

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCION – REY BALDUINO BELGICA

**Estudio de la Hermeticidad en una vivienda unifamiliar en la comuna de
coronel**

Trabajo de Titulo para optar al título de Ingeniería en Construcción

Alumno: Hendricks Heinz Dean Unda Peña

Profesor Guía: Sr. Cristopher Alexis Pérez Marín

2024

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto busca evaluar y mejorar la hermeticidad de una vivienda unifamiliar en la comuna de Coronel, Región del Biobío, construida en el año 2000 como parte de un programa de vivienda social. La vivienda presenta serios problemas de infiltraciones de aire no controladas, lo que afecta negativamente la eficiencia energética, el confort térmico y la calidad del aire interior. Esto obliga a los ocupantes a utilizar en exceso la calefacción, incrementando los costos operativos y reduciendo la sostenibilidad del inmueble.

Se realizaron pruebas con el equipo "blower door" y cámaras termográficas para identificar puntos críticos de infiltración, encontrándose deficiencias significativas en ventanas, puertas y conexiones estructurales. También se midieron niveles de temperatura, humedad y CO₂, evidenciando condiciones que no cumplen con los estándares de confort y salud. Los resultados mostraron tasas de infiltración de aire muy superiores a las permitidas por el Decreto N.º 47, que regula la hermeticidad en edificaciones y que entrará en vigor en 202.

El proyecto propone soluciones constructivas basadas en normativas chilenas, como mejorar el sellado de puertas y ventanas, instalar sistemas de aislamiento térmico y aplicar ventilación forzada en áreas específicas. Además, se incluye un análisis de viabilidad económica para garantizar la implementación práctica de estas medidas. Estas mejoras no solo optimizarán la eficiencia energética y el confort de la vivienda, sino que también servirán como referencia para abordar problemas similares en la región, contribuyendo a la sostenibilidad y al cumplimiento.

INDICIE DE CONTENIDO

INTRODUCCION	8
FORMULACIÓN GENERAL DEL PROBLEMA	9
PRINCIPALES INTERROGANTES DEL PROYECTO.....	19
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	20
METODOLOGÍA PROPUESTA PARA REALIZAR EL PROYECTO	24
OBJETIVOS DEL PROYECTO	26
OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO	26
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
MARCO TEÓRICO	27
MARCO NORMATIVO	29
CAPITULO 1: DIAGNOSTICO DE LA VIVIENDA EN ESTUDIO	30
GENERALIDADES.....	30
IDENTIFICACIÓN DE LA VIVIENDA	30
DISEÑO DE LA ENVOLVENTE.....	33
VERIFICACIÓN DE HERMETICIDAD	37
EQUIPO BLOWER DOOR.....	37
CONSIDERACIONES PREVIAS AL UTILIZAR EL EQUIPO	38
RESULTADOS DEL ESTUDIO.....	40
PUNTOS DE INFILTRACIONES	45
PRIMER NIVEL DE LA VIVIENDA	47
SEGUNDO NIVEL DE LA VIVIENDA	55
RENOVACIÓN DE AIRE EN LA VIVIENDA	59
CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO DE LA VIVIENDA EN ESTUDIO...	61
CAPITULO N°2: PROPUESTAS DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS	62
GENERALIDADES.....	62
SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA HERMETICIDAD AL AIRE DE PUERTAS	63
SOLUCIONES PARA LAS DIFERENTES PUERTAS DE LA VIVIENDA	67
SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA HERMETICIDAD AL AIRE DE VENTANAS	70
SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LAS VENTANAS.....	73

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA PISO VENTILADO DOMITORIO N°4	74
SOLUCION CONSTRUCTIVA PARA CONEXIÓN DE AGUA POTABLE SECTOR COCINA	75
SOLUCION CONSTRUCTIVA PARA ENVOLVENTE TERMICA EXTERIOR SEGUNDO NIVEL.....	76
ENCUENTRO CIELO-MURO-CUBIERTA (3B).....	77
SOLUCION CONSTRUCTIVA PARA MURO OESTE SECTOR COCINA.....	79
SOLUCION CONSTRUCTIVA DE ENCUENTRO DE CAÑON DE ESTUFA CON LOSA	79
SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA RENOVACION DE AIRE	80
CONCLUSION DEL CAPITULO N°2: PROPUESTAS DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS.....	81
CAPITULO N°3: PRESUPUESTO DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS.....	82
GENERALIDADES.....	82
1.ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (A.P.U)	84
1.1 PUERTA BAÑO PRINCIPAL	84
1.2 PUERTA BAÑO PRINCIPAL	85
1.3 PUERTA BAÑO PRINCIPAL	86
1.4 MURO OESTE SECTOR COCINA	87
1.5 PISO VENTILADO	88
1.6 MURO EXTERIOR SEGUNDO NIVEL.....	89
1.7 PISO VENTILADO	90
1.8 EXTRACTOR DE AIRE BAÑOS	91
1.9 EXTRACTOR DE AIRE DORMITORIO N°1	92
GASTOS GENERALES.....	93
LEYES SOCIALES.....	94
PRESUPUESTO	95
CONCLUSIONES DEL CAPITULO N°3	96
CONCLUSIONES DE OBJETIVOS	97
CONCLUSIONES GENERALES.....	98
BIBLIOGRAFIA.....	100

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. sensor térmico (HOBO mx c02 loggers.....	12
Ilustración 2. predominancia de los vientos primer nivel de la vivienda en estudio	15
Ilustración 3. predominancia de los vientos segundo nivel de la vivienda en estudio	16
Ilustración 4. vista oeste de la vivienda unifamiliar en estudio.....	22
Ilustración 5. frente de la vivienda unifamiliar en estudio	22
Ilustración 6. ilustración de exfiltración de aire en una vivienda	27
Ilustración 7. ilustración de infiltraciones de aire en una vivienda.....	27
Ilustración 8. ilustración de envolvente térmica exterior e interior de una vivienda	28
Ilustración 9. ilustración de espacio neto ocupable en una vivienda unifamiliar	28
Ilustración 10. planta de arquitectura primer piso	31
Ilustración 11. planta de arquitectura segundo piso	32
Ilustración 12. detalle de muro primer nivel.....	33
Ilustración 13. detalle de muro n°1 segundo nivel.....	34
Ilustración 14. detalle de muro n°2 segundo nivel.....	35
Ilustración 15. detalle de Techumbre 1	35
Ilustración 16. detalle de Techumbre 2	36
Ilustración 17. Equipo blower door de un ventilador	37
Ilustración 18. anillos para controlar el área de apertura del ventilador	38
Ilustración 19. Proceso de instalación equipo de ensayo	39
Ilustración 20. ensayo de Presurización	41
Ilustración 21. resultados de ensayo de presurización.....	42
Ilustración 22. resultados de ensayo de Despresurización	43
Ilustración 23. ensayo de despresurización	44
Ilustración 24. cámara termográfica marca HIKMICRO M10	45
Ilustración 25. fotografía térmica del sistema de calefacción a leña en uso.....	46
Ilustración 26. fotografía térmica de puerta de acceso principal de la vivienda	48
Ilustración 27. fotografía térmica de ventana tipo bow window	48
Ilustración 28. fotografías de interacción de muro con la losa.....	49
Ilustración 29. fotografías de perforación de la losa hacia el segundo piso	50
Ilustración 30. fotografías de perforación de la losa hacia el segundo piso	50
Ilustración 31. fotografía térmica interior y exterior de ventana de baño principal.....	51
Ilustración 32. fotografía térmica de puerta baño principal.....	51
Ilustración 33. fotografía térmica de puerta de acceso ingreso a sector cocina	52
Ilustración 34. fotografía térmica de puerta de acceso ingreso a sector cocina	53
Ilustración 35. fotografía de conexión agua potable	53
Ilustración 36. fotografía de muro oeste sector cocina	54
Ilustración 37. fotografía térmica de puertas interiores de dormitorios segundo nivel	55
Ilustración 38. fotografía térmica de ventanas tipo corredera en dormitorios segundo nivel.....	56
Ilustración 39. fotografía térmica de ventanas tipo bow window dormitorio 3 y 4.....	56
Ilustración 40. 1 fotografía térmica de envolvente, dormitorio n°3	57
Ilustración 41. fotografía térmica de piso ventilado dormitorio n°4	58
Ilustración 42. fotografía térmica de conexión muro y cielo raso segundo piso de la vivienda	58
Ilustración 43. principales fuentes de infiltración a través de una puerta	63

Ilustración 44. soluciones para puerta cocina sector patio trasero.....	68
Ilustración 45. soluciones para puerta baño principal	69
Ilustración 46. principales puntos de infiltración de una ventana corredera	70
Ilustración 47. solución a singularidad de tipo 2C.....	72
Ilustración 48. adaptador doble vidrio	73
Ilustración 49. detalle de ventana corredera termopanel.....	74
Ilustración 50. detalle se solución E para canalización.....	75
Ilustración 51. detalle se solución para 3A (encuentro piso-sobrecimiento-muro-losa/entrepiso-muro).....	77
Ilustración 52. detalle se solución para 3B (encuentro cielo-muro-cubierta)	78

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. resultados de toma de muestras del confort térmico del interior de la vivienda	11
Tabla 2. clase de infiltración de aire máxima permitida para la envolvente térmica	20
Tabla 3. Principales puntos de fuga de aire en una edificación.....	47
Tabla 4. condiciones del estudio de renovación de aire	60
Tabla 5. resultados del estudio de renovación de aire	60
Tabla 6. Singularidades tipo, según clase de construcción de la OGUC.	66
Tabla 7. estrategias para mejorar la renovación de aire	80
Tabla 8. análisis de precio unitario puerta baño principal	84
Tabla 9. análisis de precio unitario puerta sector cocina.....	85
Tabla 10. análisis de precio unitario puerta dormitorios	86
Tabla 11. análisis de precio unitario Muro oeste sector cocina	87
Tabla 12. análisis de precio unitario Piso ventilado	88
Tabla 13. análisis de precio unitario Muro segundo nivel.....	89
Tabla 14. análisis de precio unitario Piso ventilado	90
Tabla 15. análisis de precio unitario Extractor de aire baño	91
Tabla 16. análisis de precio unitario Extractor de aire dormitorio n°1	92
Tabla 17. análisis de gastos generales.....	93
Tabla 18. análisis de leyes sociales	94
Tabla 19. Presupuesto de las soluciones constructivas	95

INDICE DE GRAFICOS

gráfico 1. temperatura promedio exterior de la comuna de coronel, desde el 5 al 13 de septiembre del año 2024.	17
gráfico 2.temperatura promedio interior, desde el 5 al 13 de septiembre del año 2024	18
gráfico 3. línea base de hermeticidad al aire promedio según materialidad de la envolvente para edificios habitacionales	21

INTRODUCCION

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar y mejorar la hermeticidad de una vivienda unifamiliar ubicada en la comuna de Coronel, Región del Biobío, construida en el año 2000 bajo un programa de vivienda social. En un contexto marcado por inviernos largos, clima frío y alta humedad, la vivienda presenta serios problemas de infiltraciones de aire no controlados que afectan negativamente su eficiencia energética, el confort térmico de los ocupantes y la calidad del aire interior. Estas deficiencias generan un uso excesivo del sistema de calefacción a leña, incrementando los costos operativos y las emisiones contaminantes, factores especialmente críticos en una zona con alta incidencia de problemas ambientales.

Este proyecto se enmarca en la reciente actualización del Decreto N.º 47 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, que introduce exigencias normativas sobre la hermeticidad al aire en edificaciones residenciales a partir de noviembre de 2025. A través de herramientas como el equipo "Blower Door" y cámaras termográficas, se identifican los puntos críticos de infiltración en la envolvente térmica de la vivienda. Posteriormente, se plantean soluciones constructivas específicas que buscan reducir las pérdidas de calor, optimizar la eficiencia energética y mejorar las condiciones de confort y salubridad interior, alineándose con los estándares regulatorios y promoviendo un modelo de intervención replicable en otras viviendas de la región.

FORMULACIÓN GENERAL DEL PROBLEMA

Al diseñar una casa, los costos de ventilación, calefacción y aire acondicionado son consideraciones importantes. Las preocupaciones sobre la calefacción y la ventilación generalmente son cómo frenar las pérdidas de energía hacia el entorno mientras el aire acondicionado proporciona un ambiente interior cómodo y saludable para los ocupantes. La

práctica habitual es realizar estudios de transferencia de calor y analizar flujos de aire generados por elementos como ventanas y puertas. Pero hay otra cantidad de aire que no se puede cuantificar directamente: las infiltraciones de aire.

Las infiltraciones de aire son una característica de la envolvente de un recinto y están relacionadas con su estanqueidad: la capacidad de contener el aire interior y evitar el intercambio con el exterior a diferentes temperaturas. desde el punto de vista de la salud, las infiltraciones de aire sí permiten la renovación de aire fresco dentro de la casa, algo hasta cierto punto ventajoso. Sin embargo, al no ser controlables, las infiltraciones no son un sistema eficaz de intercambio de aire y deberían ser cuantificadas e incluidas en cualquier estudio sobre el comportamiento de la casa.

La ciudad de Concepción enfrenta desafíos significativos en términos de calidad del aire y eficiencia energética en sus edificaciones. El nuevo decreto supremo N°47 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, publicado el lunes 27 de mayo de 2024 en el diario oficial, el cual entra en vigor el 28 de noviembre del año 2025. obliga a incorporar requisitos de hermeticidad en la envolvente térmica de las viviendas.

Estas consideraciones teóricas adquieren especial relevancia en el análisis del caso de estudio en curso, una vivienda unifamiliar en la ciudad de Concepción, situada en la comuna de coronel, el cual posee una zona de clima marítimo, lluvioso, inviernos largos, vientos fuertes con temperatura templada a fría. La vivienda presenta problemas significativos de infiltración de aire no controladas, lo que conlleva a que los propietarios tengan que hacer trabajar en exceso el sistema de calefacción para mantener una temperatura confortable en el interior. Esto ha resultado en un aumento considerable de los costos energéticos, sobre todo en los meses de mayo hasta septiembre.

Entre los aspectos negativos observados en la vivienda, se destacan la presencia de corrientes de aire frío en diversas áreas, lo que dificulta mantener un ambiente estable y confortable. En aquellos sectores donde se ha percibido un mayor flujo de aire no controlado, se utilizó un sensor térmico para medir la temperatura, humedad y niveles de CO₂. (HOBO mx CO₂ loggers). Se realizaron 1072 muestras en cada sector los cuales se dividieron en cocina, living- comedor y dormitorio n°4. Las actualizaciones de dato se realizaron cada 5 minutos, aproximadamente 3 días por sector, donde los propietarios hicieron uso de su sistema de calefacción a leña en los siguientes horarios 9am a 13:00 pm y 18:00 pm a 21:00 pm. se inicia la toma de muestras el día 5 de septiembre del año 2024. donde se obtuvieron los siguientes resultados, resumidos en la tabla n°1.

Cocina			
	Temperatura °C	Humedad %	CO ₂ (ppm)
Máxima (Promedio)	21,2	94,26	2945
Mínima (Promedio)	12,97	59,4	386
Promedio	16,72	67,28	513
Living - Comedor			
	Temperatura °C	Humedad %	CO ₂ (ppm)
Máxima (Promedio)	21,73	89,72	1084
Mínima (Promedio)	15,1	52,73	271
Promedio	17,88	58,76	511
Dormitorio n°4			
	Temperatura °C	Humedad %	CO ₂ (ppm)
Máxima (Promedio)	18,54	68,48	1984
Mínima (Promedio)	11	54,66	343
Promedio	15,87	59,83	830

Tabla 1. resultados de toma de muestras del confort térmico del interior de la vivienda

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos de sensor térmico HOBO mx CO₂ loggers



Ilustración 1. sensor térmico (HOBO mx c02 loggers

Fuente: elaboración propia, fotografía de sensor térmico utilizado en el estudio

Según diversos estudios, como el publicado en el “environmental health perspectives”, los valores de humedad recomendables para interiores deben estar entre el 40% y 60% para evitar la aparición de moho y enfermedades respiratorias. Los rangos de temperatura interior deberían bordear los 22 a 24 °C al igual que los niveles de CO₂ que deberían situarse dentro de los 300 a 500ppm, pues sobre los 1000 a 1200ppm se deberían analizar medidas de ventilación forzada.

Los datos que se encuentran en la tabla resumen n°1 son indicativos de problemas de ventilación e infiltraciones de aire no controladas, cuales se pueden obtener las siguientes conclusiones de cada sector analizado:

Cocina:

- **Temperatura:** Durante los periodos en que no se utilizó la calefacción, es probable que las mediciones hayan mostrado una tendencia a la baja debido a las infiltraciones de aire frío. Dado que la cocina es una zona expuesta a fluctuaciones térmicas naturales (debido al uso de electrodomésticos), las infiltraciones exacerban este efecto, dificultando mantener un ambiente confortable.

- Humedad: los niveles han sido elevados, esto podría indicar que las infiltraciones permiten la entrada de aire exterior cargado de humedad, lo cual, sumado a la humedad producida por la cocción, puede ocasionar condensaciones en las superficies frías y potencial proliferación de moho. Los datos de humedad variarán considerablemente durante las horas de cocción, pero se mantiene alta incluso fuera de estos periodos, eso sería un indicio claro de problemas de ventilación.
- CO₂ (ppm): Los niveles de CO₂ aumentaron durante los periodos de actividad en la cocina, especialmente al cocinar y el sistema de ventilación es insuficiente. los niveles no se reducen rápidamente tras las actividades, esto sugiere que las infiltraciones interrumpen el flujo de aire necesario para evacuar el CO₂ generado por la combustión.

Living-comedor:

- Temperatura: las mediciones tomadas cada 5 minutos mostraron un descenso significativo durante la noche o temprano por la mañana, esto confirma que el área está siendo afectada por corrientes de aire frío, lo que compromete la eficiencia térmica. Incluso con el uso de calefacción, es probable que la temperatura no haya podido mantenerse estable.
- Humedad: Los datos de humedad en este espacio pueden haber fluctuado según la cantidad de personas presentes. Si las infiltraciones están permitiendo la entrada de aire exterior más húmedo, especialmente en las mañanas o noches frías, esto podría haber causado variaciones en los niveles de humedad.
- CO₂ (ppm): el living-comedor, donde el uso es más prolongado y participan más personas, los niveles de CO₂ son un indicador claro de la calidad del aire. las muestras mostraron niveles elevados de CO₂ durante la noche o en momentos de ocupación, y estos niveles no descendieron rápidamente, esto puede ser un signo de que las infiltraciones están alterando la ventilación natural, dificultando el intercambio de aire.

Dormitorio n°4:

- Temperatura: los datos revelaron caídas bruscas o mantenidas en las primeras horas del día o al final de la noche, esto podría indicar que las infiltraciones de aire frío están ingresando al dormitorio, afectando el confort térmico durante el sueño.
- Humedad: Los niveles de humedad en el dormitorio también podrían haber sido afectados por la infiltración de aire exterior. Si el aire que entra es muy húmedo o seco, esto podría haber causado incomodidad a los ocupantes durante la noche, al alterar el equilibrio natural del ambiente. Un exceso de humedad puede generar condensación, mientras que una baja humedad puede generar problemas respiratorios y de sequedad.
- CO₂ (ppm): El nivel de CO₂ en un dormitorio es un indicador crítico del confort y la salud. los datos muestran un incremento sostenido en la noche, Un mal manejo del CO₂ durante la noche puede resultar en una peor calidad del sueño y problemas de salud a largo plazo.

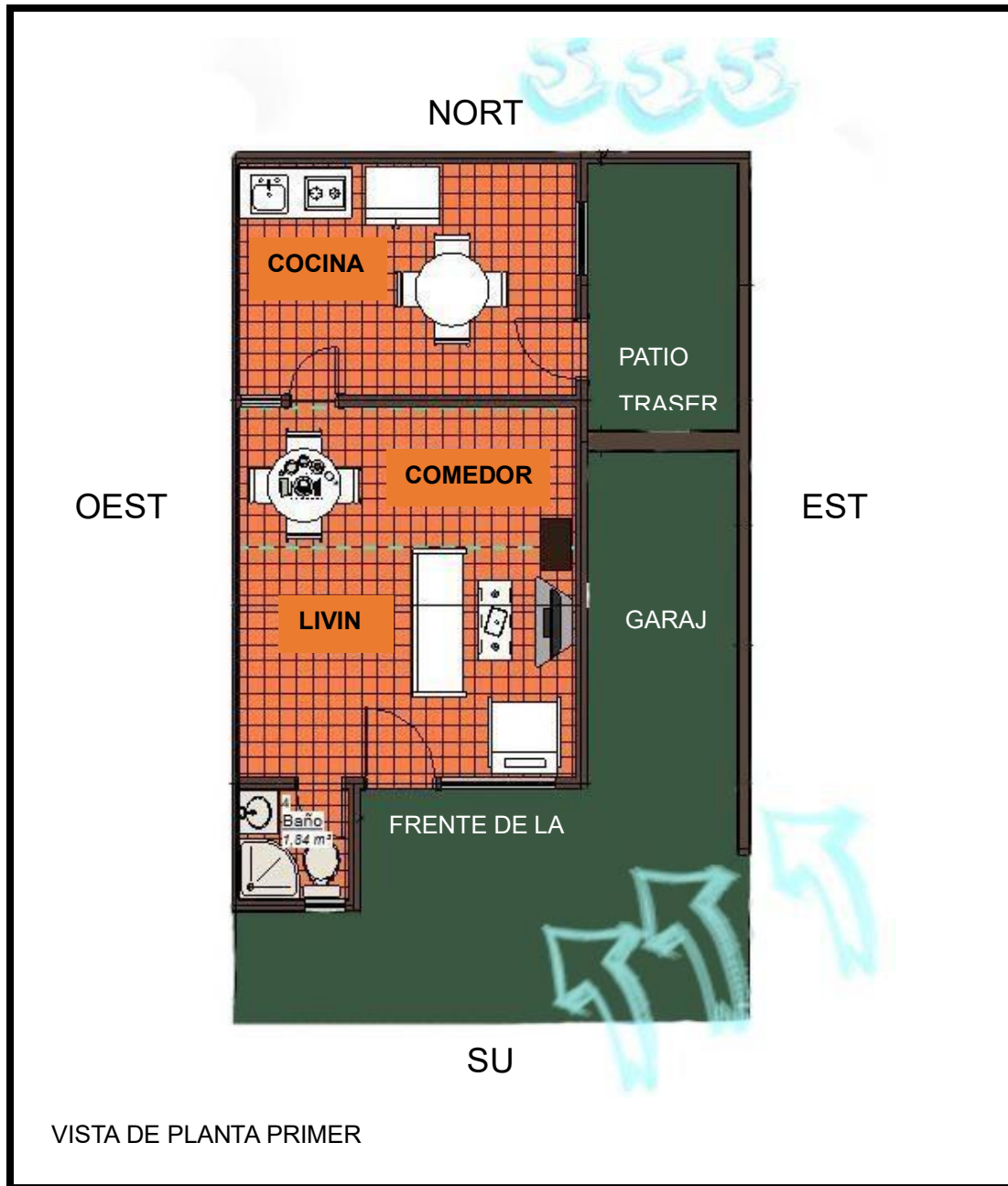


Ilustración 2. predominancia de los vientos primer nivel de la vivienda en estudio

Fuente: elaboración propia, desarrollado mediante software Revit



Ilustración 3. predominancia de los vientos segundo nivel de la vivienda en estudio

Fuente: elaboración propia, desarrollado mediante software Revit

Según indica el resumen web meteorológico entregado por “*weatherspark*” La temperatura promedio desde el 5 al 13 de septiembre del año 2024 en coronel normalmente oscila entre 7°C y 15°C y rara vez es inferior a 2°C o superior a 18°C. El momento más fresco del día es de 12:30 am. a 8:30 am., y el más frío a las 6:45 am. El momento más cálido del día es de 11:30 a 18:00, y el más caluroso a las 14:45, momento en el que la temperatura es superior a 13 °C. El día ha ganado la mitad de su calor a las 10:00 am. y lo ha perdido nuevamente a las 8:15 pm.

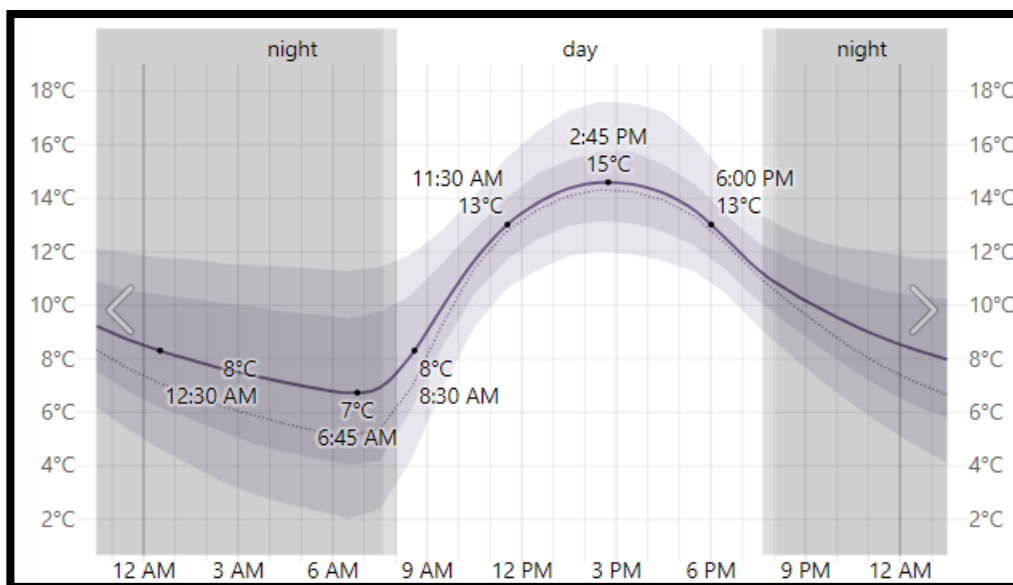


gráfico 1. temperatura promedio exterior de la comuna de coronel, desde el 5 al 13 de septiembre del año 2024.

Fuente: <https://weatherspark.com/d/24146/9/8/Average-Weather-on-September-8-in-Coronel-Chile>

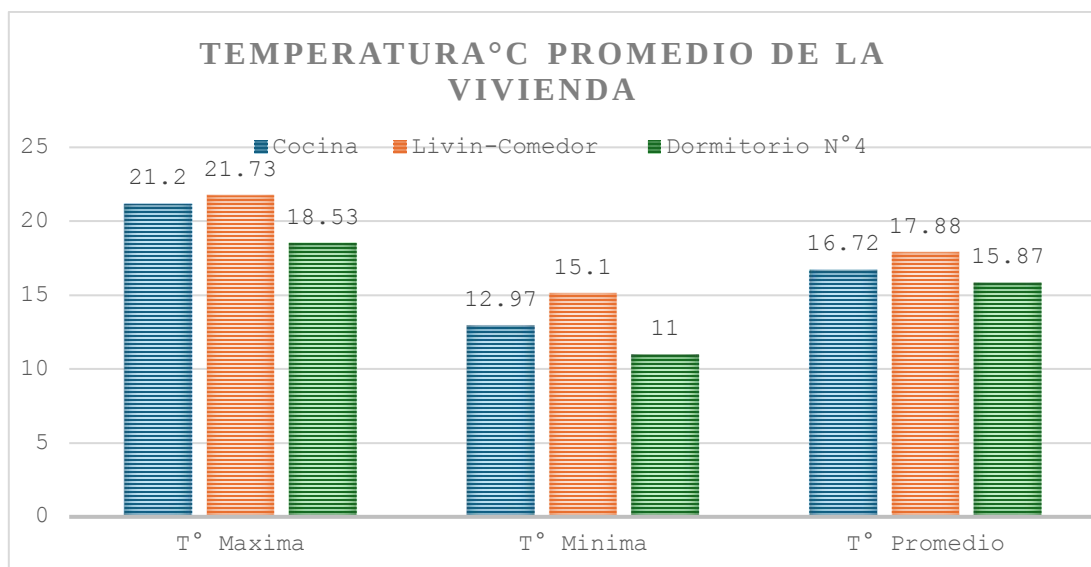


gráfico 2.temperatura promedio interior, desde el 5 al 13 de septiembre del año 2024

Fuente: elaboración propia, tabla generada mediante el resumen de datos del sensor térmico HOBO

Al comparar las temperaturas interiores de la vivienda con las condiciones climáticas exteriores registrados en coronel. La relación entre la **infiltración de aire** y la **eficiencia de la calefacción** queda evidenciada al observar que, a pesar del uso de calefacción, la temperatura interior en varias zonas de la casa no superó los 18°C, mientras que la temperatura exterior estaba aún por debajo de los 13°C. Este desfase térmico sugiere que las infiltraciones de aire frío están contrarrestando los efectos de la calefacción, forzando al sistema de climatización a trabajar más intensamente para mantener un ambiente confortable.

Por ejemplo, en el dormitorio n.º 4, se registró una temperatura mínima de 11°C, lo que indica que el calor generado por la calefacción se pierde rápidamente debido a la entrada de aire frío no controlado. Este fenómeno es consistente en toda la vivienda, especialmente en zonas donde se percibieron corrientes de aire.

Estos factores negativos no solo afectan el confort y la salud de los ocupantes, sino que también reducen la vida útil de la vivienda y aumentan los costos de mantenimiento y operación. La implementación de soluciones de hermeticidad adecuadas, en conjunto con sistemas de ventilación controlada, se vuelve indispensable para corregir estas deficiencias y cumplir con las nuevas exigencias normativas.

PRINCIPALES INTERROGANTES DEL PROYECTO

¿Cuál es el nivel actual de infiltraciones de aire en la vivienda unifamiliar ubicada en la ciudad de concepción?

¿Cómo afectan estas infiltraciones a la eficiencia energética y al confort térmico de la vivienda?

¿Qué medidas pueden implementarse para reducir las infiltraciones de aire?

¿Cuál es el impacto económico de las medidas propuestas?

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se justifica en el contexto de la reciente normativa establecida por el decreto N°47 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, que entrará en vigor en noviembre de 2025. Esta normativa impone requisitos sobre la hermeticidad. explica que la envolvente térmica deber tener una clase de infiltración de aire medida a 50Pa (diferencia de presión, conocida internacionalmente como valor n50) igual o menor a la clase de infiltraciones señalada en la tabla n°1, para la provincia de concepción metropolitano. Este indicador es la línea base de las renovaciones de aire por hora de la vivienda sometida a una diferencia de presión de n50.

Provincia	Clase de Infiltración de aire
	50 Pa ach
Arica, Iquique, Tocopilla, Chañaral, Isla de Pascua	---
Parinacota, Tamarugal, El Loa, Coyhaique, Aysén, General Carrera, Capitán Prat, Última Esperanza, Magallanes, Tierra del Fuego, Antártica Chilena	4,00
Copiapó, Limarí, Los Andes, Valparaíso, Santiago, Cordillera, Maipo, Melipilla, Talagante, Cachapoal, Cardenal Caro, Colchagua, Talca, Concepción, Arauco, Malleco, Cautín, Valdivia, Ranco, Osorno, Llanquihue, Palena, Chiloé	5,00
Antofagasta, Huasco, Elqui, Choapa, Petorca, Quillota, San Felipe de Aconcagua, San Antonio, Marga Marga, Chacabuco, Curicó, Linares, Cauquenes, Diguillín, Punilla, Itata, Biobío	8,00

Nota: La clase de infiltración será medida excluyendo (sellando) los dispositivos de ventilación.

Tabla 2. clase de infiltración de aire máxima permitida para la envolvente térmica

Fuente: decreto N.° 47 infiltraciones de aire

En el manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones el cual se tomó como base para actualizar el decreto N.°47, se efectúa un estudio derivado de los Anuarios de la Edificación de los años 2007 y 2010, de las regiones metropolitana y del Bio-Bio. Se consideraron 5 tipos de materialidad, tres tipos de agrupamientos, cabe destacar que la muestra mínima representativa se estableció en 135 unidades para la edificación habitacional y 20 unidades para la terciaria y que para la determinación de la línea base se realizaron 189 evaluaciones de edificaciones habitacionales y 27 evaluaciones de edificaciones terciarias.

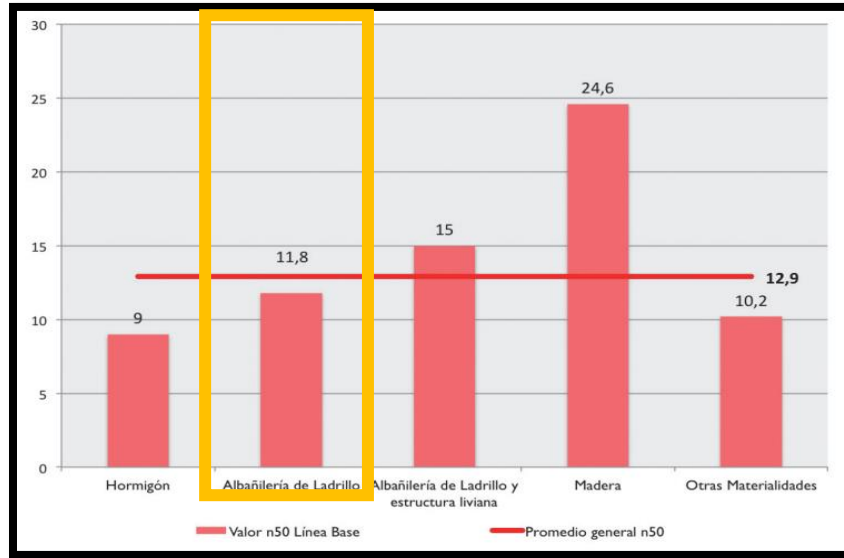


gráfico 3. línea base de hermeticidad al aire promedio según materialidad de la envolvente para edificios habitacionales

Fuente: manual de hermeticidad al aire de edificaciones

Se identifican las cuatro materialidades predominantes en la envolvente con mayor presencia a nivel nacional: Hormigón, albañilería de ladrillo, albañilería de ladrillo combinado con estructuras livianas y madera. Los sistemas constructivos con menor presencia o que recién se están implantando en el país se agrupan bajo el nombre de otras materialidades.

La línea base de la edificación habitacional indicada en color rojo en el grafico n°1, corresponde al valor promedio de las mediciones realizadas, valor que nos permite estimar la capacidad de oponerse a las infiltraciones de aire de la construcción en Chile. La hermeticidad al aire del parque es de 12,9 cambios de aire por hora. Este resultado nos proporciona una visión general de la hermeticidad actual en las viviendas en Chile, pues según considera el decreto N°47 para la ciudad de Concepción se espera que la infiltración de aire por hora sea igual o menor que 5 renovaciones por hora. Considerando estos valores como parámetro base para el caso de estudio de este proyecto, en donde la materialidad predominante de la vivienda es de albañilería de ladrillo en su primera planta y madera en el segundo nivel, nos encontramos con valores muy alejados de lo que busca lograr la nueva normativa.



Ilustración 4. vista oeste de la vivienda unifamiliar en estudio

Fuente: elaboración propia



Ilustración 5. frente de la vivienda unifamiliar en estudio

Fuente:

elaboración propia

La vivienda en estudio identificada en la figura n°3 y figura n°4, presenta problemas graves de infiltraciones de aire, los cuales están afectando tanto el confort de los ocupantes como el rendimiento energético. En una zona caracterizada por temperaturas templadas a frías y altos niveles de humedad, es crucial mantener un ambiente interior controlado, especialmente durante los meses de mayor demanda térmica, debido a esto se está generando un uso excesivo del sistema de calefacción, lo que incrementa notablemente los costos operativos. Según indica el manual de hermeticidad del aire en edificaciones “La hermeticidad de una edificación es un factor importante al momento de analizar la demanda y/o consumo energético asociado a calefacción y refrigeración, representando en algunos casos el 60% o más de las pérdidas energéticas totales de ésta”.

El proyecto busca evaluar la hermeticidad de la vivienda para cumplir los nuevos estándares regulatorios. La principal herramienta para realizar esta evaluación será el equipo **blower door**, el cual funciona mediante un ventilador ajustable que se posiciona en una puerta exterior, creando una diferencia de presión entre el interior y el exterior del edificio. Esto permite detectar las fugas de aire, cuantificando las infiltraciones de aire y ayudar a localizar los puntos críticos donde se está produciendo mayores pérdidas térmicas, además se analizarán otros indicadores relevantes, como la humedad relativa interior y las condiciones de confort térmico, para garantizar que la vivienda no solo cumpla con la normativa, sino que también ofrezca un ambiente interior saludable y confortable.

La implementación de soluciones y la instalación de sistemas de ventilación forzada producto de la mala circulación de aire corregirá las deficiencias actuales y asegura una renovación de aire eficiente, minimizando las pérdidas de energía y mejorando la calidad de vida de los ocupantes. En resumen, este proyecto responde a la necesidad de dar solución a la vivienda en materia de las nuevas exigencias normativas, optimizando su eficiencia energética y asegurando su sostenibilidad a largo plazo, también pretende servir como modelo práctico para evaluar otras viviendas de la región.

METODOLOGÍA PROPUESTA PARA REALIZAR EL PROYECTO

Para lograr el objetivo de este trabajo de título, se procederá a utilizar la siguiente metodología de trabajo:

1. Revisión bibliográfica

- **Normativas y estándares:** se revisará el Decreto Supremo n°47 de la ordenanza general de urbanismo y construcción. Y el Manual de Hermeticidad del aire en Edificaciones.
- **Documentación técnica complementaria:** se incluye la NCH 853 de eficiencia energética y la normativa NCH3308 sobre ventilación y calidad del aire

2. Verificación de Hermeticidad

- **Descripción de la vivienda:** se documentará la estructura térmica, identificando diferencias entre los niveles de la edificación y los materiales usados (albañilería y madera)
- **Descripción Equipo blower door:** se utilizará el modelo con un ventilador para pruebas de infiltración de aire, el cual incluye sensor de presión, medidor de flujo con control de crucero, marco de aluminio ajustable y software de análisis. Su capacidad de medición de diferencia de presión hasta 50pa, bajo condiciones de presurización y despresurización. Este ensayo se guiará según la metodología entregada en el Manual de Hermeticidad del Aire.
- **Protocolo de medición:** se inspeccionará previamente la envolvente para identificar los puntos críticos, se cerrará las ventanas, puertas previo a la utilización del equipo blower door, luego se instalará el equipo en la puerta principal realizando una prueba de presurización de despresurización
- **Criterio de evaluación:** se cuantificará la tasa de infiltración n50 y se registraran los flujos de aire a intervalos de 10pa, con énfasis en la medición a 50pa

3. Puntos de infiltraciones de aire

- Uso de la cámara HIKMICRO M10 para visualizar las pérdidas de calor en juntas mal selladas o sin aislación, análisis de encuentro entre la albañilería y madera, el equipo se utilizará posterior al equipo blower door, posee un rango de temperatura -20°C a 350°C con una resolución térmica de 256 x 192 píxeles.

4. Propuesta de soluciones constructivas

- Analizar las soluciones: se seleccionarán medidas correctivas del Manual de Hermeticidad para los puntos de infiltración detectados
- Evaluación de viabilidad económica: elaboración de un presupuesto detallado de las mejoras.
- Identificación de opciones de financiamiento o subsidios disponibles para la implementación.

5. Conclusiones y recomendaciones

- Resumir los resultados obtenidos y ofrecer sugerencias para futuras investigaciones.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Evaluar el nivel de infiltraciones de aire en una vivienda unifamiliar para proporcionar soluciones constructivas que mejoren la eficiencia térmica del inmueble.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico inicial de la vivienda en estudio cuantificando la tasa de infiltraciones de aires.
- Identificar las singularidades en la envolvente de la vivienda que generen puntos de infiltración de aire.
- Proponer soluciones constructivas y medidas correctivas basadas en el manual de hermeticidad al aire de edificaciones.
- Evaluación económica de las soluciones constructivas.

MARCO TEÓRICO

Escape o exfiltración: fuga de aire no controlada desde espacios o a través de aberturas no intencionales en techos, pisos y muros debido a diferencias de presión en estas aberturas producidas por el viento, diferencias de temperatura y desbalanceo de las tasas de aire entrada y salida. (*NCH 3308 ventilación – calidad aceptable de aire interior – requisitos*)

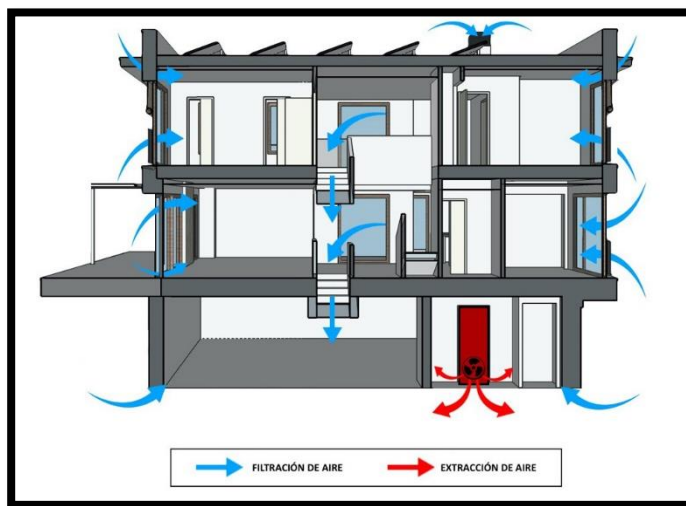


Ilustración 6. ilustración de exfiltración de aire en una vivienda

Fuente: <https://www.airtest.es/blower-door-test/>

Infiltración: entrada no controlada de aire a los espacios acondicionados a través de aberturas en techo, pisos y, muros desde espacios sin acondicionamiento o el exterior y provocadas por las mismas diferencias de presión que ocasionan la exfiltración. (*NCH 3308 ventilación – calidad aceptable de aire interior – requisitos*)

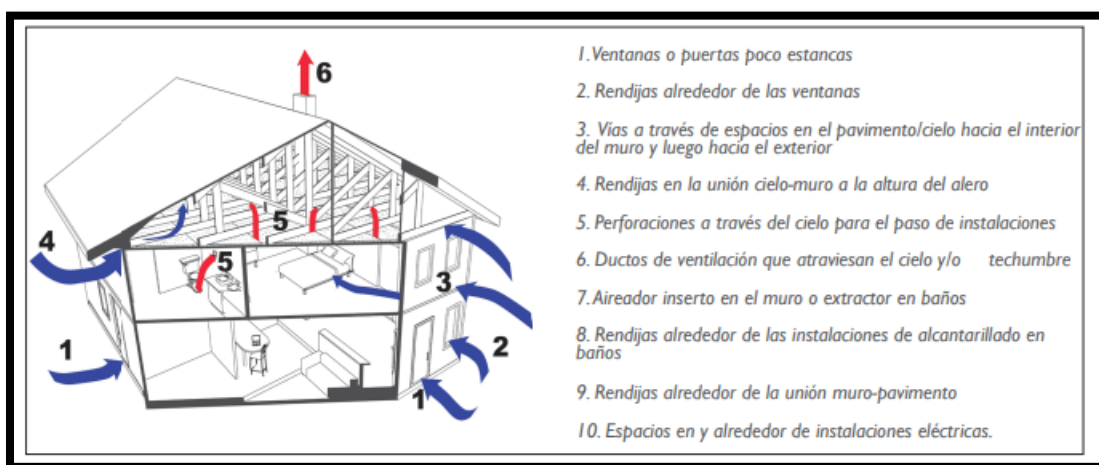


Ilustración 7. ilustración de infiltraciones de aire en una vivienda

figura n°7: ilustración de infiltraciones de aire en una vivienda

Fuente: manual de hermeticidad al aire de edificaciones

Envolvente térmica: elementos perimetrales de las edificaciones que la separan del ambiente exterior (aire, terreno, agua u otro edificio no acondicionado), de un espacio contiguo abierto o un espacio no acondicionado. (*NCH 3295 Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones – 2014*)

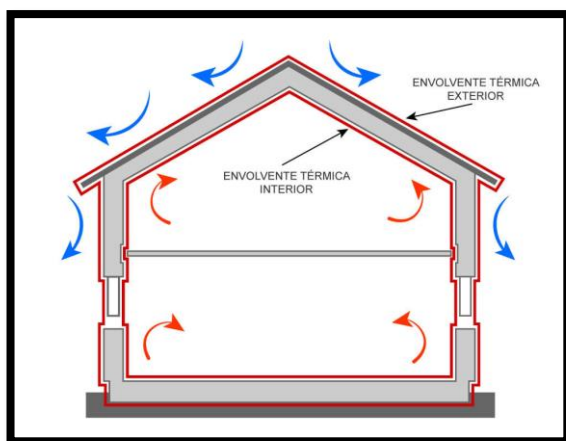


Ilustración 8. ilustración de envolvente térmica exterior e interior de una vivienda

Fuente: <https://aisla.pe/servicios/fachadas-y-envolvente-termico/>

Espacio neto ocupable: área de piso de un espacio ocupable definido por las superficies contenidas en el interior de las paredes y muros sin tener en cuenta shafts, columnas y otros espacios accesibles permanentemente, las obstrucciones en el espacio tales como muebles, estantes de exposición o almacenamiento y otras obstrucciones, temporales o permanentes, se deben considerar como partes del área neta ocupable. (*NCH 3308 ventilación – calidad aceptable de aire interior – requisitos*)



Ilustración 9. ilustración de espacio neto ocupable en una vivienda unifamiliar

Fuente: imagen web

MARCO NORMATIVO

1.-Manual de hermeticidad al aire de edificaciones

- documento técnico creado para guiar la planificación, diseño, construcción y control de la calidad hermética en edificaciones en Chile. busca reducir las infiltraciones de aire para mejorar la eficiencia energética y el confort térmico Incluye estándares, metodologías de verificación, y soluciones constructivas para garantizar la hermeticidad al aire adecuada en diferentes zonas territoriales de Chile.

2.-NCH3308 Ventilación – calidad aceptable de aire interior - requisitos

- Aborda las estrategias y medios para la ventilación, los contaminantes que deben ser eliminados, y los métodos para verificar que las edificaciones cumplan con estos requisitos.

3.-DECRETO 15 (modificación del decreto supremo N°47, de vivienda y urbanismo, de 1992)

- Actualiza los estándares y normas técnicas referidas al acondicionamiento térmico, estableciendo requisitos y mecanismos de acreditación para las edificaciones. incorpora requisitos de hermeticidad en la envolvente térmica de las viviendas.

4.- NCH 3295 Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 3: Calidad del aire interior.

- Se refiere a las características y condiciones de diseño y ejecución que deben tener los proyectos de edificación para cumplir con el objetivo de otorgar calidad del aire en los espacios interiores a los usuarios de éstas.

CAPITULO 1: DIAGNOSTICO DE LA VIVIENDA EN ESTUDIO

GENERALIDADES

El análisis se enfoca en detectar y analizar puntos críticos de infiltración de aire a través de la envolvente del edificio, utilizando herramientas especializadas como el equipo Blower Door y una cámara termográfica. con el equipo Blower Door se permitirá determinar la tasa de fuga de aire y evaluar el comportamiento de la envolvente, Para complementar los resultados, se utilizará una cámara termográfica, que permitirá visualizar las diferencias de temperatura y localizar fugas no visibles a simple vista en puntos críticos, como ventanas, puertas, marcos y juntas estructurales. El análisis se realizará con la calefacción a leña en funcionamiento, simulando las condiciones reales de uso, y se guiará por las recomendaciones del Manual de Hermeticidad al Aire en Edificaciones.

IDENTIFICACIÓN DE LA VIVIENDA

La vivienda se localiza en la calle Adrián Pérez N° 2119, población Eduardo Frei, comuna de coronel, es una vivienda social que fue construida en el año 2000, la cual cuenta con dos pisos y un área construida de 80.28 m², su acceso principal se encuentra en dirección sur, su clima se caracteriza por tener veranos cómodos, secos y mayormente despejados y los inviernos son largos, fríos, mojados y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 24 °C y rara vez baja a menos de 1 °C o sube a más de 28 °C. Esta ciudad ha presentado en los últimos años numerosos episodios de contaminación ambiental debido a la combustión de leña para calefacción, por lo que iniciativas que apunten a mejorar la eficiencia energética de las viviendas, como esta, son de gran relevancia para la zona.

PLANTA DE ARQUITECTURA DE LA VIVIENDA

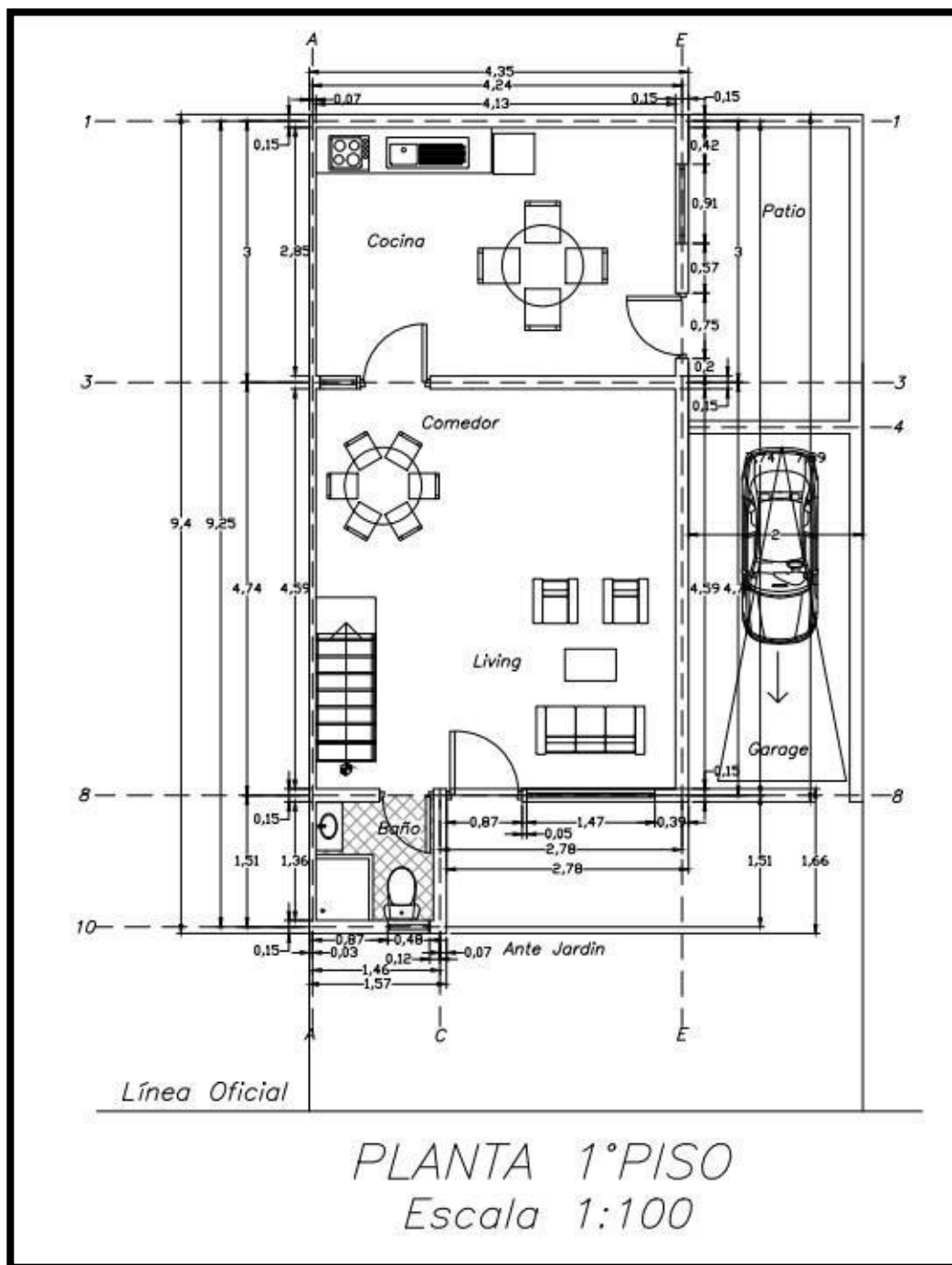


Ilustración 10. planta de arquitectura primer piso

Fuente: elaboración propia mediante el uso del software Auto Cad

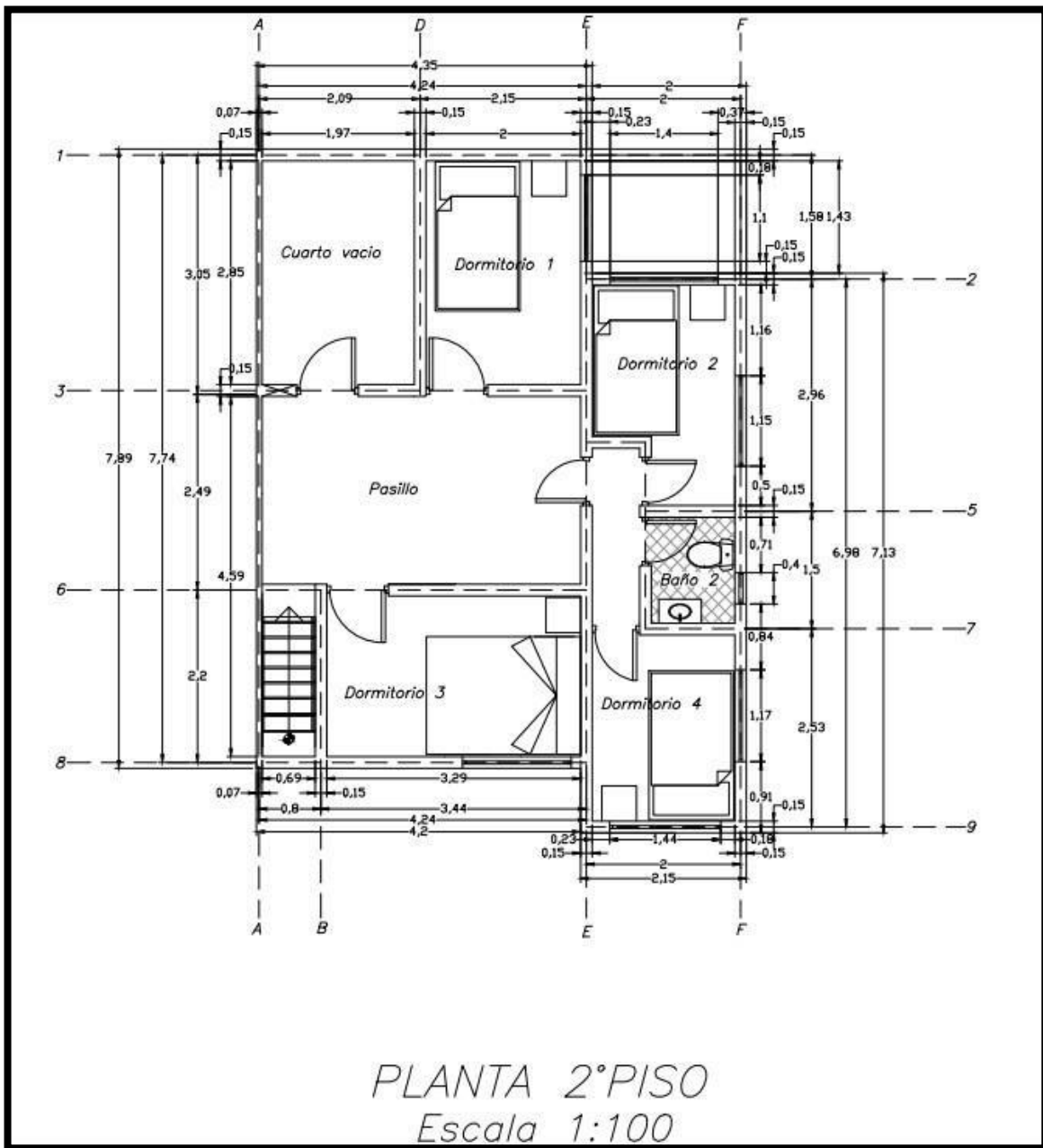


Ilustración 11. planta de arquitectura segundo piso

Fuente: elaboración propia mediante el uso del software Auto Cad

DISEÑO DE LA ENVOLVENTE

PRIMER NIVEL DE LA VIVIENDA

Los muros exteriores e interiores están constituidos por albañilería de ladrillo estructural de 14x29 cm, con un recubrimiento de mortero de terminación de 3 cm en su cara exterior y una capa de yeso de 2 cm en la cara interior. La mampostería se asienta sobre cimientos, lo que refuerza la estabilidad estructural de la edificación. Además, el mortero de pega, con un espesor de 14 cm, asegura la cohesión y resistencia de los ladrillos.

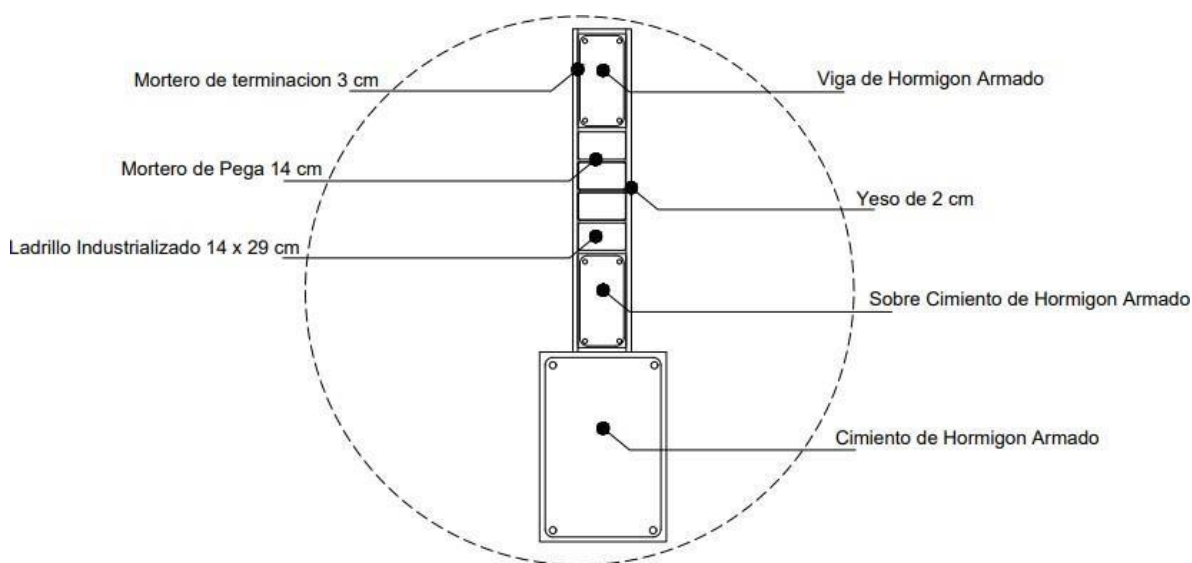


Ilustración 12. detalle de muro primer nivel

Fuente: elaboración propia mediante el uso del software Auto Cad

SEGUNDO NIVEL DE LA VIVIENDA

Los muros están conformados por una estructura de tabiques de madera de 2x3 pulgadas. El sistema de aislamiento y revestimiento es el siguiente:

Aislamiento térmico: El muro cuenta con una capa de poliestireno expandido de 50 mm de espesor, que actúa como aislante térmico.

Revestimiento exterior: El acabado exterior del muro está compuesto por siding fibrocemento de 6 mm de espesor, se ha instalado un fieltro asfáltico de 15 libras, que sirve como barrera impermeabilizante, evitando el paso de la humedad al interior del muro.

Capa estructural interna: Para mayor rigidez, el muro cuenta con una placa de OSB de 9 mm de espesor,

Revestimiento interior:

- Para la mayoría de los recintos, el revestimiento interior está compuesto por una placa de terciado ranurado de 9 mm de espesor,
- En el caso del dormitorio 3, el revestimiento interior es más complejo. Se utiliza una primera capa de yeso cartón tipo ST de 10 mm de espesor, que proporciona una superficie lisa y apta para recibir terminaciones. Esta capa se complementa con una segunda capa de terciado ranurado de 9 mm.

Muro 1;

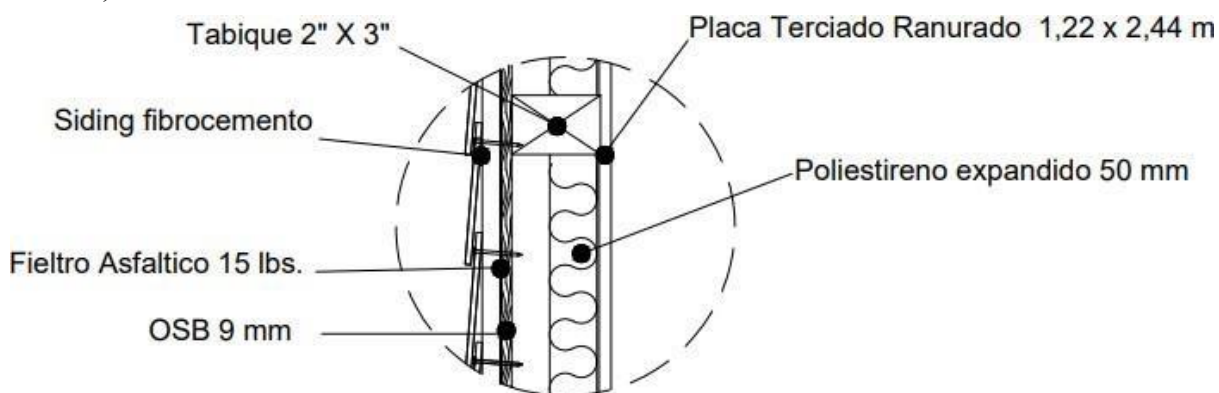


Ilustración 13. detalle de muro n°1 segundo nivel

Fuente: elaboración propia mediante el uso del software Auto Cad

Muro 2;

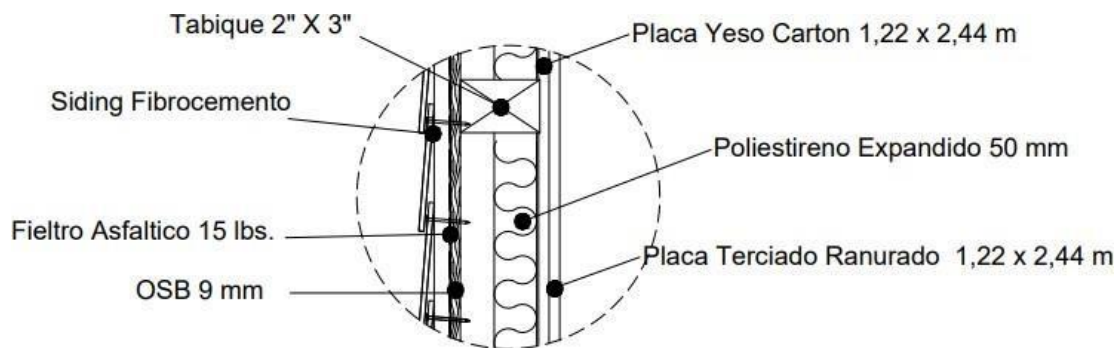


Ilustración 14. detalle de muro n°2 segundo nivel

Fuente: elaboración propia mediante el uso del software Auto Cad

TECHUMBRE

El complejo de techumbre está conformado por cerchas de madera de 1"x4", costaneras de 2x2", fieltro asfáltico liso, zinc acanalado 0,40x3000mm y poliestireno de 100mm de espesor.

Techumbre 1;

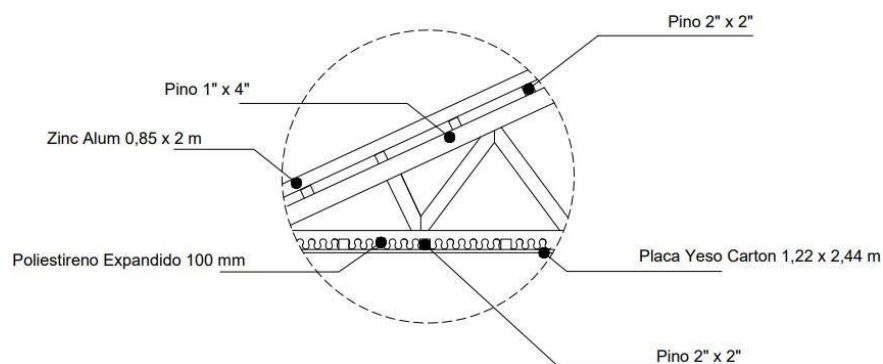


Ilustración 15. detalle de Techumbre 1

Fuente: elaboración propia mediante el uso del software Auto Cad

Techumbre 2;

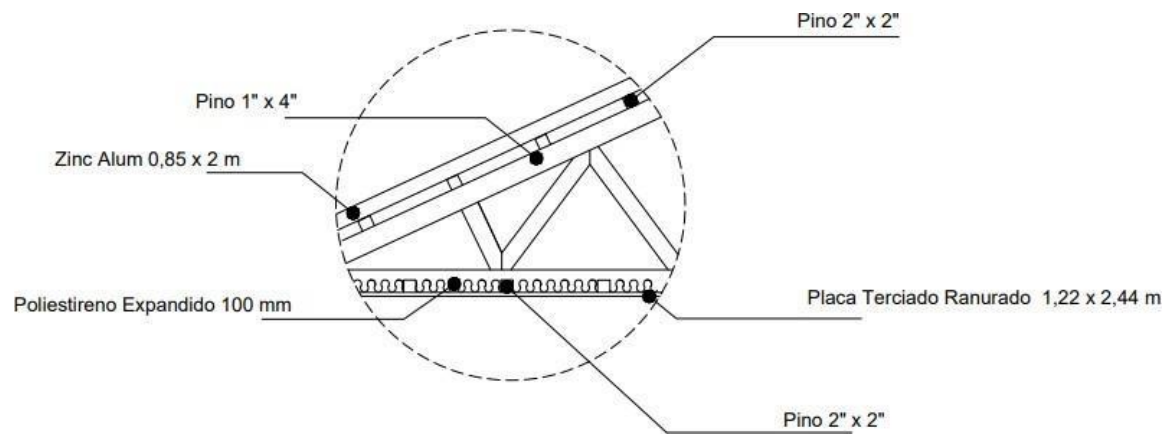


Ilustración 16. detalle de Techumbre 2

Fuente: elaboración propia mediante el uso del software Auto Cad

VERIFICACIÓN DE HERMETICIDAD

EQUIPO BLOWER DOOR

El equipo consiste en un sistema automático de presurización, que incluye un ventilador para el caso de ensayos a viviendas o departamentos (Figura n°17) y tres ventiladores para edificios de mayor volumen; cuenta con medidores de presión y de flujo con control crucero que permite mantener una presión constante, un marco de aluminio ajustable, panel de nylon y software de procesamiento de información.



Ilustración 17. Equipo blower door de un ventilador

Fuente: manual de hermeticidad al aire en edificaciones

El ventilador del equipo permite ingresar o extraer un caudal de aire interior del recinto evaluado, el cual es determinado por un sensor de flujo que está ubicado en la parte trasera del motor del ventilado. El área del ventilador queda definida por anillos que se disponen en la toma de aire (figura n°18) los medidores de presión y flujo de aire tienen una toma de presión de entrada y su correspondiente toma de presión de referencia; cuenta con canales de recolección de datos, los que monitorean la presión en el edificio y el flujo de aire a través del ventilador durante el ensayo.

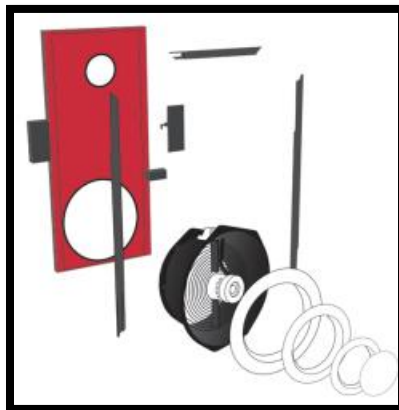


Ilustración 18. anillos para controlar el área de apertura del ventilador

Fuente: manual de hermeticidad al aire de edificaciones

CONSIDERACIONES PREVIAS AL UTILIZAR EL EQUIPO

Previo a la realización del ensayo, es necesario realizar una inspección visual a modo general de la vivienda a evaluar, para identificar los elementos que componen la envolvente. En paralelo a la instalación del equipamiento, se debe verificar que todas las ventanas estén cerradas al igual que los ductos de ventilación. La edificación debe estar completamente acondicionada para que esta represente una zona única, esto quiere decir que deben abrirse todas las puertas interiores y otros vanos existentes, con el fin de que todos los recintos interiores queden comunicados. Las puertas que conectan con áreas que no son acondicionadas deben quedar cerradas, los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado con admisión de aire deben ser desconectados.

Posteriormente se procede a la instalación del equipo (figura n°13). El cual es instalado en el marco de una puerta, asegurándose de que las uniones entre el equipo y el edificio se encuentren selladas, para evitar fugas.

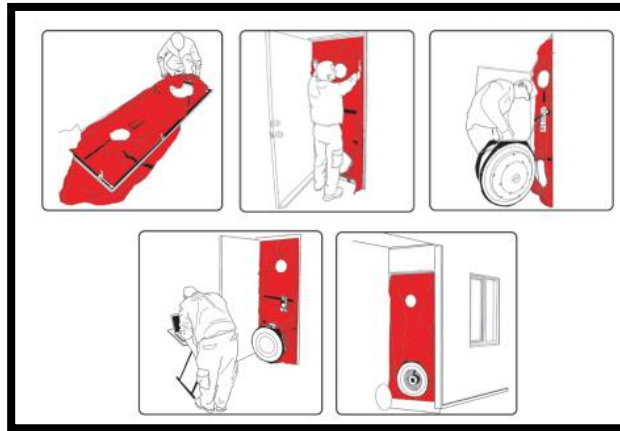


Ilustración 19. Proceso de instalación equipo de ensayo

Fuente: manual de hermeticidad al aire de edificaciones

Se debe prestar atención a los siguientes puntos:

- Al momento de realizar las mediciones las condiciones meteorológicas pueden incidir en los resultados, no se consideran validos datos tomados si la velocidad del viento supera los 6m/s o si el producto de la diferencia de temperatura del aire; interior y exterior multiplicado por la altura de la envolvente en metros, da un valor mayor a 200m °C.
- Una vez verificado los parámetros anteriores, se realiza el ensayo tomando mediciones de la tasa de flujo de aire y las diferencias de presión del interior/ exterior con incrementos de 10Pa, considerando como mínimo una presión de 50Pa, bajo dos condiciones; presurización y despresurización.

RESULTADOS DEL ESTUDIO

En el estudio se efectuaron dos ensayos, uno de presurización y otro de despresurización, lo que permite obtener un análisis más completo y preciso de la hermeticidad de la vivienda. Cada prueba evalúa el comportamiento de la envolvente de la vivienda desde diferentes perspectivas, asegurando la fiabilidad de los resultados y facilitando la identificación de puntos críticos de fuga. A continuación, se explican las razones específicas para realizar ambos ensayos:

- La presurización; empuja aire al interior del edificio, aumentando la presión interna y simulando la situación en la que el aire caliente (en invierno, por ejemplo) intenta escapar hacia el exterior.
- La despresurización: succiona el aire de la vivienda, generando una presión negativa, simulando la situación en la que el aire exterior más frío (o contaminado) intenta infiltrarse en el interior)

Al realizar ambas pruebas, se obtienen resultados más precisos, ya que cada uno revela diferentes puntos de fuga:

- Presurización: detecta las fugas más visibles desde el interior hacia el exterior (ventanas mal selladas, puertas)
- Despresurización: identifica las infiltraciones de aire que ingresan desde el exterior (grietas, ductos o juntas en mal estado).

Prueba de presurización: (figura nº20 y 21) Los resultados muestran que la vivienda tiene una alta tasa de infiltración, con más de 10.000 m³/h de aire entrando al edificio a 50 Pa de presión. **La tasa de cambio de aire (n50) de 61.24 h⁻¹** sugiere que la vivienda está lejos de ser hermética, lo que repercute negativamente en su eficiencia energética, provocando pérdidas de calor en invierno y dificultando el mantenimiento de una temperatura confortable.



Ilustración 20. ensayo de Presurización

Fuente: elaboración propia, fotografía del equipo utilizado

Test Results at 50 Pascals:

V50: m ³ /h Airflow	10778 (+/- 0.6 %)
n50: 1/h (Air Change Rate)	61.24
w50: m ³ /(h·m ² Floor Area)	359.28
q50: m ³ /(h·m ² Envelope Area)	234.31

Leakage Areas: 4775.6 cm² (+/- 1.0 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 103.82 cm²/m² Surface Area
2726.8 cm² (+/- 1.8 %) LBL ELA @ 4 Pa or 59.28 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (C_{env}) = 1132.1 m³/(h·Paⁿ) (+/- 3.0 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 1142.2 m³/(h·Paⁿ) (+/- 3.0 %)
Exponent (n) = 0.574 (+/- 0.009)
Correlation Coefficient = 0.99982

Test Standard: EN 13829
Test Mode: Pressurization
Type of Test Method: B
Regulation complied with:

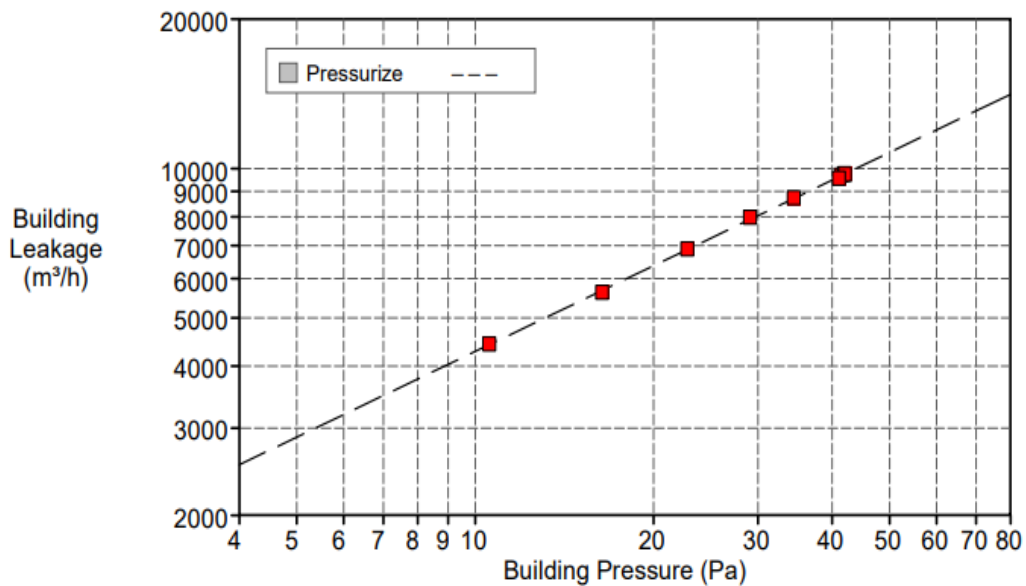


Ilustración 21. resultados de ensayo de presurización

Fuente: informe equipo blower door

Prueba de despresurización: El flujo de aire medido durante la despresurización (Figura n°22 y 23) es similar al de la presurización, lo que confirma la presencia de Múltiples puntos de fuga en la envolvente. **La tasa de cambio de aire (n50) de 56.74 h⁻¹** refuerza la conclusión de que la vivienda tiene deficiencias significativas en su sellado, permitiendo una elevada infiltración de aire exterior.

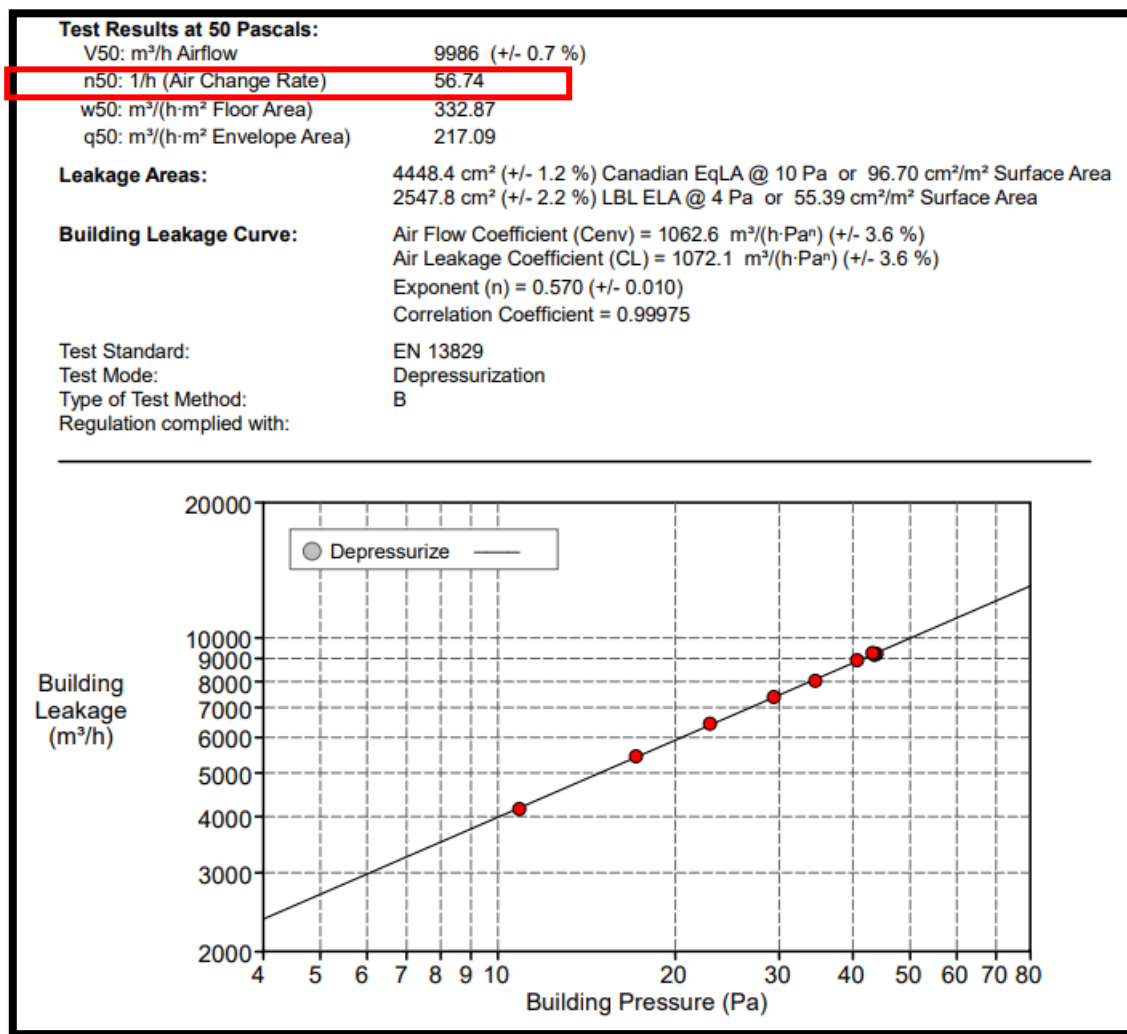


Ilustración 22. resultados de ensayo de Despresurización

Fuente: informe equipo blower door



Ilustración 23. ensayo de despresurización

Fuente: elaboración propia, fotografía del equipo utilizado

Ambos ensayos revelan una elevada tasa de fuga de aire, indicando que la envolvente de la vivienda no está bien sellada. Las tasas de cambio de aire superiores a 50 h^{-1} son indicativas de una edificación con serios problemas de hermeticidad, lo que implica un alto consumo energético para calefacción y refrigeración. Además, se evidencia que las pérdidas son ligeramente mayores en la presurización, lo que podría indicar fugas más pronunciadas hacia el exterior.

PUNTOS DE INFILTRACIONES

El presente apartado tiene como objetivo identificar y analizar los puntos críticos de infiltración en la envolvente de la vivienda, complementando las pruebas de presurización y despresurización realizadas con el equipo Blower Door. Para ello, se utilizará una cámara termográfica (Figura n°24), la cual permitirá visualizar las diferencias de temperatura en la estructura y, con ello, localizar fugas no detectables a simple vista. Además, se seguirán las orientaciones del Manual de Hermeticidad al Aire en Edificaciones, el cual identifica las principales vías de infiltración de aire.

Para simular las condiciones reales de uso, se mantendrá en funcionamiento el sistema de calefacción a leña (figura n°25) durante el análisis. Esto permitirá evaluar el comportamiento de la envolvente bajo operación normal.



Ilustración 24. cámara termográfica marca HIKMICRO M10

Fuente: elaboración propia, fotografía de la cámara utilizada en el estudio

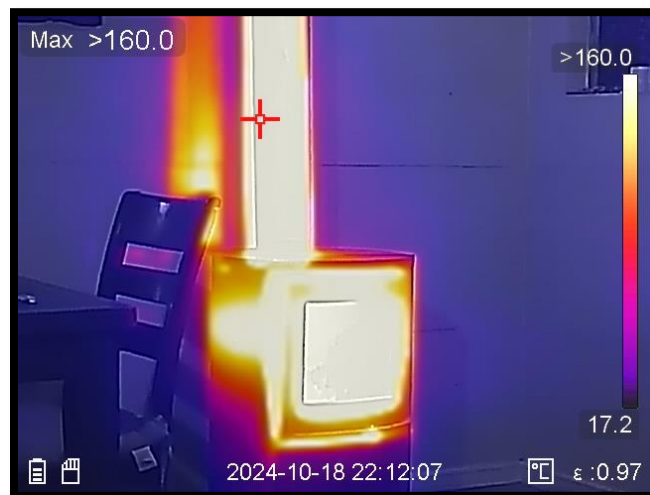


Ilustración 25. fotografía térmica del sistema de calefacción a leña en uso

Fuente: fotografía tomada por cámara termográfica

La impermeabilidad al aire, según lo expresado en “PASSIVHAUS INSTITUTE GUIDELINES”, se refiere a la capacidad de una envolvente o estructura de un edificio para evitar el paso no controlado del aire a través de sus componentes o singularidades de la envolvente, como muros, techos, puertas, ventanas y juntas. Un edificio con alta impermeabilidad al aire minimiza las infiltraciones de aire no deseadas, lo que ayuda a mantener la temperatura interior estable, mejora la eficiencia energética y reduce las pérdidas de calor o frío.

Las singularidades dependen principalmente del diseño, materialidad, sistema constructivo, y de la calidad de mano de obra. Algunas materialidades, como el hormigón armado y las albañilerías, otorgan mayor uniformidad y continuidad a la envolvente, pero, no obstante, ésta se ve desmejorada en los encuentros con otros materiales o elementos constructivos, produciéndose en estas uniones puntos críticos o singularidades de infiltración de aire.

El “Manual de hermeticidad al aire en Edificaciones” identifica los tipos de construcciones existentes en el país y los clasifica de acuerdo con sus características permeables, en función de su materialidad predominante de muros, según se detalla en la tabla n°2.



Sistema pesado	Sistema mixto	Sistema liviano
		1. Intersección losa inferior / muro exterior vertical.
2. Intersección marco ventana / muro exterior vertical.	2. Intersección marco ventana / muro exterior vertical.	2. Intersección marco ventana / muro exterior vertical.
	3. Muros livianos.	3. Muros livianos.
4. Perforaciones a muros exteriores verticales.	4. Perforaciones a muros exteriores verticales.	4. Perforaciones a muros exteriores verticales.
	5. Intersección techumbre inclinada / estructura de cielo.	5. Intersección techumbre inclinada / estructura de cielo.
6. Perforaciones a losa para paso de instalaciones.	6. Perforaciones a losa para paso de instalaciones.	6. Perforaciones a losa para paso de instalaciones.
	7. Intersección techumbre inclinada / muro exterior vertical.	7. Intersección techumbre inclinada / muro exterior vertical.
8. Perforaciones a techumbre inclinada.	8. Perforaciones a techumbre inclinada.	8. Perforaciones a techumbre inclinada.
9. Intersección techumbre inclinada / lucarna o ventana.	9. Intersección techumbre inclinada / lucarna o ventana.	9. Intersección techumbre inclinada / lucarna o ventana.
		10. Intersección entrepiso / muro exterior vertical.
11. Intersección dintel puerta / muro exterior vertical.	11. Intersección dintel puerta / muro exterior vertical.	11. Intersección dintel puerta / muro exterior vertical.
12. Cámara inspección cielo falso o muros.	12. Cámara inspección cielo falso o muros.	12. Cámara inspección cielo falso o muros.
13. Instalaciones eléctricas.	13. Instalaciones eléctricas.	13. Instalaciones eléctricas.
14. Perforación a radier o losa inferior para instalaciones.	14. Perforación a radier o losa inferior para instalaciones.	14. Perforación a radier o losa inferior para instalaciones.

Tabla 3. Principales puntos de fuga de aire en una edificación

Fuente: manual de hermeticidad al aire de edificaciones

Debido a la **diferente materialidad de la primera y segunda planta**, la metodología de inspección será específica para cada nivel considerando los principales puntos de singularidades entregados en la tabla n°2 para sistemas mixtos de construcción.

PRIMER NIVEL DE LA VIVIENDA

1. LIVING-COMEDOR:

- **Puerta acceso principal:** puerta de pino Oregón de 2 paneles con marco metálico (figura n°26), presenta una diferencia térmica en la unión del marco con el muro de albañilería el cual no posee ningún tipo de sello o aislación, además de la infiltración de aire que se genera debajo de la puerta. Se sugiere agregar sellos y considerar la instalación de burletes o sistemas adicionales de aislamiento en el marco.



Ilustración 26. fotografía térmica de puerta de acceso principal de la vivienda

Fuente: fotografía tomada por cámara termográfica

- **Ventana principal:** La imagen termográfica (figura n°27) corresponde a la ventana bow Window tipo corredera con vidrio monolítico sobre un marco de aluminio color titanio, ubicada en el frente de la vivienda, orientada hacia el sur. Esta orientación la expone directamente a los vientos predominantes en la zona, gran parte de las infiltraciones se generan tanto por las uniones entre los perfiles de la ventana como por la unión entre el marco de la ventana y el muro.



Ilustración 27. fotografía térmica de ventana tipo bow window

Fuente: fotografía tomada por cámara termográfico

- **Intersección de muro acceso principal con losa:** En la imagen se observa la intersección del muro perimetral del acceso principal con la losa de la vivienda (figura

n°28). Esta zona presenta deficiencias en la terminación de la losa, atribuibles a una ampliación en proceso por parte de los propietarios. Actualmente, solo una plancha lisa de fibrocemento de 3 metros de largo por 70cm de ancho, dejando expuesta parte de la estructura superior sin recubrimiento adecuado. constituye un punto crítico de infiltración de aire para el sector living-comedor.



Ilustración 28. fotografías de interacción de muro con la losa

Fuente: fotografía tomada por cámara termográfica

- **Perforación de cielo raso:** Se ha identificado una perforación (figura n°29) en el cielo raso del primer nivel, correspondiente a la apertura realizada durante la reubicación de una estufa de combustión lenta. Esta perforación conecta directamente el primer nivel con el segundo nivel, atravesando la losa hacia el segundo piso, no ha sido debidamente reparada, lo que genera un punto crítico de infiltración de aire.



Ilustración 29. fotografías de perforación de la losa hacia el segundo piso

Fuente: fotografía tomada por cámara digital

- **Encuentro de cañón de estufa con losa:** La Figura n°30 muestra el encuentro del cañón de la estufa con la losa del primer nivel. En esta intersección se observa una perforación sin sellado adecuado, lo que deja expuesta tanto la estructura de la losa como las superficies circundantes. Esta falta de sellado genera un punto crítico de infiltración de aire.



Ilustración 30. fotografías de perforación de la losa hacia el segundo piso

Fuente: fotografía tomada por cámara digital

2.BAÑO PRINCIPAL:

- **Ventana baño principal:** ventana proyectante con vidrio monolítico y marco de PVC color blanco (figura n°31), Las áreas más frías se concentran en los bordes y esquinas de la ventana, señalando puntos de posible infiltración de aire. Estos puntos indican que los sellos o la instalación del marco podrían no estar cumpliendo con los estándares adecuados de hermeticidad.

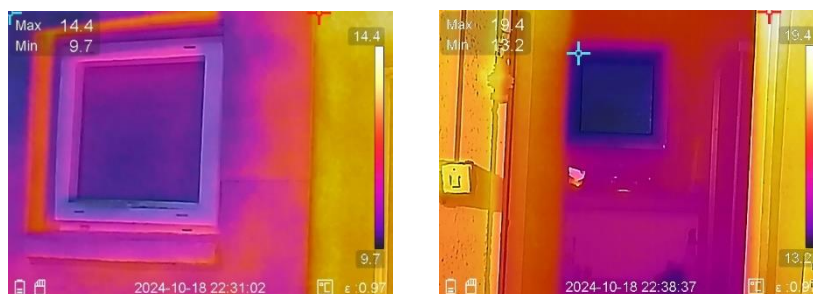


Ilustración 31. fotografía térmica interior y exterior de ventana de baño principal

Fuente: fotografía tomada por cámara termográfica

- **Puerta acceso baño principal:** La puerta de acceso al baño principal es una puerta de MDF de color blanco (Figura n°32), equipada con una rejilla de ventilación inferior. Si bien esta rejilla facilita la ventilación del espacio, también constituye un punto crítico de pérdida de calor, comprometiendo la eficiencia energética de la vivienda. Además, la puerta está instalada en un marco de madera que no presenta un sellado adecuado entre el marco y la pared, lo que incrementa la infiltración de aire frío hacia el interior del baño y reduce el confort térmico.



Ilustración 32. fotografía térmica de puerta baño principal

Fuente: fotografía tomada por cámara termográfica

3. SECTOR COCINA:

- **Puerta acceso a sector cocina:** La puerta de acceso hacia la cocina desde el living-comedor (Figura n°33) presenta paneles de vidrio, lo que constituye una vulnerabilidad térmica al permitir la pérdida de calor hacia otros espacios de la vivienda. Además, el marco de madera de la puerta no cuenta con un sellado adecuado entre el marco y la pared, lo que incrementa las infiltraciones de aire. Los vidrios instalados en la puerta también carecen de un sellado correcto, lo que genera puntos adicionales de fuga de aire,



Ilustración 33. fotografía térmica de puerta de acceso ingreso a sector cocina

Fuente: fotografía tomada por cámara termográfica

- **Ventana sector cocina:** El análisis termográfico evidencia que la ventana corredera con vidrio monolítico y marco de aluminio (Figura n°34) es un punto de pérdida térmica y de infiltración de aire frío. La combinación de materiales poco eficientes térmicamente y la falta de hermeticidad en las juntas afecta la eficiencia energética de la cocina, Implementar mejoras en el sellado y considerar el reemplazo de componentes optimizará el confort térmico.



Ilustración 34. fotografía térmica de puerta de acceso ingreso a sector cocina

Fuente: fotografía tomada por cámara termográfica

- **Conexión de agua potable:** En el sector de la cocina, la tubería de agua potable se conecta atravesando el muro de albañilería (Figura n°35) desde el patio trasero hacia el interior de la vivienda. Se ha identificado que este punto de penetración no cuenta con ningún tipo de sello o junta que impida la infiltración de aire. La ausencia de un sellado adecuado entre la tubería y el muro constituye un punto crítico de infiltración.



Ilustración 35. fotografía de conexión agua potable

Fuente: fotografía tomada por cámara termográfica

- **Muro exterior lado oeste:** El muro (figura n°36) de la cocina presenta serias deficiencias que favorecen la infiltración de aire, comprometiendo la eficiencia energética de la vivienda. La mitad inferior está hecha de albañilería con cerámica interior, mientras que la mitad superior es de madera, aislada con poliestireno expandido de 50 mm y revestida con revestimiento de fibrocemento exterior y terciado ranurado interior. Sin embargo, carece de membrana hidrófuga y no tiene un sellado adecuado con el cielo raso, lo que facilita la entrada de aire.

Un punto crítico es la antigua ventana mal clausurada indica con un cuadro color rojo al costado derecho de la puerta, por donde también se filtra aire. Esta zona, expuesta a los vientos predominantes según los planos de la predominancia de los vientos, genera una pérdida significativa de calor.



Ilustración 36. fotografía de muro oeste sector cocina

Fuente: fotografía toma en terreno por cámara digital

SEGUNDO NIVEL DE LA VIVIENDA

PUERTAS: La imagen muestra una puerta interior tipo Sinfonía (Figura n°36), fabricada en HDF de color blanco, instalada en las habitaciones (n; 1,2,3,4,5 y baño segundo nivel). La puerta se encuentra montada en un marco de madera que ha sido adosado a los muros de tabiquería de madera. Sin embargo, se observa que el marco no presenta ningún tipo de sellado en su perímetro, lo que puede generar puntos de infiltración de aire y afectar la hermeticidad de los espacios interiores.



Ilustración 37. fotografía térmica de puertas interiores de dormitorios segundo nivel

Fuente: fotografía tomada por cámara termográfica.

VENTANAS TIPO CORREDERA: La imagen térmica muestra la distribución de temperatura en las ventanas correderas, las cuales están instaladas en las habitaciones n.º1, n.º2 y n.º4. Se observa que la habitación n.º2 cuenta con dos ventanas de este tipo, mientras que las habitaciones n.º1 y n.º4 poseen una ventana cada una. La imagen revela pérdidas térmicas significativas tanto en los marcos como en las superficies vidriadas, lo que sugiere deficiencias en el aislamiento y puntos de infiltración de aire. Según el plano de predominancia de vientos, estas habitaciones se encuentran expuestas a mayores incidencias del viento, lo que acentúa las infiltraciones y afecta la eficiencia térmica.



Ilustración 38. fotografía térmica de ventanas tipo corredera en dormitorios segundo nivel

Fuente: fotografía tomada por cámara termográfica.

VENTANA TIPO BOW WINDOW: La imagen térmica muestra la distribución de temperatura en una ventana tipo bow window, ubicada en la habitación n.º4, con marco de aluminio color titanio y hojas correderas con vidrios monolíticos. Esta ventana se encuentra orientada hacia el frente de la vivienda, donde, según el plano de predominancia de vientos, recibe una alta incidencia de vientos. La temperatura capturada en la imagen varía entre 15,0.1°C y 20,5°C, lo que evidencia pérdidas térmicas y puntos de infiltración en el sistema de marcos y rieles.

Por otro lado, la habitación n.º3 también cuenta con una ventana tipo bow window, pero equipada con vidrios termo paneles en lugar de monolíticos. Esta diferencia en la materialidad del vidrio mejora el aislamiento térmico y acústico en la habitación n.º3, minimizando las pérdidas de calor y el impacto de los vientos predominantes.



Ilustración 39. fotografía térmica de ventanas tipo bow window dormitorio 3 y 4

Fuente: fotografía tomada por cámara termográfica.

DORMITORIO N°3

El dormitorio n.º3 se encuentra actualmente en proceso de remodelación, lo que ha generado diversas vulnerabilidades en su hermeticidad. Como se observa en las imágenes (figura n°39), la falta de revestimiento exterior y de aislación adecuada expone la habitación a infiltraciones significativas de aire. Además, esta situación se agrava debido a que el alero de la estructura no está sellado ni aislado, lo que permite la entrada de aire desde el exterior, afectando el confort interior.



Ilustración 40. fotografía térmica de envolvente, dormitorio n°3

Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en terreno.

DORMITORIO N°4:

- **Piso ventilado:** El dormitorio n.º4 presenta piso ventilado (figura n°40), una condición que, si bien puede mejorar la ventilación natural del espacio, representa una vulnerabilidad significativa en términos de hermeticidad y eficiencia energética. La imagen térmica capturada muestra la estructura del piso, donde se observan vigas expuestas y la placa estructural sin revestimientos adicionales. La temperatura en la superficie varía entre 11.9°C y 16.1°C, lo que revela la existencia de puntos de infiltración de aire frío.



Ilustración 41. fotografía térmica de piso ventilado dormitorio n°4

Fuente: fotografía tomada por cámara térmica

ENVOLVENTE TERMICA SEGUNDO PISO: Los muros de esta planta están contruidos con estructura de madera, forrados interiormente con terciado ranurado y exteriormente con siding de fibrocemento, contando además con una capa de poliestireno expandido de 50 mm como aislamiento térmico. Esta estructura se replica en todas las habitaciones del segundo nivel. Sin embargo, no se ha instalado membrana hidrofuga, lo que deja expuesta la estructura a la entrada de aire y humedad, especialmente en las uniones entre elementos constructivos. Uno de los problemas más relevantes es la **falta de sellado en las transiciones** entre los muros y el **cielo raso**, como se observa en las imágenes térmicas (figura n°41). Estas conexiones, al no contar con un cierre hermético, se convierten en puntos críticos de infiltración, permitiendo el ingreso de aire exterior.



Ilustración 42. fotografía térmica de conexión muro y cielo raso segundo piso de la vivienda

Fuente: fotografía tomada por cámara térmica

RENOVACIÓN DE AIRE EN LA VIVIENDA

Uno de los principios de la ventilación es la renovación de aire interior, sabiendo que el proceso de ventilación es la técnica de sustituir el aire ambiental existente en el interior de un recinto, el cual se considera indeseable porque carece de temperatura adecuada, pureza o humedad, por otro que aporte una mejora a estas características.

Existen diferentes tipos de ventilación para una vivienda y aunque todas cumplen la función de mejorar el aire de un recinto, cada una de ellas presenta características específicas. Para el estudio de la renovación de aire de la vivienda en estudio nos centraremos en la ventilación natural.

La ventilación natural garantiza una calidad óptima del aire en el interior de la vivienda y brinda un confort térmico en verano a través de la ventilación directa sobre las personas o con la ventilación nocturna sobre la masa del edificio.

Para evaluar la ventilación natural e identificar el flujo de aire necesario para generar una adecuada renovación de aire dentro del conjunto habitacional, se utilizará el software de refrigeración natural – optiven2.1.

En la siguiente tabla n°3 se presentarán las condiciones en las que fue puesta la vivienda para determinar la ventilación natural de las habitaciones:

CONDICIONES DEL ESTUDIO	
t° media exterior	13°C
t° media interior	20°C
mes	septiembre
hora	15:00 Hrs
velocidad del viento	3,0 m3/s
predominancia del viento	Sureste
frente de la vivienda	sur

Tabla 4. condiciones del estudio de renovación de aire

Fuente: elaboración propia

RESULTADOS DE VENTILACION							
sector	ventana	superficie	apertura efectiva	ventilacion	localizacion	flujo de aire (m2/s)	
		m2	%			requerido	alcanzado
PRIMERA PLANTA							
baño principal	v1	0,23	50%	simple	S	0,05	0,01
cocina	v2	1	50%	simple	E	0,25	0,14
living-comedor	v3	2,3	50%	simple	S	0,13	0,13
SEGUNDA PLANTA							
domitorio n°1	v5	1,3	50%	simple	E	0,1	0,04
domitorio n°2	v6	1,3	50%	cruzada	N	0,19	0,19
	v7	1,8	50%	cruzada	N	0,19	0,19
dormitorio n°3	v8	1,9	50%	simple	S	0,1	0,1
domitorio n°4	v9	2	50%	cruzada	S	0,13	0,19
	v10	1,3	50%	cruzada	S	0,13	0,19
baño	v11	0,26	50%	simple	E	0,05	0,01

Tabla 5. resultados del estudio de renovación de aire

Fuente: elaboración propia, a partir del resumen de datos entregados por el software optiven 2.1

Interpretación tabla n°4: Podemos observar en la tabla de los resultados de ventilación natural que aquellas habitaciones que se encuentran ubicadas en dirección a la predominancia de los vientos de invierno (sureste y norte) no poseen problemas en generar una buena renovación de aire, en cambio aquellas habitaciones que se encuentran destacadas en color amarillo, producto de su mala ubicación respecto a la predominancia de los vientos requieren la implementación de ventilación forzada

CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO DE LA VIVIENDA EN ESTUDIO

El análisis realizado a la envolvente térmica de la vivienda evidenció múltiples deficiencias constructivas que afectan su hermeticidad y eficiencia energética. Las mediciones realizadas con el equipo Blower Door y la cámara termográfica revelaron puntos críticos de infiltración de aire, los cuales se encuentran principalmente en las conexiones entre marcos y muros, ventanas sin sellos adecuados, y perforaciones no reparadas en la losa y cielo raso. Estas deficiencias generan pérdidas de calor significativas, comprometiendo el confort interior y aumentando el consumo energético necesario para calefacción, especialmente en invierno.

La ausencia de membranas hidrófugas en los muros del segundo nivel y la falta de sellado en las uniones con el cielo raso incrementan la vulnerabilidad ante la infiltración de aire y humedad. En particular, los muros del sector de la cocina presentan serios problemas de hermeticidad debido a la combinación de materiales constructivos disímiles, la presencia de ventanas mal clausuradas y la falta de aislamiento adecuado. La exposición a los vientos predominantes del sureste agrava esta situación, aumentando las pérdidas de calor en estas áreas críticas.

Además, el estudio sobre la renovación de aire realizado mediante el software *Optiven 2.1* permitió identificar que las habitaciones orientadas hacia la predominancia de los vientos (sureste y norte) presentan un flujo de aire adecuado. Sin embargo, aquellas que no se encuentran bien ubicadas respecto a estos vientos requieren la implementación de sistemas de ventilación forzada para asegurar la calidad del aire y un ambiente confortable. La ventilación natural, en estos casos, no es suficiente para garantizar una renovación de aire óptima, lo que resalta la importancia de incorporar mejoras en la ventilación y en la hermeticidad de los recintos.

En resumen, la vivienda presenta deficiencias críticas en su envolvente térmica y en su capacidad de ventilación natural. Las pérdidas de calor generadas por las infiltraciones identificadas, sumadas a la necesidad de ventilación forzada en ciertas habitaciones, subrayan la urgencia de implementar mejoras en los sellos, aislación y sistemas de ventilación para optimizar el rendimiento energético y mejorar el confort interior.

CAPITULO N°2: PROPUESTAS DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

GENERALIDADES

Este capítulo presenta un conjunto de soluciones constructivas diseñadas para mejorar la hermeticidad y eficiencia energética en los distintos elementos de la envolvente de una vivienda. La hermeticidad al aire es esencial para reducir las pérdidas térmicas, optimizar el uso de energía y proporcionar un confort térmico adecuado en espacios habitables. A través de estas propuestas, se busca minimizar las infiltraciones de aire no deseadas, mejorar el aislamiento acústico y contribuir a una mayor eficiencia energética en los sistemas de calefacción y ventilación de la vivienda.

Las soluciones expuestas incluyen desde intervenciones específicas en puertas y ventanas, enfocadas en reducir las tolerancias y maximizar el sellado en los puntos de contacto, hasta propuestas para la envolvente exterior de la edificación y el tratamiento de conexiones de servicios (como agua potable y conductos de estufas). Cada propuesta se fundamenta en técnicas constructivas y materiales seleccionados en función de las exigencias de hermeticidad y la exposición a factores climáticos.

Además, se exponen estrategias de renovación de aire para aquellos sectores de la vivienda donde la ventilación natural resulta insuficiente, con el fin de asegurar una adecuada calidad de aire en el interior. Estas estrategias están basadas en la capacidad de flujo y renovación de aire adecuada para cada tipo de habitación, lo cual se complementa con el uso de extractores de aire según las recomendaciones de software especializado.

En resumen, el enfoque de este capítulo es proporcionar soluciones prácticas y específicas que responden a la necesidad de una envolvente eficiente y hermética, alineándose con los principios de sostenibilidad y confort térmico para una vivienda saludable y energéticamente eficiente.

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA HERMETICIDAD AL AIRE DE PUERTAS

En la hermeticidad de puertas debemos tener presente no sólo el sistema de puerta propiamente tal; hoja-marco- dispositivos de cierre, sino que también el diseño y especificación para su instalación en el vano correspondiente. No se puede perder de vista que la preocupación debe estar centrada en aquellos elementos que forman parte de la envolvente de la edificación y que están en contacto con el exterior y/o con un espacio que no esté acondicionado térmicamente (no habitable).

Una revisión de las diferentes partes o elementos que conforman el sistema de puerta puede ser interesante al momento de definir las estrategias de hermeticidad, ya que esto nos puede dar indicios sobre puntos susceptibles de infiltración de aire. En la figura 8.9, se muestran los principales puntos de infiltración de aire a través de una puerta.

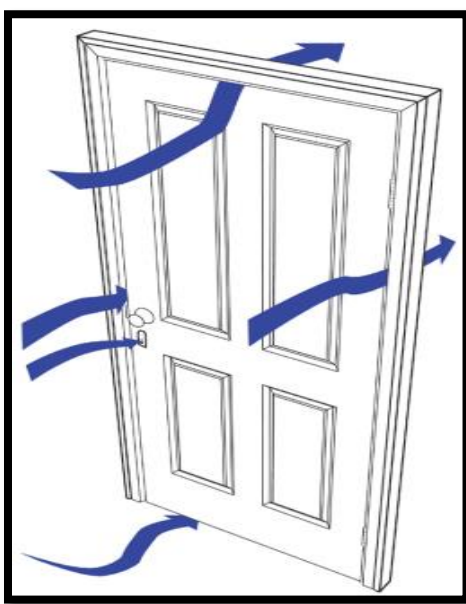


Ilustración 43. principales fuentes de infiltración a través de una puerta

Fuente: Manual De Hermeticidad al aire en Edificaciones

El manual de hermeticidad al aire propone estrategias a considerar sin afectar la funcionalidad de esta:

1. Reducir al máximo la tolerancia entre los vanos y los marcos de puertas

- Instalar marco de puerta con galce que permita la adaptación al vano de la puerta
- Especificar la instalación de cintas de caucho de forma perimetral, previo a la instalación del marco. Posteriormente, considerar sello de silicona y/o instalar pilastra de terminación.

2. Reducir al máximo la tolerancia de la hoja de puerta y marco, respecto del nivel de piso terminado

- En puertas que abren hacia el exterior (generalmente de acceso secundario), diseñar un zócalo con el nivel de piso, de tal forma que la hoja de la puerta atraque contra éste.
- En puertas que abren hacia el interior (generalmente de acceso principal), especificar la instalación de burletes (zócalos, listones), cintas de PVC o espuma PUR.

3. Reducir al máximo la tolerancia entre la hoja de la puerta y el marco

- Instalar una hoja y marco de puerta con galce o doble contacto.
- Especificar cintas autoadhesivas aislantes de caucho o espuma PUR por el perímetro del marco de puerta, teniendo presente que éste trabaje a la compresión.

4. Reducir al máximo las tolerancias de las perforaciones para la instalación de cerraduras, tanto en la hoja como en el marco

- Especificar el sellado perimetral de las perforaciones asociadas al tipo de cerradura (pomo o manilla, embutir, sobreponer), considerando el frontal y la contra frontal. Para la elección del tipo de sello (silicona) o retape, se deberá tener presente la materialidad de la puerta especificada y las indicaciones del fabricante de la puerta.

SELLOS: Se deben colocar burletes en todas las puertas que dan al exterior, al igual que las puertas entre los espacios térmicos y no térmicos. La colocación de burletes en puertas está diseñada para la base de la puerta o peinazo. Para instalar los burletes en la base de la puerta posiblemente se requiera desinstalar la puerta, por lo que se pueden instalar los burletes en el umbral de la puerta, en la parte inferior, o en ambos lugares.

Sello	Descripción	Aplicación
Basculante	El listón del burlete va atornillado a la puerta y solo toca el suelo cuando ésta se cierra, lo que permite que el cerámico, parquet u otra solución de pavimento no se raye.	
Adhesivo	De muy fácil instalación. Se adhieren a la puerta por lo que no hay hacer agujeros.	
Doble rollo	Se colocan entre el espacio entre el suelo y la puerta sin ningún tipo de adhesivo o tornillo por lo que lo se puede sacar y poner según necesidades. Los dos rollos situados a ambos lados de la puerta ejercen de barrera ante la posible entrada de aire y humedad. Está compuesta por una lámina flexible de PVC.	

Tabla n°6: tipos de sellos para puertas.

Fuente: Manual de Hermeticidad al aire en Edificaciones

A continuación, se presentan las fichas con las soluciones propuestas, según el tipo de singularidad y la materialidad presente en los distintos elementos constructivos.

MATERIALIDAD						
	ENCUENTRO PISO - SOBRECIMIENTO-MURO LOSA/ENTREPISO-MURO	ENCUENTRO CIELO-MURO-CUBIERTA	ENCUENTRO VENTANA-MARCO-MURO	ENCUENTRO PUERTA-MARCO-MURO	CANALIZACIONES POR INSTALACIONES	PERFORACIONES POR INFIL- TRACIONES
HORMIGÓN	1A	1B	1C	1D	E	F
ALBAÑILERÍA	2A	2B	2C	2D		
LIVIANA (MADERA-ACERO)	3A	3B	3C	3D		

Tabla 6. Singularidades tipo, según clase de construcción de la OGUC.

Fuente: Manual de Hermeticidad al aire en Edificaciones

Descripción general para Solución 2D (encuentro ventana-marco-muro): Encuentro de hoja de puerta con nivel de piso terminado. Sello de infiltración al aire generado por desnivel o sócalo y sello en base a cinta de caucho.

Recomendación: Verificar la horizontalidad o planeidad del Piso Terminado, la desviación no debe superar 1mm. El espesor de la cinta de caucho debe ser mayor en 2mm que el espesor de la máxima desviación horizontal del zócalo. Esta última no debe superar 1mm

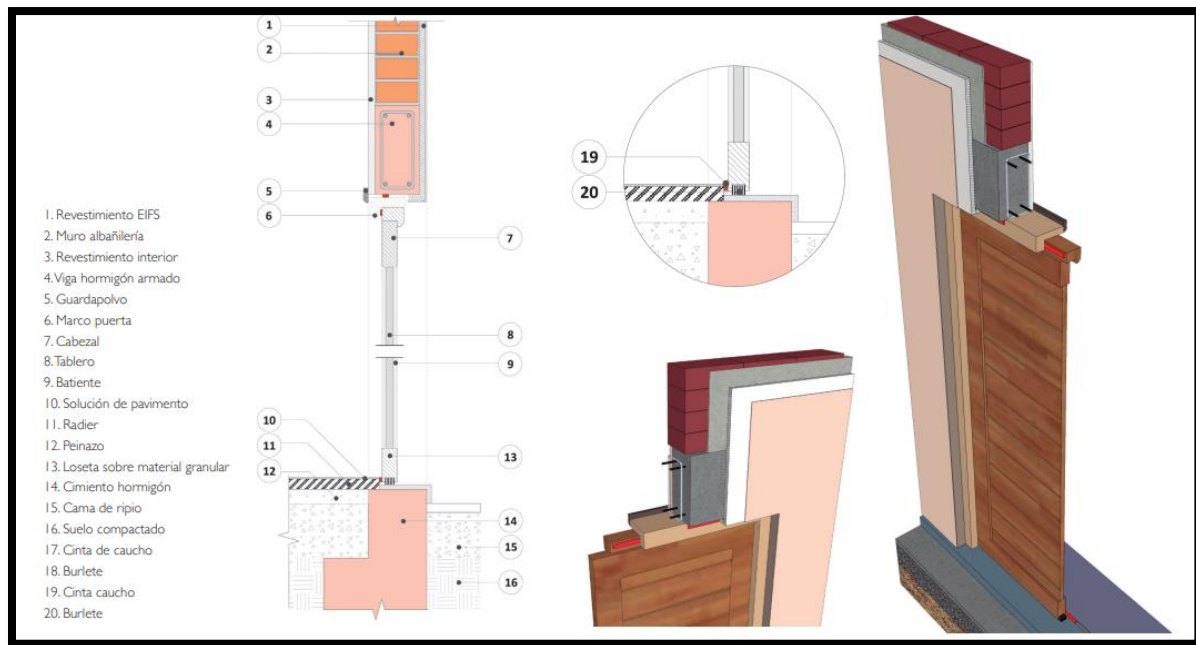


figura n°42: solución a singularidad tipo 2D

Fuente: Manual De Hermeticidad al aire en Edificaciones

SOLUCIONES PARA LAS DIFERENTES PUERTAS DE LA VIVIENDA

Puerta principal: se instalará un marco de madera de pino de 40 mm x 90 mm x 5,4 m con burlete incluido, que ofrece estabilidad y buen aislamiento al reducir el paso de aire, polvo y ruido. Se añadirá una pilastra de terminación en el interior, se sellará con silicona neutra de alta adherencia, las uniones del marco de la puerta con el muro de la vivienda como también la pilastra, se utilizará Silicona Neutra 100% de Dow Corning o SikaFlex-112 Crystal Clear, para asegurar un cierre hermético y resistente a la humedad y los rayos UV.

En el espacio entre la puerta y el suelo, se colocará un sello de doble rollo con lámina de PVC, que bloqueará eficazmente el ingreso de aire y polvo. Además, se aplicará una cinta autoadhesiva de alta resistencia, como la Cinta de Espuma EPDM Autoadhesiva o Tesa Moll Universal, en el perímetro del marco para trabajar a compresión y garantizar un ajuste hermético cuando la puerta esté cerrada.



figura n°43: soluciones para puerta principal

Fuente: <https://ignisterra.com/products/marcos-de-puerta-kit-completo>

Puerta cocina sector patio trasero: Para el sector de la cocina que da al patio trasero, se aplica la misma solución de hermeticidad que en la puerta principal debido a las condiciones climáticas que afectan esa área, buscando mejorar el aislamiento contra la infiltración de aire y reducir el ingreso de polvo y ruido. Sin embargo, se realizará también un cambio de la puerta existente por una Puerta Metálica Lisa Blanca que ofrece mayor protección acústica y térmica, ideal para las necesidades de este espacio.

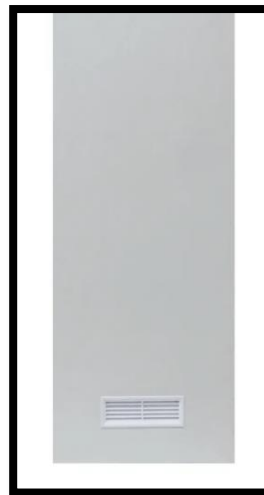


Ilustración 44. soluciones para puerta cocina sector patio trasero

Fuente: https://dimfer.cl/products/puerta-metalica-lisa-blanca-con-celosia?pr_prod_strat=jac&pr_rec_id=541fca790&pr_rec_pid=7798733406343&pr_ref_pid=7798680453255&pr_seq=uniform

Puerta baño principal: En el baño principal, se conservará el marco actual, reforzado con pilastras de madera tratadas selladas con Silicona Neutra de Alta Adherencia para resistencia a la humedad. Se instalará un sello tipo escobilla en la base de la puerta y una Cinta de Espuma EPDM Autoadhesiva en el perímetro del marco para asegurar hermeticidad. La puerta será reemplazada por una Puerta de PVC con Aislamiento Interior, ideal para el baño por su resistencia y capacidad de aislamiento térmico y acústico, optimizando así el confort y la eficiencia energética.



Ilustración 45. soluciones para puerta baño principal

Fuente: <https://www.puertasycerraduras.cl/product/puerta-de-metal-pvc-blanca-normal/>

Puertas dormitorios segundo nivel: se implementará una solución de hermeticidad enfocada en sellar el contacto entre el marco de la puerta y el muro, así como las uniones de las pilastras del marco, para reducir la infiltración de aire y mejorar el aislamiento acústico. Se utilizará Silicona Neutra de Alta Adherencia y Elasticidad (como Dow Corning Silicona Neutra 100% o SikaFlex-112 Crystal Clear) para sellar estos puntos de contacto, garantizando durabilidad y resistencia. Además, se aplicará una Cinta de Espuma EPDM Autoadhesiva en el perímetro del marco, que trabajará a compresión para asegurar un ajuste hermético entre el marco y la puerta. En la base de cada puerta se instalará un sello tipo escobilla adhesivo, que bloqueará eficazmente el paso de aire y polvo, brindando un aislamiento adicional.

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LA HERMETICIDAD AL AIRE DE VENTANAS

Los criterios para mejorar la hermeticidad de las ventanas son similares a los considerados para puertas; debemos centrarnos no sólo en el sistema de ventana propiamente tal; hoja-marco-dispositivos de cierre y de evacuación de aguas, sino que también en la forma como se resuelve su instalación en el vano.

Las estrategias y soluciones de hermeticidad deben considerar la materialidad, tipo de acristalamiento, dispositivos de cierre, forma de apertura y sustrato sobre el cual será instalada, sin olvidar el tamaño, ya que muchos sistemas de ventanas tienen restricciones en este sentido, asociadas principalmente a la resistencia de cargas de viento a las cuales se verá sometida durante su vida útil.

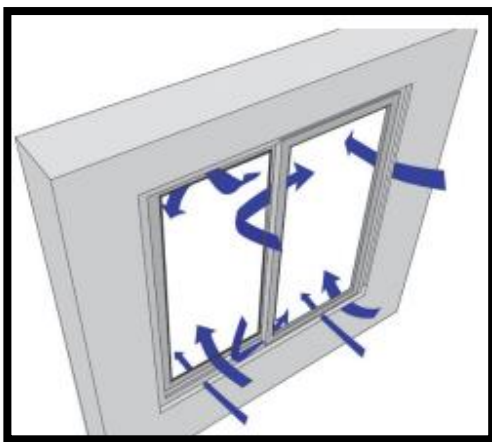


Ilustración 46. principales puntos de infiltración de una ventana corredera

Fuente: Manual de Hermeticidad al aire en Edificaciones

De esta forma, las principales estrategias de diseño para ventanas según se menciona en el Manual de Hermeticidad, se deben considerar los siguientes aspectos, sin afectar la funcionalidad de ésta:

1. Reducir al máximo la tolerancia entre los vanos y los marcos de ventana:

- Instalar un pre-marco de ventana con galce, o dejar en el rasgo de la ventana un zócalo interior de tal forma que la ventana atraque contra este elemento.
- Especificar la instalación de cintas de caucho perimetralmente, previo a la instalación del marco.
- Especificar sellado perimetral entre el marco y el rasgo, teniendo presente la materialidad de la ventana y la del rasgo. Se debe seguir las recomendaciones del fabricante del sellador a utilizar, en cuanto a su aplicabilidad e instalación.

2. Reducir al máximo los canales de comunicación entre el interior y el exterior a través de los sistemas de ventanas.

- Para efectos de dimensionar la permeabilidad al aire de la ventana, exigir la realización del ensayo descrito en la NCh892Of.2001.
- Especificar la instalación de deflectores con aletas en los despiches o evacuaciones exteriores
- Especificar que las perforaciones para las evacuaciones de agua generadas en el interior del marco no se encuentren en la misma línea que las perforaciones generadas en el exterior. Se deberá consultar al fabricante del sistema, no obstante, se recomienda un desfase de a lo menos 100mm.
- Especificar, para el caso de ventanas correderas, topes estancos en la parte superior e inferior del encuentro entre las hojas y el marco, los cuales pueden de ser caucho/felpa o PVC, según recomendación del fabricante del sistema de ventana.
- Especificar que todos los burletes, siliconas y felpas, indistintamente de función (acristalamiento, calce de contacto, otra), deben corresponder a los definidos por el fabricante del sistema de ventana, dependiendo de la línea y condición de exposición. Todo burlete, silicona y felpa, no debe perder su continuidad.

A continuación, se presentan las fichas con las soluciones propuestas, según el tipo de singularidad y la materialidad presente en los distintos elementos constructivos (tabla n°6).

Descripción general para la solución 2C (encuentro ventana-marco-muro): Encuentro rasgo o vano de muro con marco de ventana. Sello de infiltración al aire generado por zócalo

en el rasgo de la ventana, el cual es reforzado con la instalación de una cinta de caucho pre comprimida previo a la instalación del marco.

Recomendaciones: Verificar la verticalidad y horizontalidad del rasgo de la ventana y zócalo, la desviación no debe superar el $\pm 0,15$ % del lado respectivo del vano. El espesor de la cinta de caucho debe ser mayor en 2mm que el espesor de la máxima desviación del zócalo. Previa instalación del marco de la ventana el rasgo debe estar impermeabilizado. Se debe sellar con silicona el encuentro perimetral del marco con el rasgo, por el exterior con silicona neutra y por el interior con silicona acrílica.

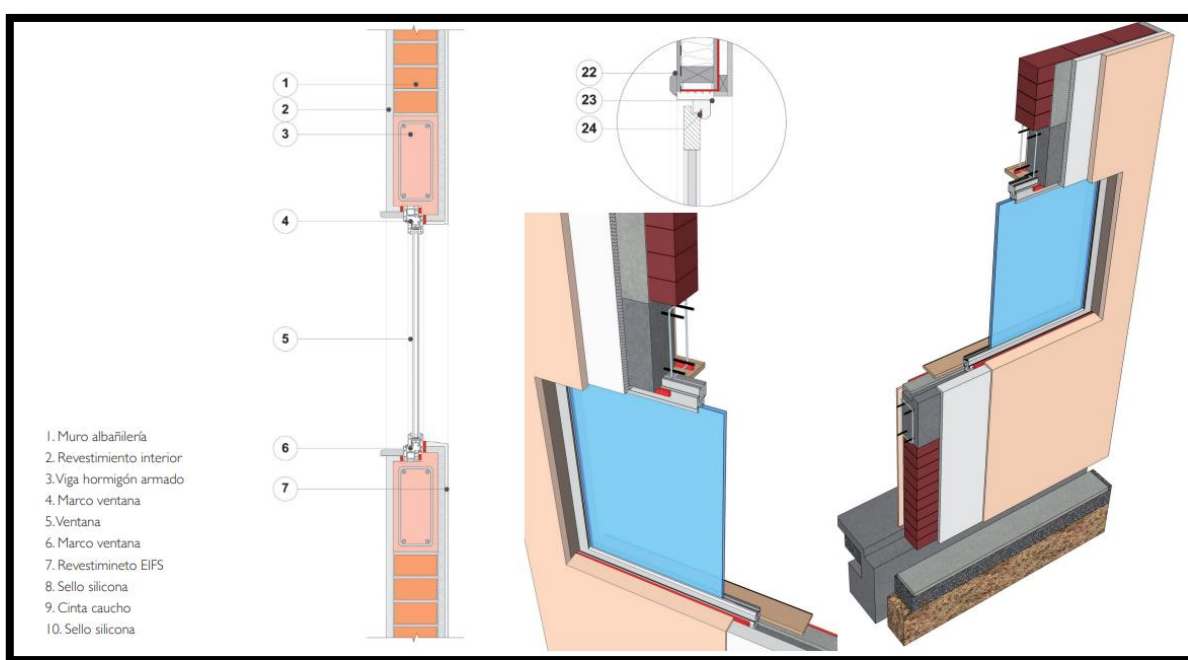


Ilustración 47. solución a singularidad de tipo 2C

Fuente: Manual de Hermeticidad al aire en Edificaciones

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LAS VENTANAS

Ventanas correderas: para mejorar la eficiencia térmica y acústica en las ventanas correderas de las habitaciones del segundo nivel, se adaptarán las ventanas existentes a termo paneles (figura n°49) mediante el uso de un adaptador de doble vidrio (figura n°48). este adaptador permite la incorporación de un vidrio adicional, creando una cámara de aire que mejora el aislamiento, sin necesidad de reemplazar completamente el marco. esto conserva los elementos originales de la ventana, reduciendo significativamente los costos en comparación con una instalación nueva.

dado que esta modificación puede ser costosa, se recomienda implementarla prioritariamente en las habitaciones más expuestas a los vientos predominantes, lo que maximizará el confort en esas áreas. además, para mejorar la hermeticidad, se colocará una tira adhesiva de espuma epdm tesa moll. esta cinta ayuda a sellar las uniones de las ventanas correderas, reduciendo la entrada de aire, polvo y ruido, y complementando el rendimiento del termo panel.

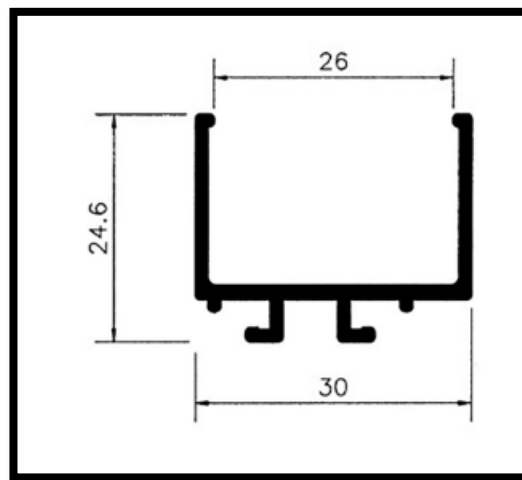


Ilustración 48. adaptador doble vidrio

Fuente: <https://metalvid.cl/producto/adaptador-doble-vidrio/>

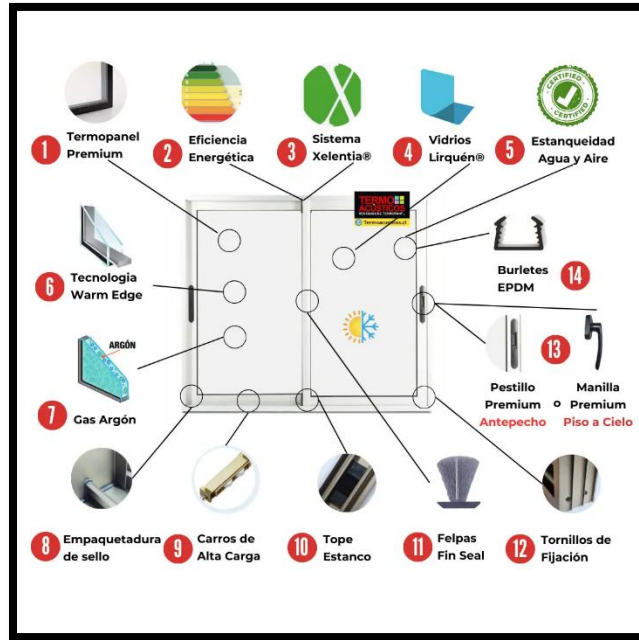


Ilustración 49. detalle de ventana corredera termopanel

Fuente: <https://termoacusticos.cl/14-razones-para-elegir-ventanas-termopanel/>

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA PISO VENTILADO DOMITORIO N°4

Para mejorar la hermeticidad del piso ventilado en el dormitorio sobre la entrada de vehículos, se utilizará la siguiente solución integral, instalando primero planchas de Poliestireno Expandido (EPS) de 100x50 cm y 50 mm de espesor, con densidad de 30 kg/m³, que proporcionan un aislamiento térmico eficaz y reducen la pérdida de calor. A continuación, se colocará una placa de OSB de 15 mm de espesor debajo del EPS para aportar soporte estructural. Las uniones entre las placas de OSB se sellarán con Espuma Expansiva Sika Boom, evitando cualquier infiltración de aire y asegurando un sellado hermético.

Sobre la placa de OSB, se instalará una Membrana Hidrófuga Resistente al Aire y a la Humedad, como la Membrana Asfáltica Auto-Adhesiva Sip-Propanel, que actúa como barrera de vapor, protegiendo la estructura contra la entrada de humedad. Las juntas de la membrana se sellarán con Cinta Mono Adhesiva Tesa 4848, garantizando la continuidad de la barrera contra el paso de aire.

Finalmente, para proteger todo el sistema y dar un acabado duradero y estético, se aplicará un revestimiento exterior de siding de fibrocemento liso, Este orden y combinación de

materiales optimizan la eficiencia térmica, la hermeticidad y el confort del dormitorio, asegurando un ambiente interior aislado y protegido frente a las condiciones exteriores.

SOLUCION CONSTRUCTIVA PARA CONEXIÓN DE AGUA POTABLE SECTOR COCINA

Para mejorar la hermeticidad en la conexión de agua potable en el sector de la cocina, donde la tubería atraviesa el muro de albañilería desde el patio trasero, se implementará una solución integral para evitar la infiltración de aire. Actualmente, este punto crítico carece de sellado, permitiendo el paso de aire hacia el interior de la vivienda.

Primero, se realizará una limpieza del área alrededor de la tubería para eliminar polvo y restos de material, asegurando una superficie adecuada para el sellado. Luego, se aplicará Espuma Expansiva Sika Boom en el espacio alrededor de la tubería para rellenar las cavidades y asegurar un cierre hermético. Una vez que la espuma esté curada, se sellará el contorno de la tubería con Masilla de Poliuretano SikaFlex-11 FC, que es flexible y resistente a la intemperie, adaptándose a movimientos o vibraciones de la tubería.

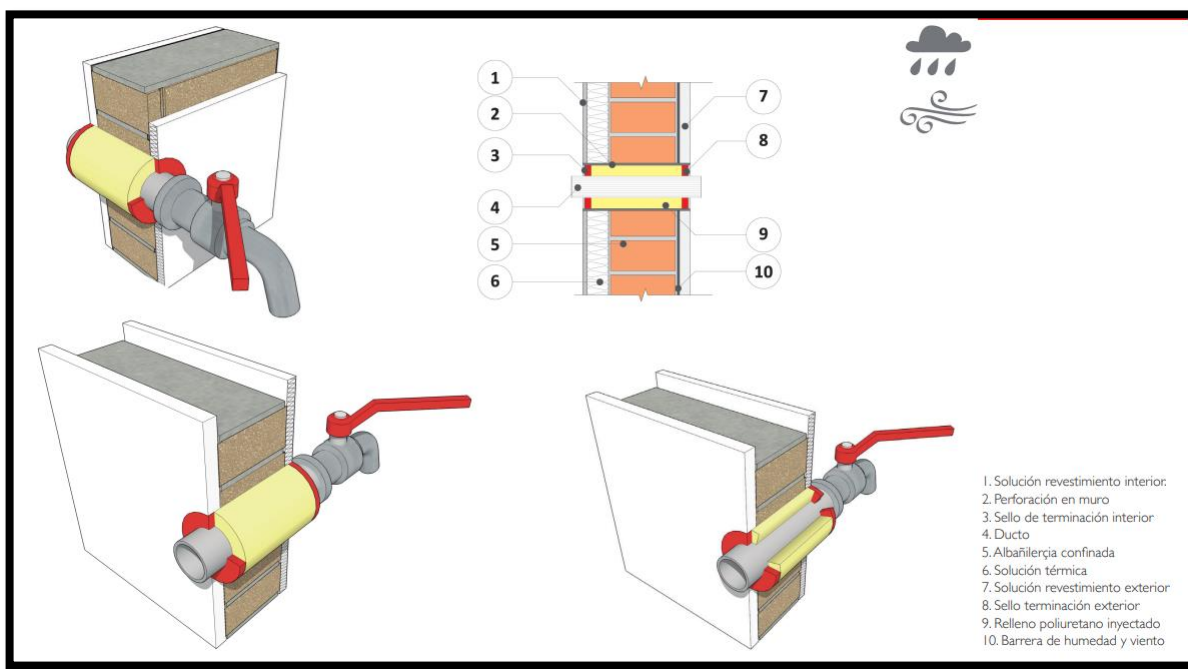


Ilustración 50. detalle de solución E para canalización

Fuente: Manual de Hermeticidad al aire en Edificaciones

SOLUCION CONSTRUCTIVA PARA ENVOLVENTE TERMICA EXTERIOR SEGUNDO NIVEL

Para mejorar la hermeticidad de la envolvente térmica exterior del segundo nivel, Primero, se retirarán el siding de fibrocemento y el papel fieltro existentes para acceder al OSB. Luego, en las uniones de las planchas de OSB, se aplicará Espuma Expansiva para sellar completamente las juntas y evitar infiltraciones de aire, asegurando una base hermética.

A continuación, se instalará una membrana hidrófuga transpirable sobre el OSB, fijándola con corchetes. Esta membrana, que actúa como una barrera contra el vapor y la humedad, se sellará en sus uniones y esquinas con Cinta Mono Adhesiva para garantizar la continuidad. Para el caso de ventanas, la membrana cubrirá el interior de los vanos, extendiéndose hacia el interior para asegurar la integridad de la barrera en estos puntos críticos.

Sobre la membrana se colocarán listones de madera de 1x2 pulgadas, creando una cámara de aire que mejora la ventilación y evita la acumulación de humedad, lo que aumenta la durabilidad del sistema. Posteriormente, se reinstalará el siding de fibrocemento sobre estos listones. Se considerará un porcentaje adicional de material para reemplazar las piezas deterioradas durante el desmontaje. Finalmente, se aplicará una capa de pintura en el siding para mejorar la estética y proporcionar protección adicional contra el clima. Solución integral (figura 51) 3A (encuentro piso-sobrecimiento-muro-los/entrepiso-muro) la cual fue adaptada a los requerimientos de la vivienda.

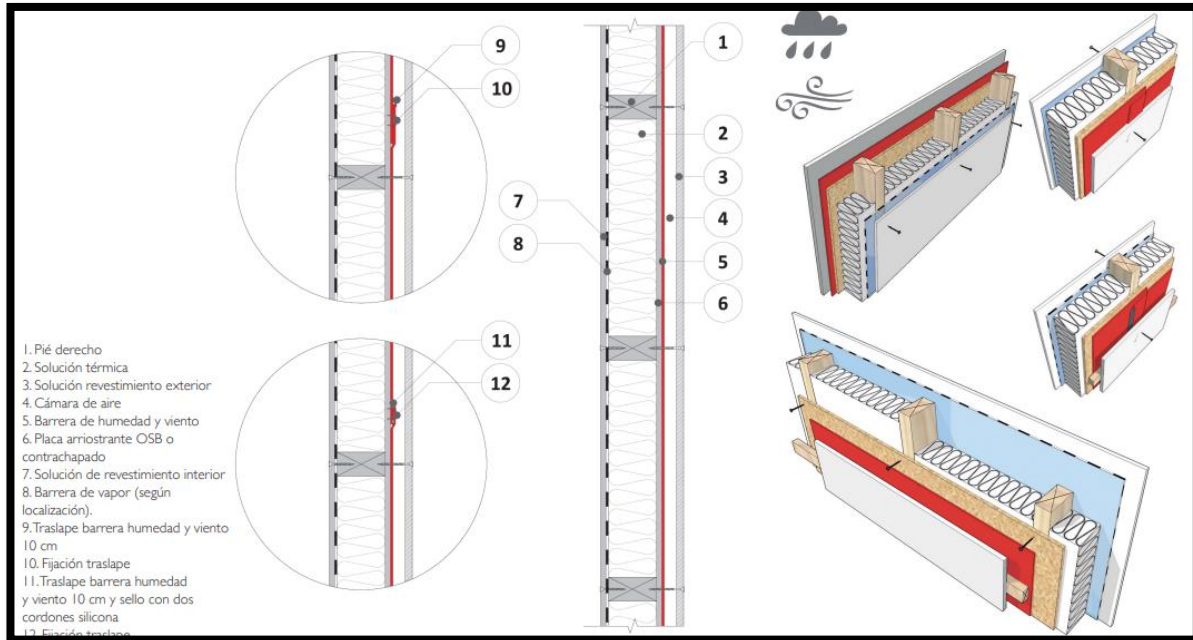


Ilustración 5. detalle de solución para 3A (encuentro piso-sobrecimiento-muro-losa/entrepiso-muro)

Fuente: Manual de Hermeticidad al aire en Edificaciones

ENCUENTRO CIELO-MURO-CUBIERTA (3B)

Para mejorar la hermeticidad en el sector del alero (figura 52), se conservará la plancha de OSB existente y se sellarán sus juntas aplicando Espuma Expansiva Sika Boom para evitar infiltraciones de aire. Luego, sobre el OSB, se colocará una membrana hidrófuga, fijándola con corchetes para asegurar su ajuste y protección contra la humedad.

A continuación, se construirá un alero ventilado con una terminación en plancha de fibrocemento lisa, permitiendo la circulación de aire y reduciendo la acumulación de humedad en esta zona. En la unión entre el muro y el alero, se instalará una cornisa de acabado que será sellada en todos sus bordes con Sellador de Poliuretano SikaFlex-11 FC para asegurar una barrera hermética y duradera.

Esta solución asegura la protección del alero frente a la intemperie, manteniendo una estructura ventilada y bien aislada, lo que optimiza la durabilidad y la eficiencia energética del espacio interior de la vivienda.

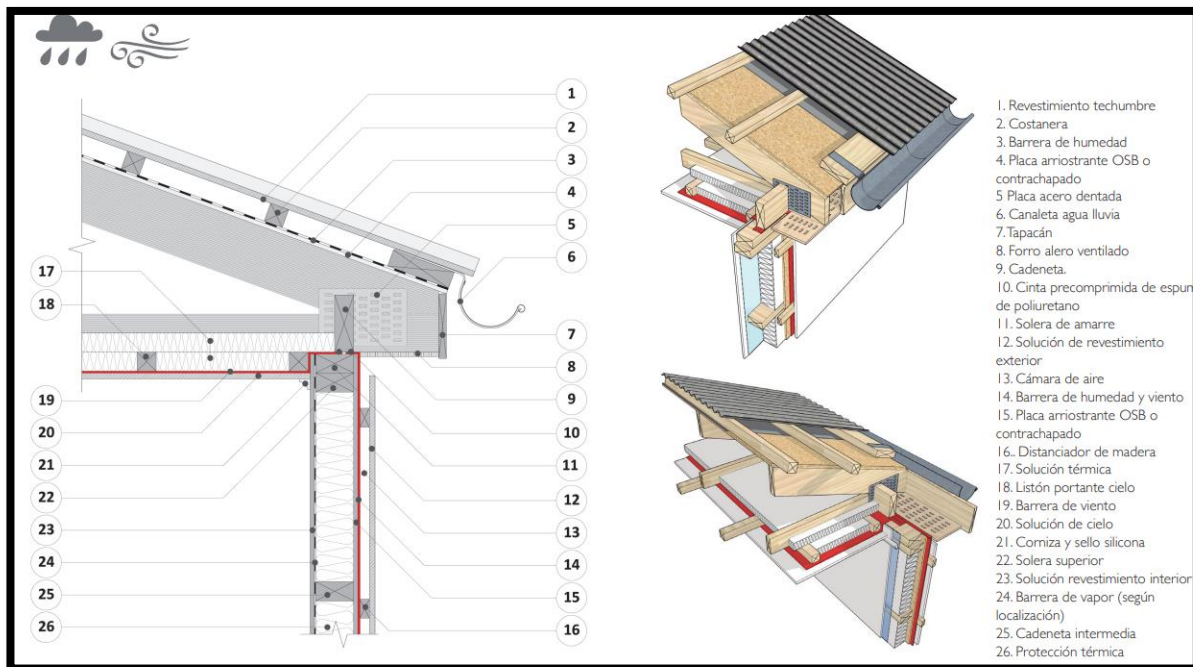


Ilustración 52. detalle de solución para 3B (encuentro cielo-muro-cubierta)

Fuente: Manual de Hermeticidad al aire en Edificaciones

SOLUCION CONSTRUCTIVA PARA MURO OESTE SECTOR COCINA

Para mejorar la hermeticidad y el aislamiento del muro en el sector de la cocina (lado oeste de la vivienda), se implementará una solución integral, optimizando los revestimientos interiores y exteriores. Primero, se retirarán los revestimientos actuales para acceder a la estructura de madera. Se conservará la plancha de OSB exterior, se aplicará Espuma Expansiva para sellar herméticamente las juntas, eliminando posibles puntos de infiltración de aire.

A continuación, se instalará una membrana hidrófuga transpirable, sobre el OSB y fijada con corchetes. Esta membrana actuará como barrera contra la humedad y el vapor, protegiendo la estructura del muro, y sus uniones y esquinas serán selladas con Cinta Mono Adhesiva para garantizar continuidad en la barrera de aire. Sobre la membrana se fijarán listones de madera de 2x4 pulgadas, creando una cámara de aire ventilada que permite la circulación y evita la acumulación de humedad, aumentando la durabilidad del sistema.

En el revestimiento exterior se utilizarán planchas de OSB Smart panel, conocidas por su resistencia a la humedad, durabilidad y capacidad para soportar las condiciones climáticas, lo que optimiza la protección y el aislamiento del muro. En el interior, se revestirá el muro con planchas de yeso-cartón resistentes a la humedad (RH), ideales para cocinas ya que soportan la exposición a la humedad y permiten un acabado estético y fácil de mantener.

SOLUCION CONSTRUCTIVA DE ENCUENTRO DE CAÑON DE ESTUFA CON LOSA

Primero, se limpia el área afectada para eliminar residuos y asegurar la adherencia. Luego, se aplica espuma de poliuretano expansiva en la perforación, la cual, tras secarse en 24 horas, se corta al ras. Posteriormente, se cubre con cinta americana para mejorar la resistencia de la base. Sobre esto se aplica una mezcla de yeso con adhesivo, nivelando con la superficie circundante, y se deja secar.

A continuación, se coloca una capa de pasta de muro para suavizar y eliminar irregularidades, que, al secar, se lija hasta lograr una superficie uniforme. Finalmente, se pinta el área para integrar la reparación con el acabado original

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA RENOVACION DE AIRE

En la siguiente tabla se presentarán las estrategias para la renovación de aire de aquellas habitaciones en la cual la ventilación natural no es suficiente para generar una adecuada renovación de aire:

Sector	Estrategia de renovación de aire
Baño primer piso	Extractor de aire de 120mm con una capacidad de renovación del flujo de aire de 0,06 m ³ /s
Baño segundo piso	Extractor de aire de 120mm con una capacidad de renovación del flujo de aire de 0,06 m ³ /s
Cocina	Extractor de aire tipo mural de 29watts con una capacidad de renovación del flujo de aire de 0,26 m ³ /s
Dormitorio 1	Extractor de aire de 120mm con una capacidad de renovación del flujo de aire de 0,06 m ³ /s

Tabla 7. estrategias para mejorar la renovación de aire

Fuente: elaboración propia, generado según la consideración del software optiven 2.1

CONCLUSION DEL CAPITULO N°2: PROPUESTAS DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

Las soluciones constructivas presentadas en este capítulo permiten mejorar significativamente la hermeticidad y el rendimiento térmico de los distintos elementos de la envolvente de una vivienda. Al abordar aspectos críticos como las puertas, ventanas, pisos ventilados, conexiones de servicios y la envolvente exterior, se propone un enfoque integral que minimiza las infiltraciones de aire, optimiza el uso de energía y contribuye al confort térmico interior.

Cada solución ha sido diseñada teniendo en cuenta las propiedades de los materiales y las técnicas de instalación adecuadas para asegurar la durabilidad, la resistencia a la intemperie y la efectividad en el sellado. Estas intervenciones no solo reducen la pérdida de calor, sino que también mejoran el aislamiento acústico, lo cual es especialmente relevante en áreas expuestas a factores climáticos adversos.

La implementación de sistemas de renovación de aire controlado, en sectores donde la ventilación natural es insuficiente, contribuye a mantener una adecuada calidad de aire interior, garantizando un ambiente saludable para los ocupantes. En conjunto, las propuestas de este capítulo apuntan a una vivienda más eficiente en términos energéticos y más confortable para sus usuarios, sentando las bases para un diseño constructivo sostenible y adaptado a las normativas de eficiencia energética y calidad ambiental.

CAPITULO N°3: PRESUPUESTO DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

GENERALIDADES

En el presente capítulo se desarrolla el presupuesto de las soluciones constructivas propuestas para mejorar la hermeticidad y eficiencia térmica de la vivienda en estudio. El objetivo principal es determinar los costos asociados a cada una de las soluciones planteadas, desglosando los precios unitarios de materiales, mano de obra y equipos involucrados en su implementación.

Para llevar a cabo este análisis, se realizaron Análisis de Precios Unitarios (A.P.U) para cada componente constructivo, utilizando datos recopilados a partir de consultas de mercado y cálculos realizados mediante herramientas informáticas, específicamente Excel. El desglose detallado permite identificar los recursos necesarios para cada partida, facilitando una visión clara del presupuesto final y su viabilidad económica.

En particular, se consideraron las siguientes partidas:

1. Puertas interiores: Se analizaron los precios unitarios correspondientes a las puertas del baño principal, cocina y dormitorios, permitiendo conocer los costos de instalación y materiales.
2. Muros: Se estudiaron soluciones específicas para los muros del sector cocina (muro oeste) y los muros exteriores del segundo nivel.
3. Pisos ventilados: Se evaluaron los costos asociados a la implementación de un piso ventilado, considerando su impacto en la mejora de la eficiencia térmica.
4. Extractores de aire: Se incorporó el análisis de precios unitarios para extractores de aire en baños y dormitorios, como medida para optimizar la ventilación y reducir problemas de infiltraciones y condensación.
5. Muro – Cielo: Se incluyeron soluciones constructivas que integran la relación entre muros y cielos, buscando la hermeticidad en puntos críticos de la vivienda.

Además de los Análisis de Precios Unitarios, se consideran:

- Gastos Generales: Se desglosan los costos indirectos asociados a la implementación de las soluciones constructivas, tales como administración, imprevistos y herramientas menores.
- Leyes Sociales: Se incluyen los costos relacionados con el cumplimiento de obligaciones legales, tales como pagos de seguridad social y beneficios laborales.
- Presupuesto Final: Se presenta el presupuesto consolidado que agrupa los costos directos e indirectos, permitiendo una evaluación global del impacto económico de las soluciones propuestas.

En suma, este capítulo proporciona una base técnica y económica fundamentada para la toma de decisiones en la implementación de mejoras constructivas orientadas a la optimización de la hermeticidad y eficiencia energética de la vivienda estudiada.

1. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (A.P.U)

1.1 PUERTA BAÑO PRINCIPAL

		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
APU:	PUERTA BAÑO PRINCIPAL			Unidad	UNI
Proyecto:				Cantidad:	1
A MATERIALES					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Puerta de metal blanco tradicional 70cm	c/u	1	\$ 56.700	\$ 56.700
2	Juego de marco puerta pino con burlete 40mmx80mmx5,4	c/u	1	\$ 21.862	\$ 21.862
3	Bisagra acero inoxidable 40x40 scanavini	c/u	3	\$ 10.149	\$ 30.447
4	Tarugo nylon M-8 b100 imporper	caja	0,12	\$ 2.041	\$ 245
5	Tornillos para madera 10x3" 144 unidades	caja	0,07	\$ 9.469	\$ 663
6	Burlete aislante con escobilla 1m	c/u	1	\$ 8.413	\$ 8.413
7	Cerradura de pomo inoxidable	c/u	1	\$ 7.282	\$ 7.282
				Total	\$ 125.612
B MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1					\$ -
2					\$ -
				Total	\$ -
C MANO DE OBRA					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Carpintero + Ayudante	H/D	1,00	\$ 41.667	\$ 41.667
2	Desgaste de Herramientas	%	5,00	\$ 41.667	\$ 2.083
				Sub Total	\$ 43.750
				42% leyes Sociales	\$ 17.500
				Total	\$ 61.250
				Total costo directo	\$ 186.862

Tabla 8. análisis de precio unitario puerta baño principal

Fuente: elaboración propia, generado mediante programa Excel.

1.2 PUERTA BAÑO PRINCIPAL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
APU:	PUERTA METALICA SECTOR COCINA			Unidad	UNI	
Proyecto:				Cantidad:	1	
A MATERIALES						
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	Puerta metalica blanca lisa con celosia (70x200mm)	c/u	1	\$ 57.340	\$ 57.340
	2	Juego de marco puerta pino con burlete 40mmx80mmx5,4	c/u	1	\$ 21.862	\$ 21.862
	3	Bisagra acero inoxidable 40x40 scanavini	c/u	3	\$ 10.149	\$ 30.447
	4	Tarugo nylon M-8 b100 imporper	caja	0,12	\$ 2.041	\$ 245
	5	Tornillos para madera 10x3" 144 unidades	caja	0,07	\$ 9.469	\$ 663
	6	Tesamoll doble rollo aislante 95cm	c/u	1	\$ 4.277	\$ 4.277
	7	Cerradura de pomo inoxidable	c/u	1	\$ 7.282	\$ 7.282
					Total	\$ 122.116
B MAQUINAS Y EQUIPOS						
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1					\$ -
	2					\$ -
					Total	\$ -
C MANO DE OBRA						
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	Carpintero + Ayudante	H/D	1,00	\$ 41.667	\$ 41.667
	2	Desgaste de Herramientas	%	5,00	\$ 41.667	\$ 2.083
					Sub Total	\$ 43.750
				42% leyes Sociales		\$ 17.500
				Total		\$ 61.250
				Total costo directo		\$ 183.366

Tabla 9. análisis de precio unitario puerta sector cocina

Fuente: elaboración propia, generado mediante programa Excel.

1.3 PUERTA BAÑO PRINCIPAL

	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
APU:	PUERTAS DORMITORIOS				Unidad	UNI
Proyecto:					Cantidad:	1
	A MATERIALES					
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	Burlete aislante con escobilla 1m	c/u	1	\$ 8.413	\$ 8.413
	2	Burlete tipo 1 cinta aislante termica puerta 6m	c/u	0,78	\$ 4.852	\$ 3.785
	3	Silicona universal 280ml	c/u		\$ 6.634	\$ -
	4					\$ -
	5					\$ -
	6					
					Total	\$ 12.198
	B MAQUINAS Y EQUIPOS					
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1					\$ -
	2					\$ -
					Total	\$ -
	C MANO DE OBRA					
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	Carpintero	H/D	0,30	\$ 25.000	\$ 7.500
	2	Desgaste de Herramientas	%	5,00	\$ 7.500	\$ 375
					Sub Total	\$ 7.875
					42% leyes Sociales	\$ 3.150
					Total	\$ 11.025
					Total costo directo	\$ 23.223

Tabla 10. análisis de precio unitario puerta dormitorios

Fuente: elaboración propia, generado mediante programa Excel.

1.4 MURO OESTE SECTOR COCINA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
APU:	MURO OESTE SECTOR COCINA			Unidad	m2	
Proyecto:				Cantidad:	1	
A MATERIALES						
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	Espuma expansiva de poliuretano 500ml (sikaboom s)	c/u	0,96	\$ 4.447	\$ 4.269	
2	Membrana hidrofuga matwrap 40m2 (1,5 x 26,7m)	rollo	0,025	\$ 22.113	\$ 553	
3	Cinta traslape aislacel rollo 48mm x 40m	rollo	0,52	\$ 2.082	\$ 1.083	
4	Grapas corchetes 10mm (3/8") stanley 1.000 unid	caja	0,025	\$ 7.614	\$ 190	
5	Liston de madera 1x2" 3,20mts	pieza	1	\$ 1.109	\$ 1.109	
6	Clavo corriente 3" acero 1kg inchalam	bolsa	0,075	\$ 1.449	\$ 109	
7	Plancha de OSB 9mm	pl	0,336	\$ 9.711	\$ 3.263	
8	Plancha de fibrocemento 6x1200x2400mm permanit rasnurado	pl	0,347	\$ 11.737	\$ 4.073	
9	Tornillo fibro siding punta espada 10x1 3/4" ruspert 100 unid	caja	0,3	\$ 4.042	\$ 1.213	
10	Plancha de yeso carton RH 12,5mm	pl	0,347	\$ 10.927	\$ 3.792	
11	Tornillo yesocarton punta fina 6x 1/4" zincado brillante 250 unid	caja	0,12	\$ 3.313	\$ 398	
12	Cinta de fibra de vidrio autoadhesiva 5cm x 45m	rollo	0,32	\$ 3.151	\$ 1.008	
13	Pasta muro interior t-15 topex 1kg	bolsa	0,17	\$ 964	\$ 164	
14	Lija A-257 madera grano 120	c/u	4	\$ 186	\$ 744	
15	Esmalte al agua semibrillo tricolor 1gl	galon	0,044	\$ 22.672	\$ 998	
				Total	\$ 22.964	
B MAQUINAS Y EQUIPOS						
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1					\$ -	
2					\$ -	
				Total	\$ -	
C MANO DE OBRA						
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	Carpintero + Ayudante	H/D	1,19	\$ 41.667	\$ 49.584	
2	Desgaste de Herramientas	%	5,00	\$ 49.584	\$ 2.479	
				Sub Total	\$ 52.063	
				42% leyes Sociales	\$ 20.825	
				Total	\$ 72.888	
				Total costo directo	\$ 95.852	

Tabla 11. análisis de precio unitario Muro oeste sector cocina

Fuente: elaboración propia, generado mediante programa Excel.

1.5 PISO VENTILADO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
APU:	PISO VENTILADO			Unidad	m2
Proyecto:				Cantidad:	1
A MATERIALES					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Poliestireno expandido 50mm espesor, 20kg/m3 (12planchas- 6m2)	Paquete	0,014	\$ 20.970	\$ 294
2	Plancha de OSB estructural de 15mm	pl	0,336	\$ 22.348	\$ 7.509
3	Espuma expansiva de poliuretano 500ml (sikaboom s)	c/u	0,96	\$ 4.447	\$ 4.269
4	Membrana hidrofuga matwrap 40m2 (1,5 x 26,7m)	rollo	0,025	\$ 22.113	\$ 553
5	Cinta traslape aislacel rollo 48mm x 40m	rollo	0,52	\$ 2.082	\$ 1.083
6	Grapas corchetes 10mm (3/8") stanley 1.000 unid	caja	0,025	\$ 7.614	\$ 190
7	Placa de fibrocemento lisa 4mm (120x240cm)	pl	0,347	\$ 6.139	\$ 2.130
5	Tornillo fibro siding punta espada 10x1 3/4" ruspert 100 unid	caja	0,35	\$ 4.042	\$ 1.415
6	Esmalte al agua semibrillo tricolor 1gl	galon	0,044	\$ 22.672	\$ 998
				Total	\$ 18.440
B MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1					\$ -
2					\$ -
				Total	\$ -
C MANO DE OBRA					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Carpintero + Ayudante	H/D	0,54	\$ 41.667	\$ 22.321
2	Desgaste de Herramientas	%	5,00	\$ 22.321	\$ 1.116
				Sub Total	\$ 23.438
				42% leyes Sociales	\$ 9.375
				Total	\$ 32.813
				Total costo directo	\$ 51.252

Tabla 12. análisis de precio unitario Piso ventilado

Fuente: elaboración propia, generado mediante programa Excel.

1.6 MURO EXTERIOR SEGUNDO NIVEL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
APU:	MURO EXTERIOR SEGUNDO PISO			Unidad	m2	
Proyecto:				Cantidad:	1	
A MATERIALES						
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	Espuma expansiva de poliuretano 500ml (sikaboom s)	c/u	0,96	\$ 4.447	\$ 4.269	
2	Membrana hidrofuga matwrap 40m2 (1,5 x 26,7m)	rollo	0,025	\$ 22.113	\$ 553	
3	Cinta traslape aislacel rollo 48mm x 40m	rollo	0,52	\$ 2.082	\$ 1.083	
4	Grapas corchetes 10mm (3/8") stanley 1.000 unid	caja	0,025	\$ 7.614	\$ 190	
5	Liston de madera 1x2" 3,20mts	pieza	1	\$ 1.109	\$ 1.109	
6	Clavo corriente 3" acero 1kg inchalam	bolsa	0,075	\$ 1.449	\$ 109	
7	Plancha OSB 9mm	pl	0,336	\$ 9.711	\$ 3.263	
8	Tornillo fibro siding punta espada 10x1 3/4" ruspert 100 unid	caja	0,3	\$ 4.042	\$ 1.213	
9	Siding fibrocemento nativo volcanboard (reemplazo)	c/u	0,28	\$ 3.208	\$ 898	
10	Pintura impermeabilizante fibrocemento	galon	0,05	\$ 28.342	\$ 1.417	
				Total	\$ 14.103	
B MAQUINAS Y EQUIPOS						
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1					\$ -	
2					\$ -	
				Total	\$ -	
C MANO DE OBRA						
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	Carpintero + Ayudante	H/D	0,28	\$ 41.667	\$ 11.667	
2	Desgaste de Herramientas	%	5,00	\$ 11.667	\$ 583	
				Sub Total	\$ 12.250	
				42% leyes Sociales	\$ 4.900	
				Total	\$ 17.150	
				Total costo directo	\$ 31.254	

Tabla 13. análisis de precio unitario Muro segundo nivel

Fuente: elaboración propia, generado mediante programa Excel.

1.7 PISO VENTILADO

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
APU:	PISO VENTILADO			Unidad	m2
Proyecto:				Cantidad:	1
A MATERIALES					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Poliestireno expandido 50mm espesor, 20kg/m3 (12planchas- 6m2)	Paquete	0,014	\$ 20.970	\$ 294
2	Plancha de OSB estructural de 15mm	pl	0,336	\$ 22.348	\$ 7.509
3	Espuma expansiva de poliuretano 500ml (sikaboom s)	c/u	0,96	\$ 4.447	\$ 4.269
4	Membrana hidrofuga matwrap 40m2 (1,5 x 26,7m)	rollo	0,025	\$ 22.113	\$ 553
5	Cinta traslape aislacel rollo 48mm x 40m	rollo	0,52	\$ 2.082	\$ 1.083
6	Grapas corchetes 10mm (3/8") stanley 1.000 unid	caja	0,025	\$ 7.614	\$ 190
7	Placa de fibrocemento lisa 4mm (120x240cm)	pl	0,347	\$ 6.139	\$ 2.130
5	Tornillo fibro siding punta espada 10x1 3/4" ruspert 100 unid	caja	0,35	\$ 4.042	\$ 1.415
6	Esmalte al agua semibrillo tricolor 1gl	galon	0,044	\$ 22.672	\$ 998
				Total	\$ 18.440
B MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1					\$ -
2					\$ -
				Total	\$ -
C MANO DE OBRA					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Carpintero + Ayudante	H/D	0,54	\$ 41.667	\$ 22.321
2	Desgaste de Herramientas	%	5,00	\$ 22.321	\$ 1.116
				Sub Total	\$ 23.438
				42% leyes Sociales	\$ 9.375
				Total	\$ 32.813
				Total costo directo	\$ 51.252

Tabla 14. análisis de precio unitario Piso ventilado

Fuente: elaboración propia, generado mediante programa Excel.

1.8 EXTRACTOR DE AIRE BAÑOS

	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
APU:	EXTRACTOR DE AIRE BAÑO			Unidad	UNID	
Proyecto:				Cantidad:	1	
	A MATERIALES					
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	Extractor de aire 120mm 20w	c/u	1	\$ 21.051	\$ 21.051
	2	Tubo conduit 16mm x 3m	c/u	1	\$ 1.045	\$ 1.045
	3	Alambre NYA 1,5mm 100m BL	rollo	0,1	\$ 19.269	\$ 1.927
	4					\$ -
	5					\$ -
	6					
					Total	\$ 24.023
	B MAQUINAS Y EQUIPOS					
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1					\$ -
	2					\$ -
					Total	\$ -
	C MANO DE OBRA					
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	Electricista	H/D	0,50	\$ 25.000	\$ 12.500
	2	Desgaste de Herramientas	%	5,00	\$ 12.500	\$ 625
					Sub Total	\$ 13.125
				42% leyes Sociales		\$ 5.250
					Total	\$ 18.375
				Total costo directo		\$ 42.398

Tabla 15. análisis de precio unitario Extractor de aire baño

Fuente: elaboración propia, generado mediante programa Excel.

1.9 EXTRACTOR DE AIRE DORMITORIO N°1

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
APU:	EXTRACTOR DE AIRE DORMITORIO N°1			Unidad	UNID
Proyecto:				Cantidad:	1
A MATERIALES					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Extractor de aire 120mm 20w	c/u	1	\$ 21.051	\$ 21.051
2	Celosia de ventilacion 20x20	c/u	1	\$ 1.774	\$ 1.774
3	Tubo conduit 16mm x 3m	c/u	1	\$ 1.045	\$ 1.045
4	Alambre NYA 1,5mm 100m BL	rollo	0,15	\$ 19.269	\$ 2.890
5					
6					
				Total	\$ 26.760
B MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1					\$ -
2					\$ -
				Total	\$ -
C MANO DE OBRA					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Electricista	H/D	0,56	\$ 25.000	\$ 14.000
2	Desgaste de Herramientas	%	5,00	\$ 14.000	\$ 700
				Sub Total	\$ 14.700
				42% leyes Sociales	\$ 5.880
				Total	\$ 20.580
				Total costo directo	\$ 47.340

Tabla 16. análisis de precio unitario Extractor de aire dormitorio n°1

Fuente: elaboración propia, generado mediante programa Excel.

	LOGO							
GASTOS GENERALES VIVIENDAS								
OBRA:								
COMUNA								
							FECHA:	15-12-2024
							Valor UF	\$ 38.377,00
							Valor U\$	\$ 788,00
							Plazo de Construcción meses	1
							Valor Costo Directo	\$ 3.671.040,31
ITEM	DESGLOSE	UNI	TIEMPO	CANT.	P.U.	TOTAL	TOTAL	
					\$	\$	UF	
1.	MANO DE OBRA SUPERVISIÓN Y ADMINISTRACIÓN							
1.1	tecnico en blower door	Mes	0,03	1	\$ 700.000	\$ 21.000	UF 0,55	
1.6	supervisor	Mes	1,00	1	\$ 700.000	\$ 700.000	UF 18,24	
	Leyes Sociales	%	1,00	42	\$ 721.000	\$ 302.820	UF 7,89	
2	MANO DE OBRA DE APOYO							
	Leyes Sociales	%		30	\$ -	\$ -	UF 0,00	
3	HERRAMIENTAS							
3.1	alquiler blower door	Mes	0,03	1	\$ 250.000	\$ 7.500	UF 0,20	
4	ELEMENTOS DE SEGURIDAD							
4.2	Antiparras	Mes	1,00	5	\$ 1.400	\$ 7.000	UF 0,18	
4.3	Guantes	Mes	1,00	5	\$ 1.100	\$ 5.500	UF 0,14	
4.4	Zapatos	Mes	1,00	5	\$ 30.000	\$ 150.000	UF 3,91	
4.9	Tapón de Oído	Mes	1,00	5	\$ 490	\$ 2.450	UF 0,06	
4.11	Bloqueador Solar	Mes	1,00	1	\$ 5.900	\$ 5.900	UF 0,15	
4.12	Cintas de Peligro	Mes	1,00	1	\$ 10.500	\$ 10.500	UF 0,27	
4.13	Extintores	Mes	1,00	1	\$ 55.000	\$ 55.000	UF 1,43	
6	TRANSPORTE INTERNO						UF 0,00	
6.1	Vehiculos de Obra (Camioneta)	Mes	1,00	1		\$ -	UF 0,00	
7	CAJA CHICA Y VARIOS							
7.1	Gastos varios de oficina de obra	Mes	1,00	1	\$ 50.000	\$ 50.000	UF 1,30	
7.2	Aseo diario de Obra	Mes	Incluido en PPO					
7.3	Limpieza y Aseo Final	Gl	Incluido en PPO					
8	COMUNICACIÓN							
8.1	Equipo de Radio	Mes	0,00	0	\$ -	\$ -	UF 0,00	
8.2	Telefono / Internet	Uni	1,00	1	\$ 25.000	\$ 25.000	UF 0,65	
8.3	Otros Equipos	Gl						
9	INSTALACIÓN PROVISORIA Y CONSUMOS							
9.1	Agua Potable	Uni	1,00	1	\$ 15.000	\$ 15.000	UF 0,39	
9.2	Electricidad	Uni	1,00	1	\$ 50.000	\$ 50.000	UF 1,30	
10	INSTALACIÓN DE FAENAS							
TOTAL GASTOS GENERALES						\$ 1.407.670	UF 36,68	
							Total GC	38

Fuente: elaboración propia, generado mediante programa Excel.

LEYES SOCIALES

Item no Imponible (no						Aporte del Trabajador			
cargo	Sueldo Base	Gratificación	Sueldo Imponible	Colación	Movilización	Total Sueldo Bruto	A.F.P.	Salud	Seguro de Cesantía aporte del trabajador
		25%					13,75%	7%	0,60%
carpintero	\$ 750.000	\$ 187.500	\$ 937.500	\$ 0	\$ 0	\$ 937.500	\$ 128.906	\$ 65.625	\$ 5.625
albañil	\$ 750.000	\$ 187.500	\$ 937.500	\$ 0	\$ 0	\$ 937.500	\$ 128.906	\$ 65.625	\$ 5.625
electricista	\$ 750.000	\$ 187.500	\$ 937.500	\$ 0	\$ 0	\$ 937.500	\$ 128.906	\$ 65.625	\$ 5.625
jornal	\$ 500.000	\$ 125.000	\$ 625.000	\$ 0	\$ 0	\$ 625.000	\$ 85.938	\$ 43.750	\$ 3.750
Aporte del Empleador									
Seguro de Cesantía aporte del empleador.	Seguro de Inaliidez y sobrevivencia SIS	Mutualidad (base adicional + tope) 0,93%+2,55 % = 3,48%	VVPP o "finiquito" 1,25días cada 30 días. 1,25/30 = 5,83%			Total Costo Empresa = Sueldo Bruto + Aporte del Empleador	Sueldo Liquido= Sueldo Bruto - Los aportes del Trabajador		Factor LLSS sobre Sueldo Líquido= (Total Costo Empresa/suel do)-1x100
2,40%	1,53%	3,48%	4,16%						
\$ 22.500	\$ 14.344	\$ 32.625	\$ 39.000			\$ 1.045.969	\$ 737.344		41,86%
\$ 22.500	\$ 14.344	\$ 32.625	\$ 39.000			\$ 1.045.969	\$ 737.344		41,86%
\$ 22.500	\$ 14.344	\$ 32.625	\$ 39.000			\$ 1.045.969	\$ 737.344		41,86%
\$ 15.000	\$ 9.563	\$ 21.750	\$ 26.000			\$ 697.313	\$ 491.563		41,86%

Tabla 18. análisis de leyes sociales

Fuente: elaboración propia, generado mediante programa Excel.

PRESUPUESTO

PROPUESTA:	Mejoramiento a la Hermeticidad al aire						
UBICACIÓN:	Adrian Perez #2119, pob Eduardo Frei, Comuna de Coronel						
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR		TOTAL \$	TOTAL UF
				UNITARIO			
				UF	\$		
1	ENVOLVENTE TERMICA EXTERIOR SEGUNDO PISO						
1.1	Solucion 3A (encuentro piso-sobrecimiento-muro-losa)	m2	35,83	0,82	\$ 31.254	\$ 1.119.816	29,27
2	ENCUENTRO MURO-CUBIERTA						
2.1	Solucion 3B (encuentro muro-cielo-cubierta)	m2	10,53	0,79	\$ 30.355	\$ 319.642	8,35
3	MURO COCINA						
3.1	Muro oeste (solucion 3A)	m2	2,52	2,51	\$ 95.852	\$ 241.547	6,31
4	PISO VENTILADO						
4.1	Piso ventilado dormitorio n°4	m2	5,6	1,34	\$ 51.252	\$ 287.014	7,50
5	PUERTAS						
5.1	Puerta baño principal	UNI	1	4,88	\$ 186.862	\$ 186.862	4,88
5.2	Puerta sector cocina	UNI	1	4,79	\$ 183.366	\$ 183.366	4,79
5.3	Puertas dormitorios	UNI	4	0,61	\$ 23.223	\$ 92.890	2,43
6	VENTANAS						
6.1	Ventanas termopaneles (adaptacion de doble vidriado)	m2	13,47	3,40	\$ 130.000	\$ 1.751.100	45,77
7	INSTALACIONES						
7.1	Instalacion de extractor de aire baños	UNI	2	1,11	\$ 42.398	\$ 84.796	2,22
7.2	Instalacion de extractor de aire dormitorio n°1	UNI	1	1,24	\$ 47.340	\$ 47.340	1,24
7.3	Conexión de agua potable	GL	1	0,39	\$ 15.000	\$ 15.000	0,39
8	ASEO GENERAL Y ENTREGA	GL	1	0,65	\$ 25.000	\$ 25.000	0,65
		SUBTOTAL				\$ 4.354.372	113,81
		GASTOS GENERALES			38%	\$ 1.654.661	43,25
		UTILIDADES			12%	\$ 522.525	13,66
		SUBTOTAL NETO				\$ 6.531.558	170,72
		IVA			19%	\$ 1.240.996	32,44
		VALOR TOTAL DEL PROYECTO				\$ 7.772.554	203,15

Tabla 19. Presupuesto de las soluciones constructivas

Fuente: elaboración propia, generado mediante programa Excel.

CONCLUSIONES DEL CAPITULO N°3

El análisis económico desarrollado en este capítulo permite dimensionar con precisión la inversión necesaria para implementar las soluciones constructivas propuestas. A través del desglose detallado de materiales, mano de obra y gastos indirectos, se evidenció la relevancia de cada partida en el presupuesto global. Este enfoque no solo facilita la identificación de las intervenciones más costosas, sino que también permite priorizar aquellas con mayor impacto en la mejora de la hermeticidad y eficiencia térmica.

De las soluciones propuestas, las intervenciones prioritarias para lograr una mejora considerable en la hermeticidad y eficiencia térmica son las siguientes:

1. **Implementación de extractores de aire:** Esta medida es clave para controlar la ventilación, reducir las infiltraciones no deseadas y mitigar problemas de humedad y condensación.
2. **Reparación de los muros críticos:** Especialmente en el muro oeste del sector cocina y los muros exteriores del segundo nivel, que presentan mayores pérdidas térmicas y afectan directamente el rendimiento energético de la vivienda.
3. **Instalación de pisos ventilados:** Esta solución contribuye significativamente a minimizar las pérdidas de calor y mejorar la eficiencia energética general de la vivienda.

En conclusión, el estudio económico reafirma la viabilidad financiera de las soluciones constructivas propuestas, destacando su importancia no solo en la mejora del confort térmico y la hermeticidad, sino también en la optimización de recursos económicos a lo largo de la vida útil de la vivienda. Priorizar las intervenciones clave garantizará un impacto inmediato y sostenible en la eficiencia energética de la edificación.

CONCLUSIONES DE OBJETIVOS

Diagnóstico inicial y cuantificación de infiltraciones.

El diagnóstico realizado permitió evaluar con precisión el nivel de infiltraciones de aire en la vivienda mediante pruebas de presurización y despresurización utilizando el equipo *Blower Door*. Los resultados evidenciaron tasas de infiltración de aire muy superiores a las exigencias normativas establecidas en el Decreto N.º 47 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, que entrará en vigor en noviembre de 2025. Este alto nivel de infiltraciones impacta directamente en la eficiencia energética de la vivienda, incrementando el consumo de leña para calefacción durante los meses de invierno y elevando significativamente los costos operativos. Además, las bajas temperaturas interiores registradas en zonas críticas de la vivienda confirman que las infiltraciones dificultan el mantenimiento de un ambiente confortable, incluso cuando los sistemas de calefacción están en funcionamiento.

Identificación de singularidades en la envolvente

El análisis de la envolvente térmica permitió identificar los principales puntos críticos de infiltración de aire en la vivienda. Entre las singularidades detectadas se encuentran marcos de ventanas y puertas con sellos deficientes, conexiones estructurales entre muros y cielos que carecen de sellado hermético, perforaciones sin reparar en la losa y el cielo raso, y encuentros mal terminados entre materiales constructivos como ladrillos, madera y fibrocemento. Estas zonas vulnerables son responsables.

Propuesta de soluciones constructivas.

Se plantearon soluciones específicas basadas en el *Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones*. Estos incluyen la instalación de sellos en puertas y ventanas, la mejora del aislamiento térmico en pisos y techos, y la reparación de puntos críticos detectados mediante pruebas termográficas. Además.

CONCLUSIONES GENERALES.

El objetivo general de este proyecto fue evaluar el nivel de infiltraciones de aire en una vivienda unifamiliar con el fin de proponer soluciones constructivas orientadas a mejorar su eficiencia térmica y energética, contribuyendo al cumplimiento de las normativas vigentes y al bienestar de sus ocupantes. A lo largo del desarrollo del estudio, se aplicaron metodologías avanzadas de diagnóstico que incluyeron pruebas de presurización y despresurización mediante el equipo *Blower Door*, análisis termográfico con cámaras especializadas y mediciones de parámetros ambientales, como temperatura, humedad y concentración de CO₂ en el interior de la vivienda.

Los resultados del diagnóstico evidenciaron que la vivienda presenta infiltraciones de aire significativamente superiores a los valores establecidos en el Decreto N.º 47 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, el cual introduce exigencias de hermeticidad para edificaciones a partir de 2025. Estas infiltraciones no solo dificultan el mantenimiento de un ambiente interior confortable, sino que también aumenta de manera considerable el consumo energético debido a la necesidad de utilizar calefacción de forma intensiva durante los meses más fríos. Además, las deficiencias en la envolvente térmica, especialmente en marcos de ventanas, puertas y conexiones entre elementos constructivos, generan condiciones poco saludables para los ocupantes, con riesgos de condensación, moho y enfermedades respiratorias.

Las propuestas de soluciones constructivas se diseñan con base en el *Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones*, considerando intervenciones específicas en los puntos críticos identificados. Estas soluciones incluyen la instalación de sellos en puertas y ventanas, la mejora del aislamiento térmico en muros, techos y pisos, y la reparación de perforaciones y uniones deficientes en la envolvente. Además, se plantearon sistemas de ventilación controlados para garantizar una adecuada calidad del aire interior sin comprometer la eficiencia energética.

En términos de impacto, estas medidas no solo abordan las deficiencias técnicas detectadas, sino que también promueven el uso eficiente de recursos energéticos, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y económica de la vivienda. El proyecto, además de cumplir con el

objetivo de evaluar y proponer mejoras en la hermeticidad de la vivienda, proporciona un modelo replicable para otras edificaciones con características similares en la región, especialmente en el contexto del cumplimiento de la nueva normativa.

En síntesis, este trabajo no solo logró un diagnóstico exhaustivo y preciso de la situación actual de la vivienda, sino que también propuso soluciones integrales que alinean la eficiencia térmica, el confort interior y la sostenibilidad, marcando un camino hacia edificaciones más eficientes y saludables en el contexto chileno.

BIBLIOGRAFIA

Webgrafía:

1. https://construccionsustentable.uc.cl/images/Documentos/Manual_de_hermeticidad_al_aire_de_edificaciones.pdf
2. [https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Manual WEB.PDF](https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Manual_WEB.PDF) (manual acondicionamiento térmico - CCHC)
3. <https://aisla.pe/servicios/fachadas-y-envolvente-termico/>
4. <https://weatherspark.com/d/24146/9/8/Average-Weather-on-September-8-in-Coronel-Chile>