia

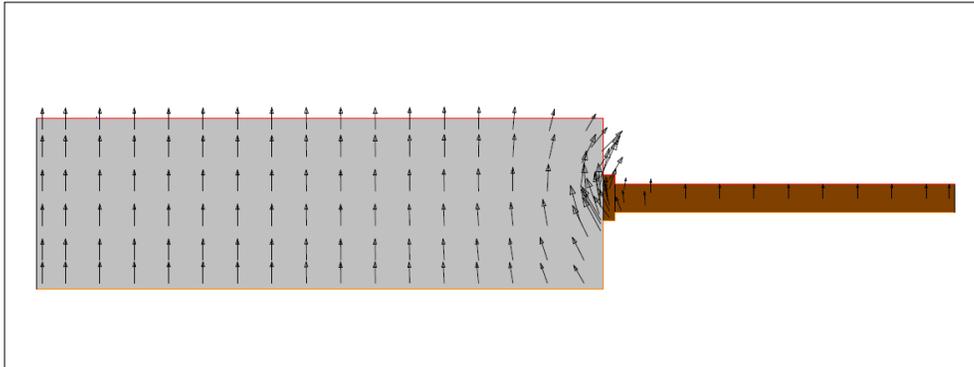


Figura 4.39: Vectores de flujo escantillón 4
Fuente: Elaboración propia

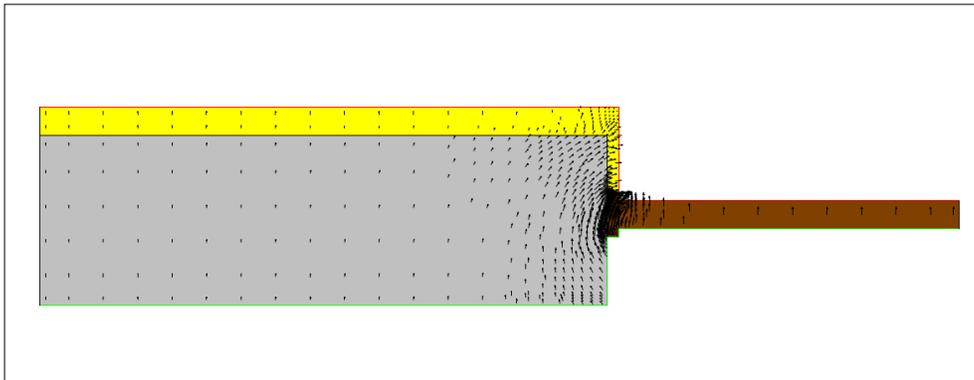


Figura 4.40: Vectores de flujo escantillón 4 con EIFS exterior
Fuente: Elaboración propia

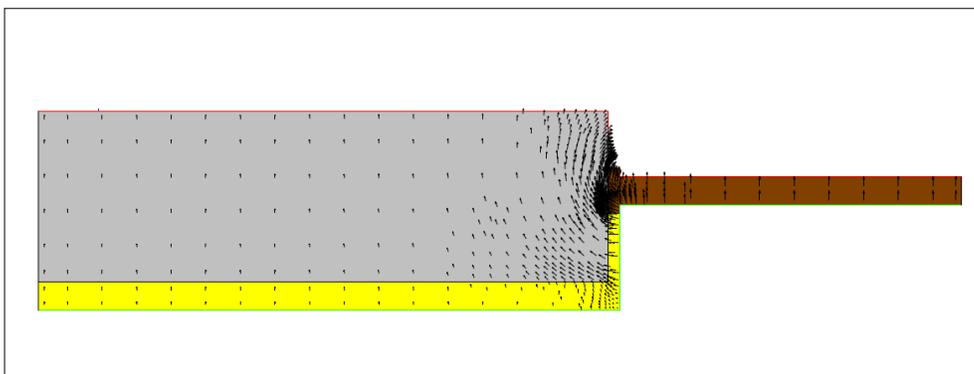


Figura 4.41: Vectores de flujo escantillón 4 con aislación térmica interior
Fuente: Elaboración propia

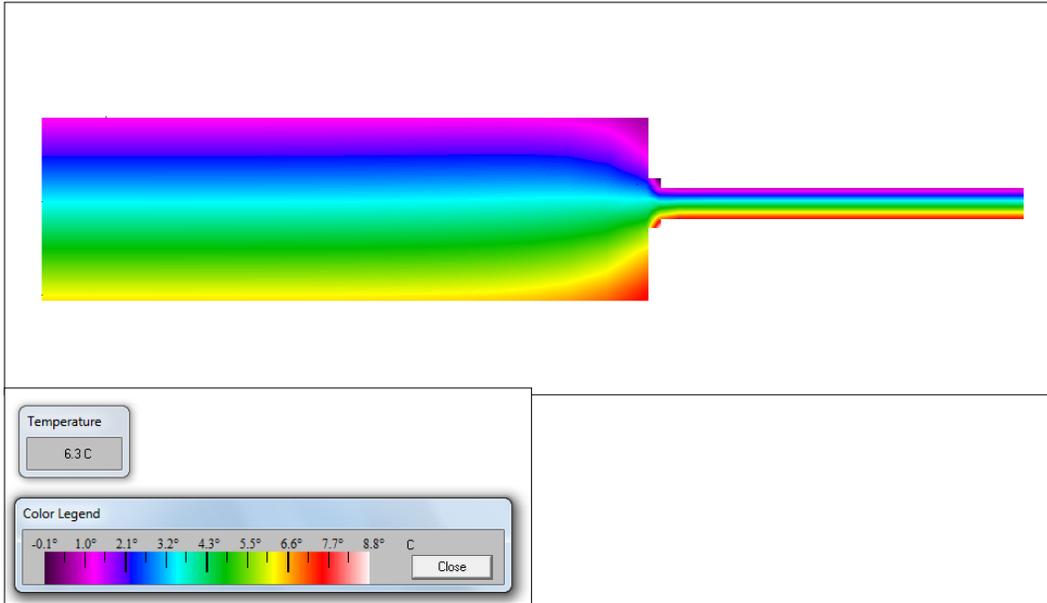


Figura 4.42: Flujo de calor escantillón 4
Fuente: Elaboración propia

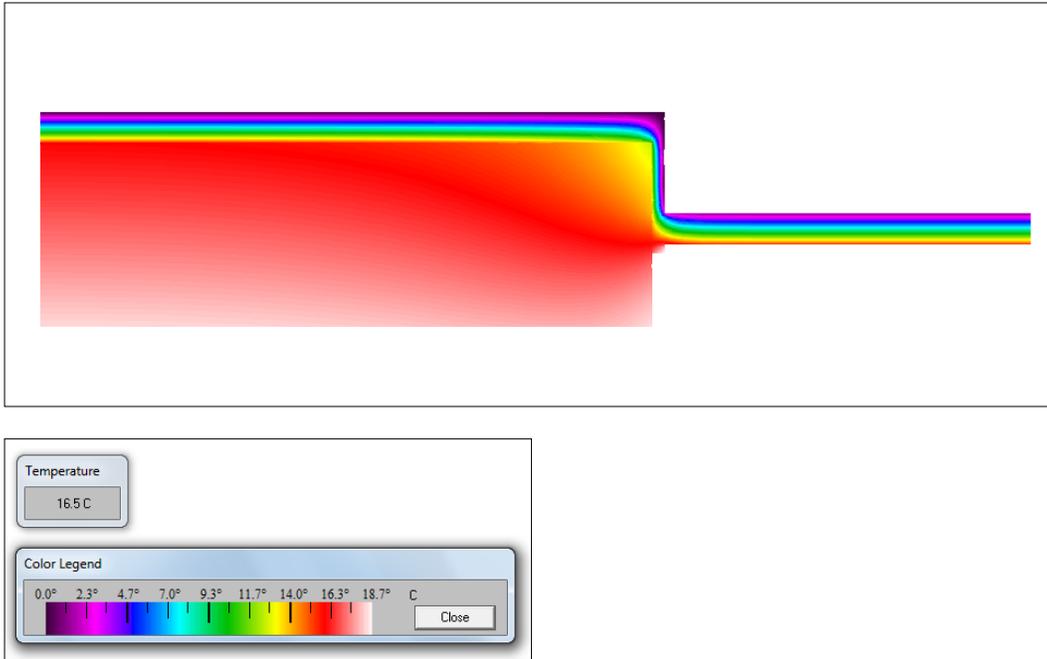


Figura 4.43: Flujo de calor escantillón 4 con EFS exterior
Fuente: Elaboración propia

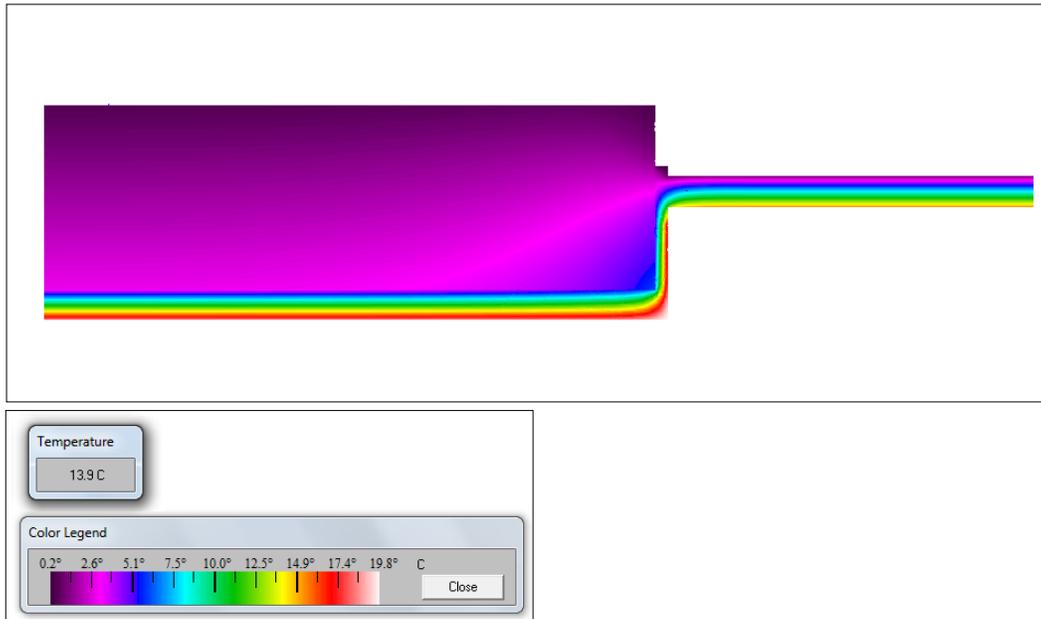


Figura 4.44: Flujo de calor escantillón 4 con aislación térmica interior
Fuente: Elaboración propia

En el escantillón 4 también el caso más favorable es al tener la aislación en el exterior. Se presenta a continuación las tramitancias térmicas para los elementos a analizar.

Tabla 4.12: Tramitancia térmica para escantillón 4

Elemento	Rsi [m ² °C/W]	Rse [m ² °C/W]	R [m ² °C/W]	U [W/m ² °C]
Muro	0.12	0.05	0.18	2.82
Muro aislado	0.12	0.05	1.43	0.62
Puerta	0.12	0.05	0.09	3.87

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4.12 muestra los valores del factor u entregados por THERM. El menor de estos es el caso de aislación interior, pero la pérdida ocurre en el caso con la aislación exterior. Para calcular ésta se usa una diferencia de temperatura de 20°C y un perímetro de 6.1 m, este perímetro es mucho menor que los anteriores, por lo que la pérdida por este puente térmico influye muy poco en el análisis final de la edificación.

Tabla 4.13: Pérdidas escantillón 4

Caso	U-Factor [$W/m^2\text{°K}$]	Error [%]	PSI [$W/m\text{°K}$]	Pérdida [W]
Sin EIFS	2.384	4.44	-1.038	-126.7
EIFS Exterior	1.239	3.46	-0.847	-103.4
Aislación int.	1.095	3.33	-1.101	-134.3

Fuente: Elaboración propia

El factor de temperatura superficial interior solo cumple el valor necesario en el caso con aislación exterior en cual se tienen 16.5 °C.

Tabla 4.14: Factor de temperatura superficial interior

Caso	Temperatura [°C]			<i>f</i>
	Exterior	Interior	Superficial	
Sin EIFS	0	20	6.3	0.315
EIFS exterior	0	20	16.5	0.825
Aislación int.	0	20	13.9	0.695

Fuente: Elaboración propia

4.3.5 Envoltente térmica por puentes térmicos

Luego de realizar el análisis por cada encuentro, se analiza lo que sucede en toda la envoltente térmica de la casa. Primero se analiza el caso sin aislación térmica para luego compararlo con la aislación por el exterior.

El coeficiente de transferencia de calor a través de elementos planos es calculado en la tabla 4.15, donde el valor U para cada elemento es multiplicado por el área donde se aplica. La suma de estos valores entrega el coeficiente de transferencia de calor a través de los elementos del edificio.

Tabla 4.15: Coeficiente de transferencia de calor sin aislación.

Elemento	U [$W/m^2\text{°K}$]	Área [m^2]	U*A [$W/\text{°K}$]
Muros	2.82	169.15	477.76
Techo	3.10	273.43	847.31
Losa	2.16	273.43	590.94
Ventana	5.36	32.275	172.90
Puerta	3.87	2.36	9.13
		Total	2098.04

Fuente: Elaboración propia

El valor del coeficiente de transferencia de calor debido a puentes térmicos en dos dimensiones se entrega en la tabla 4.16. El valor de Ψ de cada puente térmico se multiplica por el largo l donde es aplicado, y la suma de ellos entrega el coeficiente de transmisión de calor a través de los puentes térmicos.

Tabla 4.16: Coeficiente de transferencia de calor sin aislación debido a puentes térmicos en 2 dimensiones.

Puente Térmico	Ψ [w/m ² K]	l [m]	$\Psi \cdot l$ [W/°K]
Muro/losa	3.090	67.93	209.88
Muro/cielo	1.694	67.93	115.06
Muro/ventana	0.508	74.22	37.74
Muro/puerta	3.090	6.10	18.85
		Total	381.53

Fuente: Elaboración propia

Luego se calcula el coeficiente de acoplamiento térmico L , para esto no se considerará la transmitancia térmica puntual.

$$L = 2098.04 + 381.53$$

$$= 2479.6 \text{ [W/°K]}$$

El coeficiente a través de los puentes térmicos representa el 15% del total.

A continuación se realiza el mismo análisis con aislación térmica en los muros por el exterior.

Tabla 4.17: Coeficiente de transferencia de calor con aislación exterior.

Elemento	U [W/m ² °K]	Área [m ²]	$U \cdot A$ [W/°K]
Muros	0.62	169.15	105.45
Techo	3.10	273.43	847.31
Losa	2.16	273.43	590.94
Ventana	5.36	32.28	172.90
Puerta	3.87	2.36	9.13
		Total	1725.73

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.18: Coeficiente de transferencia de calor con aislación debido a puentes térmicos en 2 dimensiones

Puente Térmico	ψ [w/m ² K]	l [m]	$\psi \cdot l$ [W/°K]
Muro/losa	3.064	67.93	208.12
Muro/cielo	0.843	67.93	57.30
Muro/ventana	0.259	74.22	19.20
Muro/puerta	0.847	6.10	5.17
		Total	289.79

Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de acoplamiento térmico es el siguiente.

$$L = 1725.73 + 289.79$$

$$= 2015.5 \text{ [W/°K]}$$

El coeficiente a través de los puentes térmicos en dos dimensiones representa el 14% del total y se obtiene una diferencia de 19% entre el caso sin aislación y el caso con aislación térmica.

4.4 Análisis envolvente térmica

A continuación se realiza un análisis de toda la envolvente estudiada.

4.4.1 Pérdidas por conducción

Primero se analizarán las pérdidas por conducción, las cuales ocurren cuando existen flujos de calor a través de la envolvente de la edificación, dependiendo del sentido del flujo pueden ser pérdidas o ganancias. La cantidad de calor perdido o ganado dependerá de las características térmicas de los materiales empleados, de la superficie y de la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.

Para calcular estas pérdidas se utilizan los datos obtenidos en el punto 4.3.5 donde se tiene el coeficiente de transferencia de calor, el cual al multiplicarlo por la diferencia de temperatura se obtiene la pérdida por conducción.

No se consideran las pérdidas ocurridas por la losa, debido a que como se observa en la figura 4.30 la mayoría del calor se escapa por los cimientos, no por el suelo.

Tampoco se considerarán las pérdidas asociadas al techo, debido a que la transferencia de calor hacia el piso de arriba es menor a la que sale hacia el exterior.

Para obtener este resultado se utiliza la ecuación (VIII) a la cual se le incluyen los puentes térmicos, por lo que ésta queda de la siguiente forma:

$$\Phi = (U \cdot A + \Psi \cdot l) \cdot \Delta T \text{ W}$$

Tabla 4.19: Pérdidas por conducción construcción base

Elemento	U*A [W/°K]	Puente Térmico	$\Psi \cdot l$ [W/°K]
Muros	477.76	Muro/losa	209.88
Ventana	172.90	Muro/cielo	115.06
Puerta	9.13	Muro/ventana	37.74
		Muro/puerta	18.85
$(U \cdot A + \Psi \cdot l)$		1041.32	
ΔT		20	
Φ		20.8 [kW]	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.20: Pérdidas por conducción caso con aislamiento exterior

Elemento	U*A [W/°K]	Puente Térmico	$\Psi \cdot l$ [W/°K]
Muros	105.45	Muro/losa	57.30
Ventana	172.90	Muro/cielo	19.20
Puerta	9.13	Muro/ventana	5.17
		Muro/puerta	18.85
$(U \cdot A + \Psi \cdot l)$		658.93	
ΔT		20	
Φ		13.2 [kW]	

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la pérdida por conducción al tener un aislante exterior disminuye un 37% del caso base. Esto se debe a que el aislante tiene una menor transmitancia, es decir, una mayor resistencia térmica, lo que disminuye el paso del calor de un lado a otro. En este caso del interior al exterior de la edificación.

4.4.2 Pérdidas por infiltración

Para calcular el calor transferido por infiltración y ventilación se utiliza la ecuación (IX). Para esto se utiliza el valor de $n=13$ dado por el ensayo de blower door para el caso base, y para el caso con aislación térmica se utiliza un valor de $n=5$ para el caso de oficinas. Se utiliza una diferencia de temperatura de 20°C . El volumen total de la oficina es de 820.3 metros cúbicos.

Para el caso base:

$$\Phi_{\text{ventbase}} = 74.64 \text{ [kW]}$$

El caso con aislación térmica:

$$\Phi_{\text{ventaislado}} = 28.71 \text{ [kW]}$$

En el caso de las pérdidas por infiltración y ventilación se debería observar una disminución del 62% en la situación de que el aislante causara un intercambio de aire deseado de 5 veces por hora.

4.4.3 Coeficientes volumétricos de pérdidas de energía

Para calcular los coeficientes volumétricos de pérdidas de energía se utilizan las ecuaciones (XV) y (XVI). Al igual que en el punto 4.4.1, solo se consideran las pérdidas de la envolvente que da hacia el exterior, es decir muros perimetrales y ventanas y puerta exteriores.

Primero se calcula el coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por transmisión de la envolvente, G_{v1} , y luego el coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales, G_{v2} , con un volumen de 820.3 m^3 y un intercambio de aire de 13 veces por hora se obtiene para el caso base:

$$G_{v1\text{base}} = 1.3 \text{ [W/m}^3\text{K]}$$

$$G_{v2\text{base}} = 5.8 \text{ [W/m}^3\text{K]}$$

Con los valores del caso aislado y un intercambio de aire de 5 veces por hora, se obtiene para el segundo caso:

$$G_{v1\text{aislado}} = 0.8 \text{ [W/m}^3\text{K]}$$

$$G_{v2\text{aislado}} = 2.6 \text{ [W/m}^3\text{K]}$$

Al considerar solo el G_{v1} , se tiene una diferencia de 37% de diferencia de calor que favorece al caso con aislante exterior, lo que se ve influenciado solamente por la adición del aislante al exterior de los muros perimetrales. En comparación al G_{v2} , en el cual influye además la tasa de intercambio de aire

que debería tener la edificación, lo que corresponde al 56% menos en el caso con aislante exterior.

4.4.4 Gasto energía total

Se utiliza el coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales para obtener el gasto de energía total. Este se considera que viene dado por la energía requerida en calefacción por unidad de superficie.

Este gasto viene dado de la ecuación (XVII), para el cual se necesitan los grados días. En este caso se considerarán 1000 GD, lo cual es el caso más desfavorable para la zona 3. El 24 de la ecuación representa la cantidad de horas que la edificación se encuentra calefaccionada, pero al ser una oficina, ésta sólo se utiliza por un máximo de 12 horas diarias, por lo que la ecuación queda así:

$$G_{energético} = \frac{G_{v2} \cdot V \cdot GD \cdot 12}{1000} [kWh/año]$$

Reemplazando los valores, se obtiene un valor de:

$$G_{energético\text{base}} = 57283.2 [kWh/año]$$

$$G_{energético\text{aislado}} = 25133.1 [kWh/año]$$

Acá se observa claramente la diferencia del 56% explicada anteriormente, esta se mantiene debido a que el coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales es amplificado por una constante para ambos casos.

En el manual de aislación térmica exterior hay una tabla que para la zona 3 el gasto energético máximo por unidad de superficie es de 166.8 [kWh·año/m²], por lo que al dividir los gastos energéticos antes calculados por el área, se obtiene que para el caso base da un valor de 263.7 [kWh·año/m²] el cual es un 37% mayor al impuesto por el manual.

Para el caso aislado se obtiene un valor de 115.7 [kWh·año/m²], el cual está dentro del rango aceptable.

4.4.5 Análisis económico

Para el análisis económico se adjunta en la siguiente tabla los valores del aislante térmico EIFS y el valor de la energía eléctrica que se utiliza para calentar la casa oficina:

Tabla 4.21: Valores en UF

Elemento	Precio
EIFS	1.5 UF/m ²
Energía eléctrica	0.0037 UF/kWh

Fuente: Elaboración propia

El costo que tendría la instalación de EIFS utilizando las dimensiones de la casa, un área total de 203.8 m², se obtiene un valor de 305.7 UF.

Hay que tomar en cuenta que para estos cálculos solo se consideran las pérdidas, no las ganancias que hacen disminuir las pérdidas.

Se utiliza el gasto energético total para calcular cuánto se necesita al año para cubrir las pérdidas necesarias, por lo que quedan los dos valores:

$$\text{Energía}_{\text{base}} = 212 \text{ UF}$$

$$\text{Energía}_{\text{aislado}} = 93 \text{ UF}$$

Se observa que para el caso base se gasta 2.3 veces de lo que se gasta en el caso aislado, donde se obtiene un ahorro de 119 UF al año al aislar la casa por el exterior.

Si comparamos cuánto cuesta colocar el aislante con cuánto es el ahorro, se observa que en un poco menos de 3 años se recupera la inversión inicial.

Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones

Finalmente, luego de haber realizado los cálculos, se comprueba que el diseño base de la edificación en comparación a los cambios propuestos, tiene pérdidas energéticas superiores a 56% en kilowatts por hora en el año, considerando que el caso propuesto tiene una aislación térmica de 50 milímetros, cambio a ventanas eficientes, y que el intercambio de aire por hora fue disminuido gracias a los cambios realizados de 13 a 5 veces. Se esperaba un resultado así debido a las grandes propiedades de los nuevos materiales impuestos. Hay que considerar que todos los cálculos fueron realizados para el caso más desfavorable en cuanto a temperaturas.

Si analizamos la envolvente exterior, es decir los muros perimetrales, se puede observar un ahorro del 26% en watts si solo se considera agregar el aislante exterior. Si tomamos en cuenta que cerca del 75% de las pérdidas de un edificio no aislado corresponden a las pérdidas por superficie, es decir ventanas, puertas, techos, muros y suelos, es muy bueno considerar el ahorro obtenido sin tomar en cuenta las pérdidas por techo y suelo.

Las pérdidas del techo de la oficina fueron solo consideradas para calcular los puentes térmicos en la unión del muro con la losa del segundo piso, ya que al ser un sistema cerrado las pérdidas producidas por ahí son menores a las pérdidas hacia el exterior.

Cuando se analiza el piso de la casa, se observa que una gran cantidad de calor se escapa por la unión del radier con los muros perimetrales, ya que en este caso el suelo funciona como un pequeño aislante. En el caso de que la casa no fuera refaccionada y se estuviera construyendo desde cero, se recomendaría agregar también un aislante en el piso, el cual puede ser entre la terminación de éste y el radier. Se debería considerar agregar algún aislante mayor en el muro cerca del suelo, ya que se observa que el factor-U no disminuye en gran consideración del caso aislado, con el caso base.

Al analizar el gasto energético también solo se consideraron los muros perimetrales, ya que este valor solo considera las pérdidas térmicas por la envolvente y las pérdidas por renovaciones de aire. Se observa que tiene un 37% más del rango aceptable según el manual de aislación térmica exterior, y al analizarlo con el caso aislado disminuye más de la mitad y queda dentro del rango aceptable.

Al concluir sobre la infiltración de la casa, es muy grande el valor inicial el cual se requiere disminuir, se espera que con la correcta colocación del aislante térmico las fugas de aire disminuyan considerablemente y se pueda llegar al valor esperado para una oficina. Hay que poner bastante énfasis a las fisuras, las juntas de puertas y ventanas y también a las instalaciones. Se supone que con los cambios a realizar se obtenga el máximo rendimiento de la casa siguiendo los estándares de infiltración.

Como la resistencia total del muro se obtiene sumando las resistencias de cada uno de los materiales componentes, no influye la ubicación del aislante en este resultado. Esta ubicación sí influye en otras ventajas prácticas, como de facilidad de colocación del aislante, no disminución del área interior de la casa, una temperatura superficial interior adecuada y evitar la condensación intersticial.

Al tener la temperatura superficial dentro del rango aceptable propuesto en cada uno de los casos analizados, se disminuye la condensación en los muros por el interior de la casa, lo que disminuye la humedad interior en gran consideración. Como se tiene una humedad controlada, se tiene una mejor calidad de vida en cuanto a las enfermedades que se pueden producir y la no disminución de vida útil de los materiales. Hay que considerar también que se debe mantener una temperatura lo más constante posible y emplear calefacción equilibrada y adecuada.

Cuando se realiza el análisis económico, se observa que sí es conveniente la utilización del sistema aislante exterior, debido a que en solo 3 años se puede recuperar el dinero gastado en la colocación ahorrando en la calefacción de la casa.

Se cumplió con los objetivos propuestos, se pudo reconocer las principales características y materialidad de la envolvente, y las pérdidas térmicas. Se presenta la diferencia entre el caso base con el caso propuesto con mejoras en la aislación térmica de los muros perimetrales.

Finalmente se espera que los gastos de calefacción o refrigeración disminuyan considerablemente al dificultar las fugas de calor a través de muros principalmente.

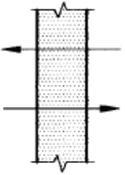
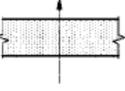
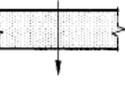
Bibliografía

1. ASTM E779-10 Standard test method for determining air leakage rate by fan pressurization
2. ASTM E1827-11 Standard test method for determining air tightness of buildings using an orifice blower door
3. Baño A. La arquitectura bioclimática. Madrid
4. Bustamante W., Cepeda R., Martínez P. y Santa María H. 2009 Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible. Capítulo IX
5. Bustamante W. 2009 Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social
6. CDT 2008, Aislación térmica exterior manual de diseño para soluciones en edificaciones
7. CDT 2010, Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso
8. CDT 2012, Humedad por condensación en viviendas
9. Chapple P. 2008 Confort térmico en las viviendas. Revista BIT Julio
10. CIBSE guide A Environmental design 2006
11. Díaz M., Tenorio J. Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los edificios
12. GUIA DEL ESTADAR PASSIVHAUS edificación de consumo energético casi nulo 2011 Madrid
13. Janssens A., Roels S., Standaert P., Van Londersele E., Vandermarcke B. y Wouters P. Development of limits for the linear thermal transmittance of thermal bridges in buildings

14. Lawrence Berkeley National Laboratory 2011. THERM 6.3/ WINDOW 6.3 NFRC simulation manual.
15. Lindley D. 2000 Aislación térmica exterior requisito constructivo; Revista BIT
16. Little J. y Aregi B. 2011 Thermal bridging: understanding its critical role in energy efficiency. Ireland
17. Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Innova Chile 2012
18. NCH 853 of91 Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas
19. Paredes A. 2011 Influencia de los puentes térmicos en el comportamiento energético de la fachada del edificio. España
20. REGLAMENTACIÓN TÉRMICA 2006, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Art 4.1.10
21. Tutorial THERM
22. UNE-EN ISO 10211, Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales
23. UNE-EN ISO 13370, Thermal performance of buildings
24. UNE-EN ISO 14683 Thermal bridges in building construction

Anexos

Anexo A: Tabla resistencias superficiales Nch 853 of 2007

Resistencias térmicas de superficie en $m^2 \times K/W$							
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que 60° respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

NOTAS

- 1) Estos valores se han obtenido experimentalmente por el método de NCh851.
- 2) Los valores de esta tabla corresponden a velocidades del viento en el exterior menores que 10 km/h. Para velocidades superiores se debe considerar $R_{se} = 0$.
- 3) Bajo condiciones de pérdidas térmicas por parte del local (invierno), en general, el flujo de calor es ascendente a través de techumbres y descendente a través de los pisos.
- 4) Bajo condiciones de ganancias térmicas por parte del local (verano), en general, el flujo de calor es ascendente a través de los pisos y descendente a través de las techumbres.

Anexo C: Pasos para aplicar el Blower Door

Información de test:

Técnica:	Ventilador: S/N: Medidor: S/N:
	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Descripción del Edificio:	Nombre: Teléfono: Dirección:
Fecha:	Hora:

Lista de pre chequeado:

Antes	Después	Tarea	Notas
Preparación de la casa			
		Elegir la puerta más apropiada para instalar el Ventilador	
		Cerrar todas las puertas exteriores	
		Cerrar puerta de sótano	
		Cerrar todas las ventanas	
		Cerrar todos los accesos del ático dentro de la casa	
		Cerrar chimeneas	
Preparación interior de la casa			
		Mover elementos sueltos cercanos al ventilador	
		Abrir puertas interiores	
		Verificar que no haya llamas o brasas calientes (si hay, interrumpa la prueba), cubrir las cenizas frías	
Aparatos (apagar)			
		Ventiladores de cocina y baño	
		Ventilador de la casa	
		Secadora de ropa	
		Cerrar ventilación exterior	
		Calefacción central	

ASTM procedimiento para test de infiltración de aire:

1.	<p>Hacer observaciones generales (estado de las ventanas, puertas, paredes, techo, piso, etc) y mediciones del recinto (área, volumen, altura). Bosquejar vista en planta de la construcción para ayudar en el cálculo de mediciones de área y volumen.</p> <table border="1" data-bbox="354 953 699 1234"> <tr> <td data-bbox="354 953 527 1050">Elevación sobre nivel el mar</td> <td data-bbox="527 953 699 1050">m</td> </tr> <tr> <td data-bbox="354 1050 527 1113">Altura desde el suelo</td> <td data-bbox="527 1050 699 1113">m</td> </tr> <tr> <td data-bbox="354 1113 527 1176">Volumen de envolvente</td> <td data-bbox="527 1113 699 1176">m³</td> </tr> <tr> <td data-bbox="354 1176 527 1234">Área del piso</td> <td data-bbox="527 1176 699 1234">m²</td> </tr> </table>	Elevación sobre nivel el mar	m	Altura desde el suelo	m	Volumen de envolvente	m ³	Área del piso	m ²
Elevación sobre nivel el mar	m								
Altura desde el suelo	m								
Volumen de envolvente	m ³								
Área del piso	m ²								
2.	Registrar la información siguiente en la apropiada sección en la hoja 3.								
3.	Medir temperatura interior y exterior antes y después del test.								
4.	Colocar el ventilador en la puerta escogida. Extienda el tubo rojo a través del panel hacia afuera.								
5.	Sellar el ventilador antes de tomar la presión base, use el plato C en el ventilador.								
6.	Tomar una (1) lectura de presión base promedio durante 10 s antes de comenzar la prueba.								
7.	<p>Inducir presiones entre 10 y 60 Pa, con incrementos de 5 y 10 Pa; medir la presión del edificio y el flujo de aire durante un periodo de 20 segundos.</p> <ol style="list-style-type: none"> Utilizar la opción "Set Pressure" en la DM-2 para inducir presiones entre 10 y 60 Pa. Registrar valores PrA en la línea de "Presión de edificio". Registrar valores PrB en la línea de "Presión del ventilador". Registrar el rango de flujo en el ventilador a través del cual las presiones están siendo inducidos 								
8.	Anotar la presión base promedio con al menos 10 s después de terminar la prueba.								
9.	Repetir pasos 4 a 9 en la dirección opuesta (realizar presurización y despresurización)								

Fecha de prueba: _____ . Hora: _____ .

Tipo: Presurización Despresurización

Velocidad del viento: _____ mph Dirección del viento: _____.

Temperatura inicial (°C) Interior: _____ Exterior: _____.

Altura x delta temperatura: (interior-exterior) x altura edificio _____ m°C

Presión Bias, inicial [Pa]:														
--------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tiempo: _____ s

Presión edificio [Pa]:														
Presión ventilador [Pa]														
Rango ventilador														

Tiempo: _____ s

Presión Bias, final [Pa]:														
------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Temperatura final (°C) Interior: _____ Exterior: _____.

	Valor	Unidades	Error (%)
Flujo de aire en STP		CFM a 50 Pa	
Tasa de cambio de aire		/h a 50 Pa	
Flujo/área suelo		CFM/ pies ² a 50 Pa	
Flujo/ área envolvente		CFM/ pies ² a 50 Pa	
Área equivalente de infiltración		in ² a 10 Pa	
LBL área de infiltración efectiva		in ² a 4 Pa	