



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ESTUDIO DE VENTILACION EN VIVIENDAS

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

SEBASTIAN CRONEMBOLD LANDIVAR

PROFESOR GUIA:

MIGUEL HECTOR BUSTAMANTE SEPULVEDA

MIEMBROS DE LA COMISION:

CARLOS NOLASCO AGUILERA GUTIERREZ

EDUARDO GALATZAN ALBALA

SANTIAGO DE CHILE

OCTUBRE 2009

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: SEBASTIAN CRONEMBOLD L.
FECHA: 10/09/09
PROF. GUIA: Sr. MIGUEL BUSTAMANTE S.

“ESTUDIO DE VENTILACION EN VIVIENDAS”

El objetivo general del presente trabajo de título consistió en estudiar métodos de ventilación para lograr condiciones adecuadas de habitabilidad en viviendas y edificios. La ventilación en una vivienda es fundamental para lograr confort térmico, durabilidad de los materiales y ambientes saludables.

Se estudiaron metodologías de ventilación natural, forzada e híbrida, como también técnicas y sistemas de ventilación para implementar en viviendas individuales y edificios de departamentos. Se describen también los factores que influyen en el diseño de ventilación tales como ubicación geográfica, orientación del edificio, uso y dimensión de los recintos, y número de puertas, ventanas y ocupantes.

Cabe hacer presente que el concepto de ventilación, a pesar de la importancia que presenta, no se aborda en la legislación chilena y no hay normas que rijan este tema. Por ello se analizó la normativa de España y de Estados Unidos para contar con antecedentes concretos.

Como parte del trabajo se determinaron caudales de infiltración y de extracción en distintos recintos de un departamento, caudales que fueron analizados y comparados con las exigencias estipuladas en las normas extranjeras.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede afirmar que en el diseño de todo tipo de edificios es fundamental incluir la variable ventilación. Para su aplicación se propone el estudio de normas técnicas y la inclusión de diversos sistemas de ventilación.

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1: INTRODUCCION.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.1.1. La necesidad de ventilar.....	2
1.2. Objetivos y metodología.....	4
CAPITULO 2: CONFORT HABITACIONAL.....	5
2.1. Condiciones de confort.....	5
2.2. Psicrometría.....	9
2.3. Temperatura efectiva.....	12
2.4. Condensación.....	14
2.5. Pérdidas de calor.....	16
2.6. Contaminantes del aire.....	17
2.7. Climatología de Santiago.....	18
CAPITULO 3: ANALISIS TEORICO.....	20
3.1. Tipos de ventilación.....	20
3.1.1. Ventilación natural.....	21
3.1.2. Ventilación forzada.....	24
3.1.3. Ventilación híbrida.....	24
3.2. Sistemas de ventilación.....	26
3.2.1. Técnicas de ventilación.....	32
3.2.2. Sistemas de ventilación.....	33
3.3. Análisis del edificio.....	36
3.3.1. Características del edificio.....	36

3.3.2.	Situación del equipo y servicios.....	37
3.4.	Condiciones de proyecto.....	38
3.4.1.	Condiciones exteriores de proyecto.....	38
3.4.2.	Condiciones interiores de proyecto para confort.....	39
3.5.	Renovaciones de aire.....	40
3.6.	Caudal de renovación.....	42
CAPITULO 4: LEGISLACIONES Y NORMAS TECNICAS.....		44
4.1.	Legislación nacional.....	44
4.1.1.	Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.....	44
4.1.2.	Comentario.....	46
4.2.	Legislación extranjera.....	47
4.3.	Normas chilenas.....	49
4.4.	Normas extranjeras.....	54
4.4.1.	España.....	54
4.4.2.	Estados Unidos.....	69
CAPITULO 5: MEDICIONES DE CAUDALES.....		78
5.1.	Descripción del equipo.....	78
5.2.	Condiciones ambientales.....	79
5.3.	Características del edificio.....	79
5.4.	Cálculos y mediciones	84
5.4.1.	Infiltraciones en la sala.....	84
5.4.2.	Infiltraciones en el dormitorio.....	87
5.4.3.	Extracción en el baño.....	89
5.5.	Cálculos según normas extranjeras.....	90
5.5.1.	España.....	90

5.5.2. Estados Unidos.....	91
5.6. Resumen de resultados.....	93
CAPITULO 6: ANALISIS DE RESULTADOS.....	94
CAPITULO 7: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.....	98
BIBLIOGRAFIA.....	102
ANEXO I: Ejemplo de dimensionamiento de aberturas de ventilación según norma española.....	105
ANEXO II: Otros ejemplos de dimensionamiento de aberturas de ventilación.....	109

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Condiciones exteriores de proyecto	38
Tabla 2	Condiciones de proyecto recomendadas para ambiente interior	39
Tabla 3	Renovaciones de aire por hora para diferentes lugares	40
Tabla 4	Renovaciones de aire consideradas en recintos de viviendas	41
Tabla 5	Caudales de aire exterior	43
Tabla 6	Condiciones interiores de diseño	48
Tabla 7	Cantidad de aire renovado por infiltración natural dentro de un espacio cerrado	51
Tabla 8	Infiltración por rendijas de ventanas y puertas en m ³ /h por metro lineal de rendija	52
Tabla 9	Renovaciones de aire por infiltración natural a través de puertas y ventanas	53
Tabla 10	Caudales de ventilación mínimos exigidos	57
Tabla 11	Área efectiva de las aberturas de ventilación de un local en cm ²	65
Tabla 12	Secciones del conducto de extracción en cm ²	67
Tabla 13	Clases de tiro	67
Tabla 14	Distancia de separación mínima para toma de aire	71
Tabla 15	Tasas de ventilación mínimas en zona de respiración	73
Tabla 16	Efectividad de distribución de aire en la zona	74
Tabla 17	Eficiencia de ventilación del sistema	76
Tabla 18	Tasas de extracción mínimas	76
Tabla 19	Caudal de infiltración por ventana V1	86
Tabla 20	Caudal de infiltración por ventana V2	86
Tabla 21	Caudal de infiltración por ventana V3	88
Tabla 22	Caudal de infiltración por puerta P1	88
Tabla 23	Área de aberturas de ventilación natural en sala y dormitorio	91
Tabla 24	Flujo de aire exterior mínimo para los locales	92
Tabla 25	Caudal de extracción en el baño	92
Tabla 26	Resumen de resultados obtenidos según norma chilena	93
Tabla 27	Resumen de resultados obtenidos según normas extranjeras	93
Tabla 28	Renovaciones de aire por hora recomendadas	100

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Resumen de las necesidades de ventilación	3
Figura 2	Esquema del Diagrama Psicrométrico	10
Figura 3	Diagrama Psicrométrico	11
Figura 4	Diagrama de temperaturas efectivas	13
Figura 5	Esquema de ventilación general de una vivienda	26
Figura 6	Tipos de aberturas de admisión	27
Figura 7	Tipos de aberturas de extracción	29
Figura 8	Ventiladores de extracción	31
Figura 9	Técnicas de ventilación	32
Figura 10	Ejemplos de ventilación en el interior de las viviendas	59
Figura 11	Ejemplo de conducto de extracción para ventilación híbrida con conducto colectivo	62
Figura 12	Ejemplos de altura libre de la boca de expulsión sobre la cubierta	63
Figura 13	Ejemplos de disposición de aspiradores mecánicos	63
Figura 14	Ejemplos de conductos para la ventilación específica adicional de las cocinas	64
Figura 15	Anemómetro térmico	79
Figura 16	Planta de la sala	80
Figura 17	Esquema de ventanas de la sala y numeración de rendijas	81
Figura 18	Planta del dormitorio principal y baño	82
Figura 19	Esquema de ventana y puerta del dormitorio y numeración de rendijas	83
Figura 20	Esquema de rejilla de extracción del baño	83
Figura 21	Comparación de los resultados	95

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1. Introducción

En este trabajo de título se estudiará y destacará la importancia de la ventilación en viviendas y se ofrecerán soluciones constructivas para evitar los problemas de humedades, confort térmico y salubridad que se generan cuando no se considera la ventilación en el diseño, para lograr así condiciones de habitabilidad.

Se entiende por ventilación al cambio del aire que se produce en el interior de un recinto, el cual puede ser natural o forzado.

Cabe hacer presente, que el diseño de ventilación en una vivienda es uno de los factores fundamentales para lograr condiciones aceptables de habitabilidad. Sin embargo, puede observarse que este concepto no se aborda en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones como parte de la ingeniería ambiental, siendo que su aplicación adecuada es fundamental para conseguir condiciones sanitarias y de confort, evitando además los riesgos de condensación interior.

Es necesario y saludable contar con algún sistema de renovación de aire, ya sea por métodos naturales o forzados, que permita limpiar o sustituir el aire viciado, contaminado, denso o mal oliente que tenga cada ambiente de la casa.

Se puede lograr una ventilación natural al abrir una ventana o una puerta, pero esto no siempre es fácil de realizar por ejemplo en invierno, entonces las viviendas requieren de un diseño especial de ventilación, natural o forzada, propio de la zona y del proyecto del edificio.

En el presente trabajo de titulación se abordará esta materia, se darán metodologías de solución y se incluirá un anteproyecto de norma técnica sobre ventilación en viviendas para la Región Metropolitana.

1.1.1. La necesidad de ventilar

La ventilación para la ciudad de Santiago precisa ser dividida, a grandes rasgos, de acuerdo a su finalidad. Por un lado, se requiere de ventilación en verano para alcanzar condiciones de confort dentro de la vivienda. Por otro lado, en invierno se necesita ventilación para obtener una calidad del aire interior aceptable.

En una vivienda puede haber varios tipos de contaminantes, los cuales requieren de tipos de ventilación precisas. Por una parte se encuentran los contaminantes visibles o perceptibles por el hombre, como ser los que provienen de la cocción de alimentos, la ducha, la combustión de equipos de calefacción o el cigarrillo, que pueden ser removidos con una ventilación puntual con la acción del usuario. Pero por otra parte están los contaminantes invisibles o imperceptibles, que son los ácaros, aerosoles, radiación o CO, que precisan de ventilación continua sin la actuación directa del usuario de la vivienda.

Desde el punto de vista de los ocupantes de la vivienda, se necesita ventilar por motivos de salud y confort. Por salubridad se requiere controlar las concentraciones de contaminantes peligrosos para la salud producidos por el metabolismo de las personas (respiración, transpiración, etc.), por la actividad de las personas (fumar, uso de productos de limpieza, cocción, aseo, calefacción, etc.) y por los componentes de la construcción (pinturas, pegamentos, revestimientos, etc.). Por motivos de confort se requiere controlar concentraciones de contaminantes molestos para el bienestar como ser los olores que se pueden producir en los distintos lugares de la casa y la humedad relativa que se produce en ciertos espacios.

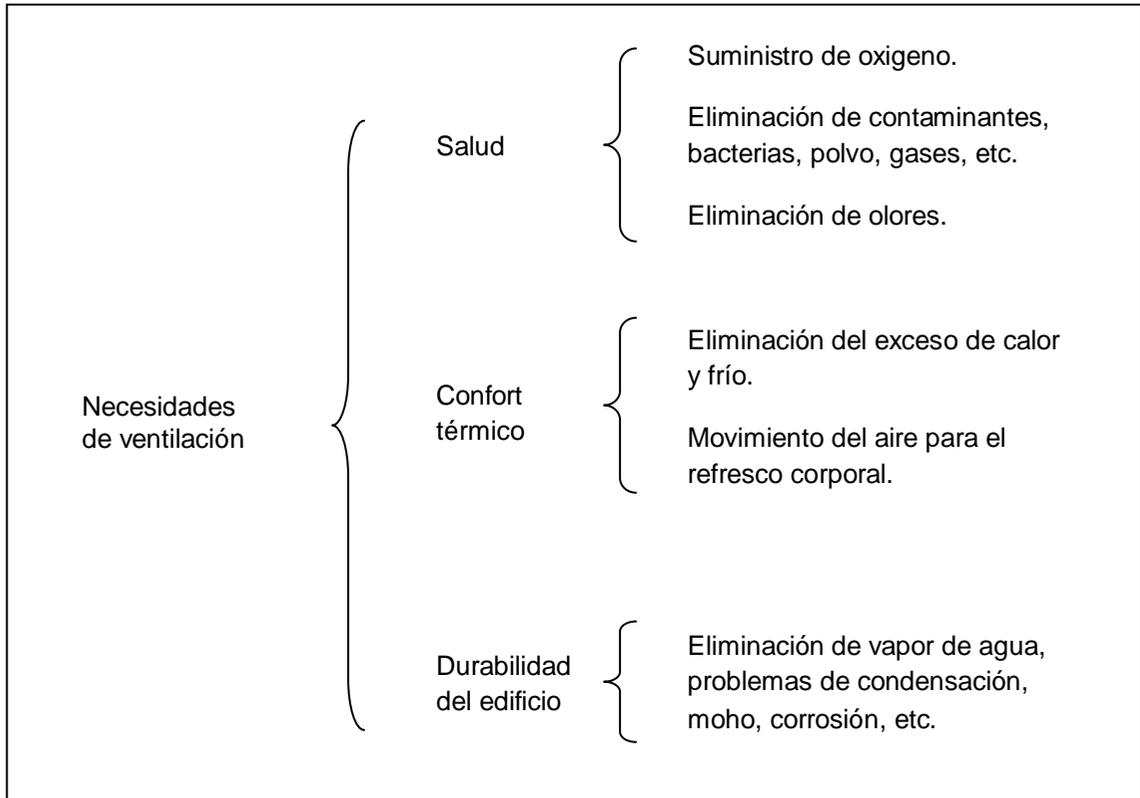
Desde el punto de vista del recinto, se necesita ventilación para preservar la construcción en buen estado, controlando la concentración de vapor de agua que es la fuente de condensaciones y moho que se producen en los puntos fríos de la vivienda.

Los lugares de la casa donde se producen las más altas concentraciones de vapor de agua son la cocina y los baños.

En las construcciones de los últimos años se busca lograr viviendas que sean confortables térmica y acústicamente y que además, a partir de su funcionamiento, se produzca el mayor ahorro de energía posible. Esto conlleva a una estanqueidad reforzada de las viviendas que hace inconveniente la ventilación natural por infiltraciones, como sucedía en las construcciones antiguas, por lo que es necesario incluir un diseño de ventilación controlada incorporando nuevos criterios al diseño de los edificios o mediante el uso de sistemas mecánicos de ventilación.

En resumen, las necesidades de ventilación se presentan en el diagrama de la siguiente figura:

Figura 1: Resumen de las necesidades de ventilación



1.2. Objetivos y Metodología

El objetivo general de este trabajo de título es contribuir con la habitabilidad de las viviendas, estudiando la ventilación como factor. Dentro de los objetivos específicos se tiene el estudio de los distintos métodos de ventilación que se pueden implementar en una vivienda, sean estos naturales o forzados. También está contemplado desarrollar un anteproyecto de norma técnica sobre ventilación en viviendas.

Para poder cumplir con estos objetivos se seguirá con la siguiente metodología:

1. Analizar la importancia de la ventilación como concepto de habitabilidad en viviendas.
2. Recopilar información acerca de los distintos tipos de ventilación, tanto natural como forzada.
3. Analizar la legislación y normativa nacional e internacional relacionadas con el tema de ventilación.
4. Caracterizar los espacios o ambientes de una vivienda.
5. Realizar mediciones en un departamento tipo.
6. Proponer métodos de ventilación para viviendas.
7. Comentarios y conclusiones.

CAPITULO 2

CONFORT HABITACIONAL

En este capítulo se realizará una breve descripción de cada uno de los parámetros involucrados en la determinación de la sensación de confort de las personas y se explicará la terminología necesaria para comprender los siguientes capítulos.

2.1. Condiciones de confort

Se llama confort al estado de comodidad y bienestar de las personas frente a una situación en particular. En cuanto al ambiente habitacional, se logra el confort cuando la persona no está expuesta a ningún tipo de malestar térmico o a ruidos, olores y contaminación, entre otros.

En esta sección se abordará la parte térmica, específicamente se describirá el confort higrotérmico. En este sentido, se dice que hay confort higrotérmico cuando no tienen que intervenir los mecanismos termorreguladores del cuerpo humano (metabolismo, evaporación, etc.) para una actividad sedentaria y con un ligero arropamiento. Por otra parte, se puede definir el confort térmico como un estado de sensación de bienestar físico de las personas, con respecto a las condiciones higrotérmicas del medio ambiente que lo rodea.

El acondicionamiento del aire de un local permite lograr condiciones ambientales satisfactorias para las personas que lo ocupan, consiguiendo así su bienestar. Este bienestar de las personas requiere que el aire del local se mantenga en condiciones adecuadas en cuanto a su calidad y los requerimientos higrotérmicos. Es importante destacar que la mala renovación de aire en un recinto puede producir no solo incomodidad sino hasta la muerte.

Existen varios factores que afectan a las condiciones de confort, los cuales serán divididos en dos grupos:

- a) Factor humano
- b) Factores que dependen del medio ambiente

a) Factor humano

El organismo humano genera continuamente una cierta cantidad de calor para mantener la temperatura del cuerpo (37°C) y además intercambia calor con el ambiente que lo rodea.

La generación de calor depende tanto de la actividad física y mental que desarrolle una persona, como también del metabolismo de ella. Cada persona tiene su propio metabolismo y necesita sus propios ritmos para evacuar calor. Además hay factores que también se distinguen en cada persona en particular, como ser la edad, el sexo, dimensión física y vestimenta.

El intercambio de calor se produce por:

- Convección: Es la transmisión de calor de la piel al fluido ambiente o a la inversa. El flujo de calor es proporcional a un coeficiente de convección y a la diferencia de temperatura entre el aire de la habitación y la piel; la velocidad del aire (viento) acelera la convección, que la convierte en convección forzada.
- Conducción: Es la transmisión de calor entre la superficie del cuerpo y los elementos de contacto. Este flujo de calor depende del coeficiente de conductibilidad térmica de estos elementos, entre ellos muebles, pisos y muros.
- Radiación: Es la transmisión de calor a través del medio ambiente, principalmente por radiación en el infrarrojo. Este flujo de calor es proporcional a la constante universal de radiación, al poder de absorción de la piel (que es muy elevado) y a la diferencia de temperatura entre la piel y las paredes radiantes del lugar (muros, vidrios, puertas, ventanas).
- Evaporación: Es la transmisión de calor unidireccional del organismo hacia el aire ambiente por la evaporación cutánea y respiratoria. Esta pérdida de calor del organismo depende de la cantidad de sudor (agua) evaporada y la

evaporación depende de la velocidad del aire ambiente, de su temperatura y de la presión parcial de vapor de agua.

Mientras las tres primeras formas de transmisión se refieren al calor sensible, la evaporación se refiere al calor latente.

El balance térmico que contempla aportes y pérdidas de calor por convección, conducción, radiación y evaporación debe permanecer constante para que la temperatura interna del hombre permanezca constante. Se logrará confort térmico cuando la eliminación del calor sensible y latente del cuerpo humano se realice con el mínimo esfuerzo.

b) Factores que dependen del medio ambiente

Se describen algunas de las propiedades físicas del aire húmedo más importantes:

- **Temperatura del ambiente.** La temperatura del aire al interior de un local es relevante para que las personas se sientan confortables en cada época del año. Es el dato que siempre se maneja pero no es el fundamental a la hora de alcanzar el confort térmico. Se puede considerar que la temperatura de confort alcanza los siguientes valores:

Invierno (Vestimenta normal) 18°C a 22°C

Verano (Vestimenta liviana) 23°C a 27°C

- **Temperatura de radiación.** Está relacionada con el calor que recibimos por radiación de los elementos del entorno. Se puede estar confortable con una temperatura del aire muy baja si la temperatura de radiación es alta. Esto es importante, porque puede ocurrir que la temperatura del aire sea menor que la temperatura de las paredes, suelos y techos, que pueden haber sido calentadas por el sol o por sistemas de calefacción.
- **Humedad del ambiente.** Se denomina humedad ambiental a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. La humedad incide en la capacidad de transpiración que tiene el organismo, mecanismo por el cual se elimina el calor. A mayor humedad, menor transpiración. El valor cuantitativo más habitual es la **humedad relativa**, que es el porcentaje de humedad que tiene el aire respecto al máximo que admitiría, sin producirse condensación. La humedad relativa cambia con la

temperatura por la sencilla razón de que la máxima humedad que admite el aire cambia con ella. La humedad relativa debe estar entre el 30% y el 70%, considerándose como valor óptimo el 50% de humedad relativa tanto en invierno como en verano.

Otra acepción de la humedad es el **Punto de rocío**, que es la temperatura a la presión de saturación del vapor de agua igualada a la presión parcial del vapor de agua (en la atmósfera). Un enfriamiento de la atmósfera por debajo del punto de rocío produce una condensación de agua. La humedad relativa en el punto de rocío es de 100%.

- **Velocidad del aire.** La velocidad del aire es uno de los parámetros que se incluye en los cálculos de la sensación térmica. En las proximidades de la piel, se crea una capa de aire inmóvil que mantiene una temperatura cercana a la de la piel y una humedad relativa alta. El movimiento del aire desplaza ese aire y permite un intercambio de calor más efectivo con el ambiente y un mejor rendimiento de la evaporación del sudor, lo que modifica las condiciones térmicas del cuerpo.

Es agradable la brisa en una situación de calor, puesto que mejora el enfriamiento del cuerpo; se admiten velocidades de hasta 1,50 m/s por poco tiempo. Cuando se trabaja debe ser inferior a 0,55 m/s para evitar inconvenientes prácticos, por ejemplo que no se vuelen los papeles.

El movimiento del aire es menos deseable cuando hace frío. Sin embargo, cuando el aire está inmóvil (velocidad igual a 0 m/s), la sensación es siempre desagradable, por lo que cuando hace frío se estiman correctas velocidades comprendidas entre 0,10 y 0,15 m/s.

Manejar y combinar correctamente estos factores ayuda a lograr una sensación de bienestar dentro de una vivienda. Los factores o parámetros de diseño mencionados pueden considerarse de aplicación general, pero no debe olvidarse que su efectividad está influenciada de manera no menor por montes, ríos, pantanos, vegetación, edificios próximos, etc., que afectan la exposición al viento, la humedad y la radiación solar que recibe la vivienda, haciendo necesario un análisis caso a caso si se desea lograr una máxima eficiencia.

2.2. Psicrometría

Como se mencionó anteriormente, para que haya bienestar en los ocupantes de un local, el aire en su interior debe encontrarse en condiciones adecuadas en cuanto a su calidad y propiedades higrotérmicas, como ser temperatura y humedad.

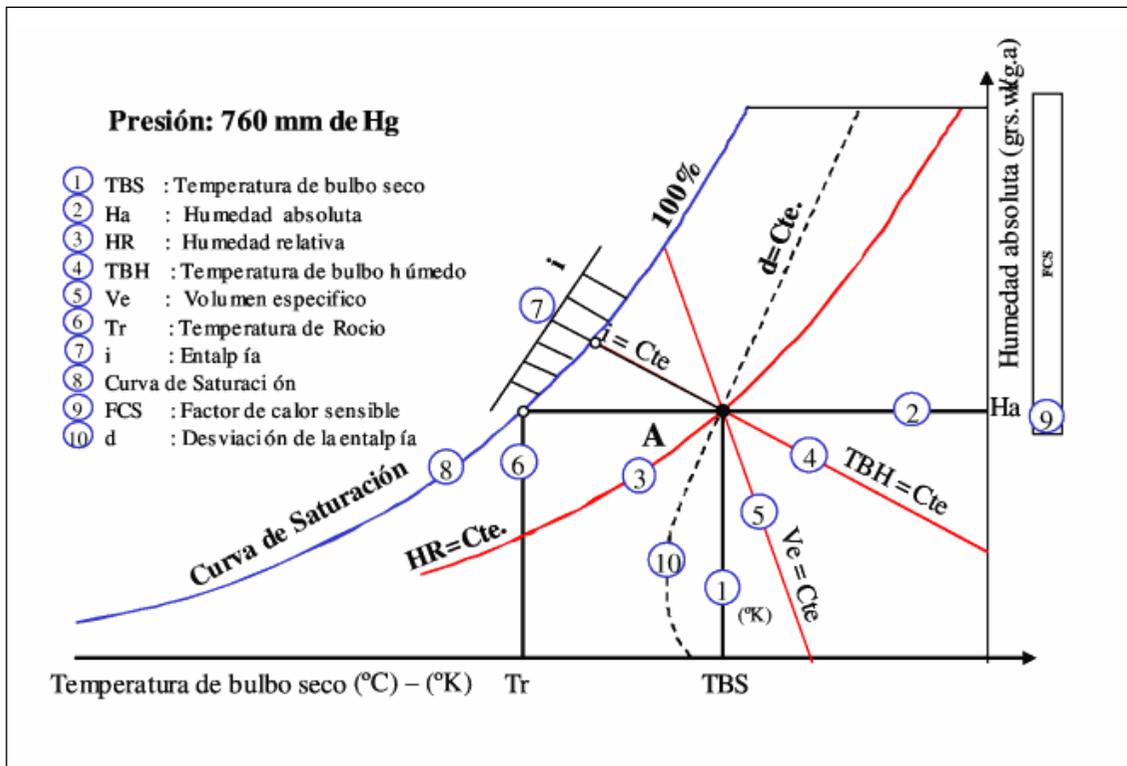
La calidad del aire depende de la pureza y la renovación necesaria de acuerdo con las exigencias del local y para lograr los requerimientos higrotérmicos, el aire interior debe ser calentado, enfriado, humidificado o deshumidificado, según sean las condiciones del aire exterior.

La psicrometría es la ciencia que estudia las propiedades de la mezcla aire-vapor, prestando atención especial a todo lo relacionado con las necesidades ambientales, humanas o tecnológicas. También se define como la ciencia que trata de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y sobre el confort humano.

La representación gráfica de las propiedades físicas de una mezcla de aire húmedo se conoce como Diagrama Psicrométrico. Este diagrama del aire húmedo permite conocer las combinaciones posibles de dos propiedades físicas de la mezcla aire-vapor considerada y su relación con otras propiedades físicas.

A continuación se detalla esquemáticamente en el diagrama psicrométrico las propiedades físicas del aire húmedo involucradas.

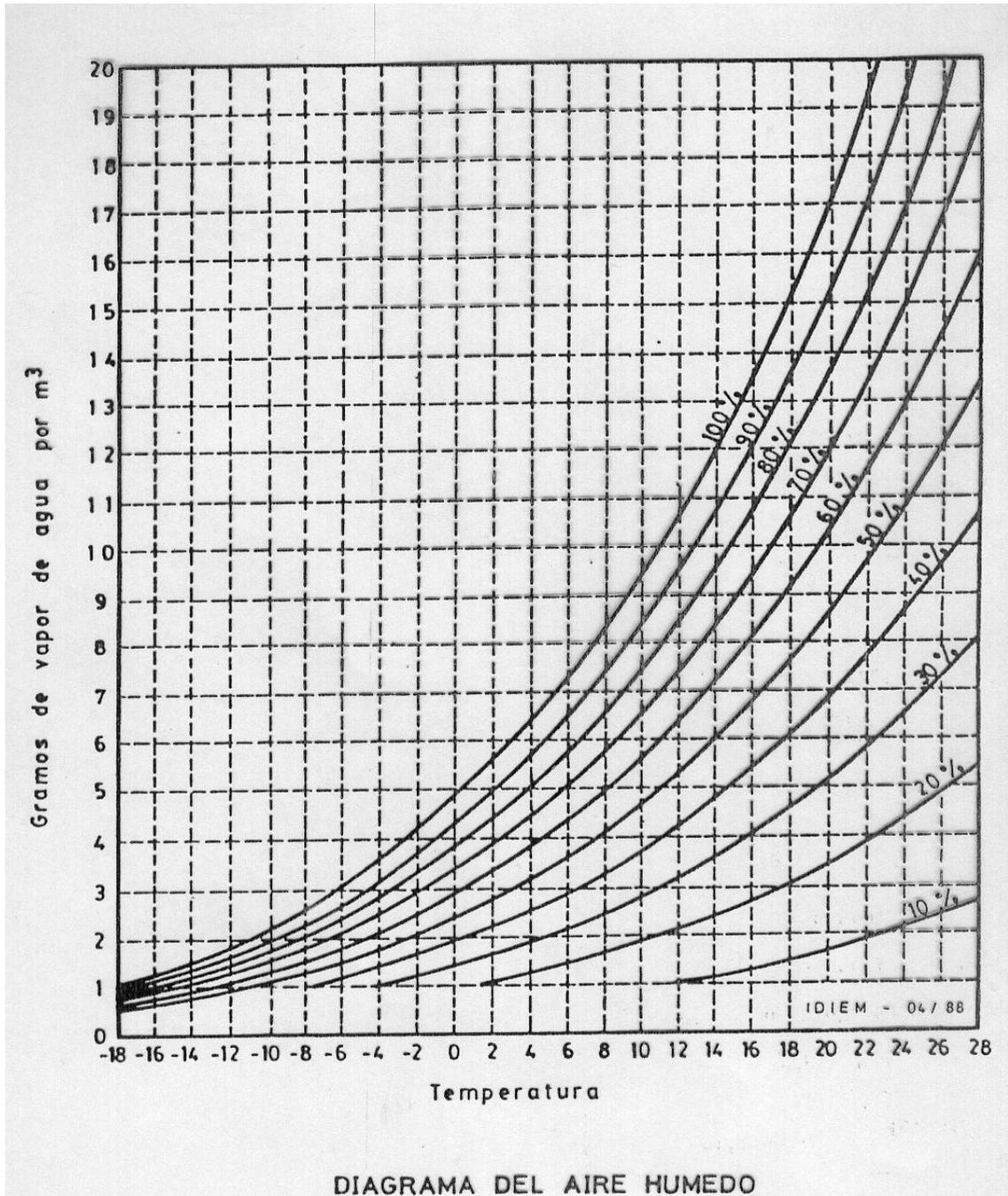
Figura 2: Esquema del Diagrama Psicrométrico



Los factores más importantes de este diagrama se leen del mismo de la siguiente manera: una serie de rectas verticales representan temperaturas secas (1), una serie de rectas horizontales marcan la humedad absoluta (2), una serie de curvas indican el porcentaje de humedad (3), todos los puntos de una misma recta inclinada están a la misma temperatura húmeda (4) y por tanto igual entalpía (7).

El ábaco psicrométrico o diagrama del aire húmedo es el presentado en el siguiente gráfico:

Figura 3: Diagrama Psicrométrico



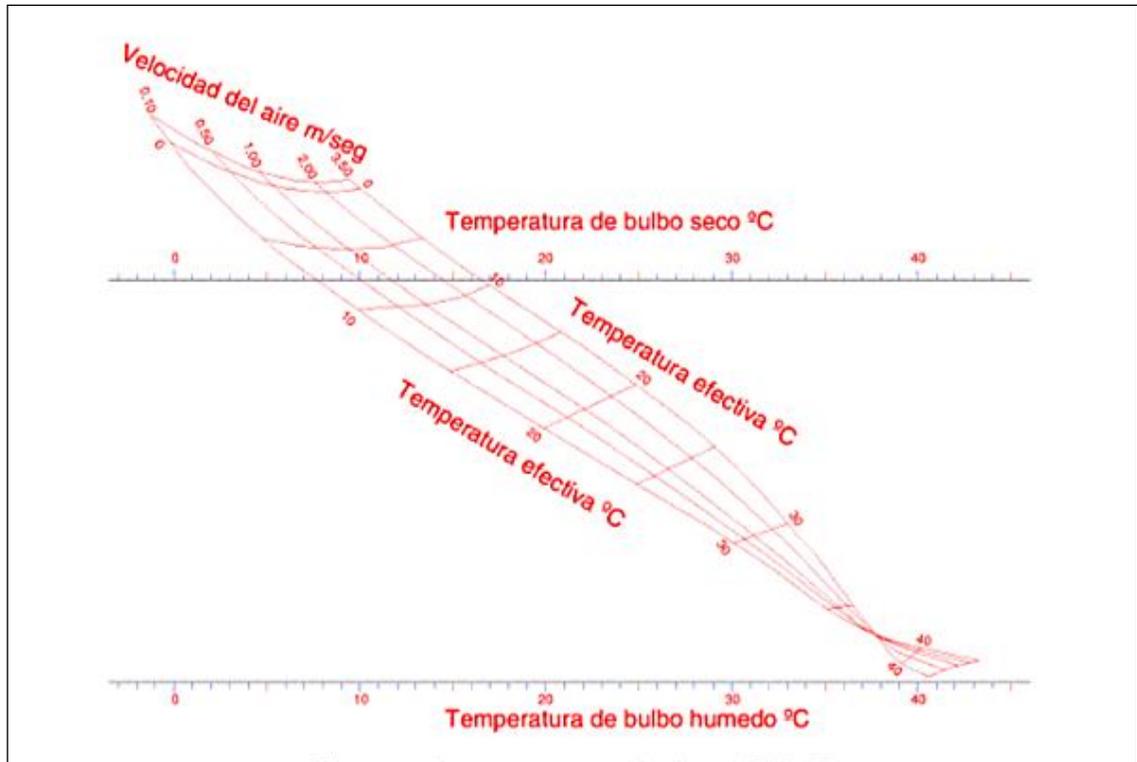
2.3. Temperatura efectiva

La temperatura efectiva es un índice de sensación térmica que se define como la temperatura seca del aire de un recinto similar al problema (equivalente), con un 50% de humedad relativa, velocidad del aire de unos 0,20 m/s y paramentos (paredes y techo) a la misma temperatura del aire, que produjera la misma sensación térmica que el recinto problema a iguales actividad e indumentaria.

Combinando diferentes temperaturas, velocidades y humedades del aire se puede alcanzar la misma sensación de confort. Estas combinaciones se llaman temperatura efectiva. Un ejemplo de lo anterior es que diferentes combinaciones de humedad relativa y temperatura de bulbo seco, con una velocidad del aire constante, pueden producir la misma sensación de bienestar.

Para estimar dicha temperatura efectiva o temperatura de confort se utiliza el siguiente diagrama:

Figura 4: Diagrama de temperaturas efectivas



Un ejemplo de lectura del diagrama anterior sería el siguiente: Con una temperatura seca de 25°C, una temperatura húmeda de 20°C y una velocidad del aire de 1 m/s resulta una temperatura efectiva de 21°C.

2.4. Condensación

La condensación es el proceso físico que consiste en el paso de una sustancia en forma gaseosa a forma líquida. Aunque el paso de gas a líquido depende, entre otros factores, de la presión y de la temperatura, generalmente se llama condensación al tránsito que se produce a presiones cercanas a la ambiental. Este proceso suele tener lugar cuando un gas es enfriado hasta su punto de rocío.

En una vivienda se produce condensación cuando el aire húmedo entra en contacto con aire o una superficie que se encuentra con una temperatura inferior. Cuando el aire húmedo entra en contacto con el aire frío o con una superficie fría, el aire es incapaz de mantener la misma cantidad de humedad y el agua se libera formando condensación en el aire o en la superficie.

Generalmente la condensación se hace notable cuando se forma en superficies no absorbentes, como ventanas o tejas, pero se puede formar en cualquier tipo de superficie sin ser observada hasta la aparición de moho en dichas superficies.

La condensación en las viviendas ocurre principalmente en invierno, en particular en locales habitados donde se genera aire húmedo caliente que luego se expande por las partes más frías del edificio.

La humedad en el aire proviene de diversas fuentes dentro de la casa. El vapor de agua se produce en cantidades relativamente grandes por respiración, baño y aseo personal, cocina, lavado y secado de ropa, y por calefacción, especialmente calentadores a gas y parafina. También se puede introducir humedad al aire interior desde la estructura del edificio, ya sea por el piso o a través de paredes y techos.

El efecto de la generación de humedad empeora debido a la mantención del aire húmedo dentro de la vivienda. Evitando este estancamiento se puede evitar la condensación con una ventilación adecuada. Por lo general, en determinadas zonas de una casa, como baños y cocinas, el aire caliente contiene una gran cantidad de humedad, que si se propaga por las partes más frías de la casa se condensa en cualquier superficie fría.

Las viviendas de hoy en día se construyen con un nivel de aislación muy alto, lo que ha generado que la ventilación natural se redujera considerablemente y que se conserve el aire húmedo dentro de los locales. En estas nuevas viviendas eficazmente selladas se mantiene la humedad producida dentro de la casa y se proporciona mejores condiciones para que se produzca condensación. Esta estanquidad interior y la pobre circulación del aire, que producen la condensación de las ventanas y la creación de moho en las paredes y techos, pueden ser disminuidas o eliminadas mediante la implementación de un sistema de ventilación adecuado.

2.5. Pérdidas de calor

En una vivienda, los tres mecanismos de transmisión del calor mencionados con anterioridad están presentes para producir pérdidas de calor, especialmente en invierno. En el interior de la casa, el calor se transmite entre los elementos de muros, techos y suelos principalmente por radiación, y entre estos elementos y el aire interior principalmente por convección. El calor viaja a través de dichos elementos por conducción, hasta alcanzar el exterior de la casa, donde se disipa por convección y radiación. Para reducir las pérdidas de calor, se actúa principalmente sobre el fenómeno de conducción a través de los elementos anteriormente mencionados, intercalando una capa de material térmicamente aislante.

Hay que cuidar los llamados puentes térmicos, que son lugares de refuerzo o juntas de los elementos que pueden estar construidos con materiales diferentes al resto, existiendo por tanto una discontinuidad de la capa aislante. Estos lugares pueden convertirse en vías rápidas de escape del calor.

Sin embargo existe otra causa de pérdida de calor: la ventilación. Para que una vivienda sea salubre necesita un ritmo adecuado de renovación de aire. Si esta renovación se realiza con el aire exterior, durante el invierno se está perdiendo aire caliente e introduciendo aire frío. Es importante llegar a un compromiso entre la ventilación que se necesita y las pérdidas de calor que se pueden admitir, a no ser que se precaliente el aire exterior de alguna manera.

2.6. Contaminantes del aire

La calidad del aire se determina por sus propiedades bioquímicas más que por sus características físicas, puesto que son fundamentales para la respiración y la salud de las personas, así como para la comodidad olfativa. Los parámetros para determinar la calidad del aire interior se pueden agrupar de la siguiente forma:

- **Vapor de agua** o humedad relativa, por el riesgo de condensaciones y microorganismos patógenos.
- **Concentración de anhídrido carbónico (CO₂)** y disminución proporcional del oxígeno (O₂), por la respiración y la combustión (fumadores, cocinas, etc.).
- **Productos de la combustión**, por la presencia de gases químicos y aerosoles.
- **Productos del propio edificio**, por la presencia de compuestos orgánicos volátiles (VOC) o de partículas en suspensión.
- **Contaminantes biológicos**, por la presencia de microorganismos y residuos producidos por los seres vivos.
- **Olores** desagradables, por las actividades realizadas en los locales.
- **Otros contaminantes** como ozono o metales pesados.

La inmensa mayoría de los contaminantes del aire son subproductos de la actividad humana generados por la industria, el transporte o la producción energética, que se detectan en el aire exterior de los edificios. Las actividades realizadas en los edificios, e incluso los propios materiales de construcción, son otra fuente de contaminación que puede alcanzar elevadas concentraciones al emitirse directamente en el espacio habitado.

2.7. Climatología de Santiago

- SANTIAGO

Capital y primer centro urbano de la República de Chile, está situada en los 33° 27' de latitud sur, 70° 42' de longitud oeste, en la depresión intermedia entre la cordillera de la costa y la cordillera de Los Andes, en la zona central del país, con un promedio de 567 metros de elevación.

Su clima se define como templado cálido con lluvias invernales y estación seca prolongada. En esta región, el clima mediterráneo se desarrolla con todas sus características: precipitación concentrada en los meses de invierno y una estación muy seca producida por un dominio anticiclónico ininterrumpido. Estos períodos estacionales de marcadas características no son semejantes, ya que su fase de estación seca se prolonga por siete u ocho meses. La cadena costera, al oponerse a la propagación de la influencia del mar, contribuye a exagerar los valores de las temperaturas, acusándose un cierto grado de continentalidad, situación que se aprecia en las notables oscilaciones térmicas diarias y anuales.

- Descripción climatológica de la Región Metropolitana

En la Región Metropolitana se presenta un clima templado cálido con lluvias invernales y una estación seca prolongada de 7 a 8 meses. La principal característica son las precipitaciones que caen preferentemente en invierno, entre mayo y agosto, donde precipita alrededor del 80% de lo que cae en todo el año. Estas precipitaciones son de nieve en aquellas zonas ubicadas sobre 1.500 m de altura. Ocasionalmente ocurre alguna nevazón en los sectores bajos. La época seca está constituida por 7 u 8 meses en que llueve menos de 40 mm en cada uno de ellos. Incluso en algunos de los meses de verano, la normal de agua caída es inferior a 1 mm. Ambas cordilleras tienen importantes efectos climáticos: la de la Costa, con algunas cumbres superiores a 2.000 m impide una mayor influencia marítima, a excepción de cuando el nivel de inversión térmica asciende sobre 1.000 m y asociado a vientos del oeste en los niveles

más bajos, permite el ingreso de nubosidad baja costera a través de los valles de los ríos.

Otro efecto es el de disminuir las cantidades de precipitación en los sectores aledaños a su ladera oriental, lo que queda de manifiesto al comparar por ejemplo lo que llueve anualmente en Valparaíso, donde caen más de 370 milímetros anuales, con lo que cae en Pudahuel, solo 262 mm, considerando que Pudahuel se encuentra en una diferencia de latitud equivalente a 40 km más al sur de Valparaíso. La cordillera de Los Andes produce un efecto contrario, aumentando las precipitaciones a medida que se asciende, lo que se puede observar en los registros de Central Queltehues, que son más del doble de los de Quinta Normal.

La situación de continentalidad de la Región, hace que la humedad relativa sea baja, ligeramente superior al 70% como promedio anual. Además las amplitudes térmicas son altas: hay casi 13°C de diferencia entre el mes más cálido (enero) y el más frío (julio) y la diferencia media entre las máximas y mínimas diarias es de 14°C a 16°C.

La dirección del viento predominante es desde el suroeste, siendo más persistente en el verano, con una intensidad media de 15 km/h. En invierno predominan los vientos calma, velocidad del viento inferior a 2 km/h, y de dirección variable.

CAPITULO 3

ANALISIS TEORICO

En cuanto al análisis teórico se verán los distintos tipos de ventilación, tanto natural como forzada, y los factores necesarios para determinar la ventilación en una vivienda. Además se describirán las técnicas y los sistemas de ventilación posibles a implementar en una vivienda. Finalmente se analizarán las renovaciones de aire y los caudales de renovación.

3.1. Tipos de ventilación

La renovación del aire en cualquier local ocupado es necesaria para reponer el oxígeno y evacuar los subproductos de la actividad humana, o del proceso productivo, tales como el anhídrido carbónico, el exceso de vapor de agua, los olores desagradables u otros contaminantes. La ventilación se entiende como el proceso de renovación o reposición de aire sucio o viciado por aire limpio.

Se debe proyectar un sistema de ventilación acorde a las necesidades del inmueble evitando pérdidas innecesarias de calor, sin caer en la tentación de diseñar un edificio hermético, el cual resultaría insalubre.

En cuanto a confort se refiere, un sistema de ventilación bien diseñado puede:

- Incrementar el confort térmico en verano, puesto que el movimiento del aire acelera la disipación de calor del cuerpo humano.
- Ayudar en la climatización de recintos, ya que el aire en movimiento puede llevarse el calor acumulado. Para ello, la temperatura del aire debe ser lo más

baja posible. Esto es útil especialmente en las noches de verano, cuando el aire es más fresco.

Dentro de los tipos de ventilación para el interior de una vivienda se destacan la ventilación natural, la ventilación forzada y la ventilación híbrida.

3.1.1. Ventilación natural

Es la ventilación en la que la renovación del aire se produce exclusivamente por la acción del viento o por la existencia de un gradiente de temperaturas entre el punto de entrada y el de salida.

Se habla de ventilación natural cuando no hay aporte de energía artificial para lograr la renovación del aire. Comúnmente, la ventilación natural se consigue dejando aberturas en el local que comunican con el ambiente exterior, es decir, puertas, ventanas u otros diseños de aberturas en la envolvente del edificio.

Las diferencias de temperatura entre el exterior y el interior y las diferencias de presión entre las fachadas del edificio por efecto del viento son el origen de las fuerzas que ocasionan el movimiento del aire necesario para lograr la ventilación natural. En función de estas fuerzas, y de la superficie, orientación y situación de las puertas y ventanas es posible lograr tasas de ventilación muy importantes.

En general la ventilación natural es suficiente cuando en el local no hay más focos de contaminación que las personas que lo ocupan. El principal inconveniente de la ventilación natural es la dificultad de regulación, ya que la tasa de renovación en cada momento depende de las condiciones climatológicas y de la superficie de las aberturas de comunicación con el exterior.

La eficiencia de la ventilación natural es muy variable y depende de la incorporación de conceptos de ventilación al proceso de diseño de la vivienda.

- Ventilación cruzada

Consiste en la circulación del aire a través de ventanas u otros espacios abiertos situados en lados opuestos de una sala o habitación. Se la denomina también ventilación transversal.

Para que la ventilación sea lo más eficaz posible, las ventanas deben colocarse en fachadas opuestas, sin obstáculos entre ellas, y en fachadas que sean transversales a la dirección de los vientos dominantes. En días calurosos de verano, es eficaz ventilar durante la noche y cerrar durante el día.

Los especialistas recomiendan la ventilación cruzada para zonas climáticas templadas cálidas húmedas a tropicales húmedas como una estrategia de refrescamiento pasivo de los edificios.

Esta estrategia debe utilizarse con la combinación de ambientes sombreados para disminuir la temperatura del aire y una envolvente (muros y techos) cuya temperatura superficial sea semejante a la temperatura ambiente. Así, la posibilidad de ventilar los locales a lo largo del día funcionará mientras la temperatura exterior no supere los 30 a 34°C con una humedad relativa de 70 a 90%. Fuera de estos rangos la estrategia de ventilación cruzada pierde eficacia.

- Ventilación convectiva

La convección es un fenómeno natural por el cual el aire caliente tiende a ascender y el frío a descender. Es posible utilizar la radiación solar para calentar aire de tal manera que, al subir, escape al exterior, teniendo que ser sustituido por aire más frío, lo cual provoca una renovación de aire que se denomina ventilación convectiva. El dispositivo que provoca este fenómeno se denomina chimenea solar.

En un espacio cerrado, el aire caliente tiende a situarse en la parte de arriba, y el frío en la de abajo. Si este espacio es amplio en altura, la diferencia de temperaturas entre la parte alta y la parte baja puede ser apreciable. Este fenómeno se denomina estratificación térmica. Dos habitaciones colocadas a diferentes alturas, pero comunicadas entre sí, participan de este fenómeno, y resultará en que la habitación alta esté siempre más cálida que la baja.

Durante el día se pueden crear corrientes de aire aunque no haya viento provocando aperturas en las partes altas del inmueble, por donde pueda salir el aire caliente. Es importante prever de dónde provendrá el aire de sustitución y a qué ritmo debe ventilarse.

- Infiltraciones

Es la penetración del aire desde el exterior por fenómenos naturales en el edificio, que afectan o son asumidos para la ventilación, por ejemplo, rendijas en puertas y ventanas o difusión a través de determinadas superficies.

El caudal de aire de infiltración varía según la estanqueidad de las puertas y ventanas, la porosidad de las paredes del edificio, su altura, escaleras, ascensores, dirección y velocidad del viento, y caudales relativos de aire de ventilación y de extracción. En general, las infiltraciones se deben sobre todo a la velocidad del viento, al efecto de chimenea o a la simultaneidad de ambos efectos.

La acción del viento se traduce en una sobrepresión en la fachada expuesta a él, y en una ligera depresión en el lado contrario del edificio. Esta sobrepresión hace que el aire exterior se infiltre en el local por los resquicios o rendijas de la construcción y los intersticios de puertas y ventanas, penetrando por la fachada expuesta y saliendo por el lado contrario.

La pérdida de calor por infiltración de aire se puede determinar a partir del volumen V intercambiado por hora, de la diferencia de temperatura entre interior y exterior y del calor específico volumétrico del aire C_e , de la siguiente forma:

El calor específico del aire es $0,35 \text{ [J/(g}\cdot\text{K)]}$; $[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$.

Una forma sencilla de determinar las pérdidas por ventilación es multiplicando la cantidad de renovaciones de aire por hora (n) del recinto por $0,35$, esto entrega las pérdidas térmicas por unidad de volumen producto de la ventilación ($0,35\cdot n$), en $[\text{W}/(\text{m}^3\cdot\text{K})]$.

3.1.2. Ventilación forzada

Es la que se realiza mediante la creación artificial de depresiones o sobre presiones en conductos de distribución de aire o áreas del edificio. Éstas pueden crearse mediante extractores, ventiladores, unidades de tratamiento de aire (UTAs) u otros elementos accionados mecánicamente.

La ventilación forzada o mecánica elimina el problema de la dificultad de regulación que tiene la ventilación natural y la tasa de ventilación es perfectamente ajustable y controlable, en contrapartida consume energía eléctrica. Otra ventaja de la ventilación forzada frente a la natural es que puede ser aplicada en locales tales como sótanos o locales interiores de edificios, que no tienen comunicación directa con el exterior y que, por tanto, su ventilación sólo puede lograrse mediante conducciones a través de las cuales se fuerza el paso del aire mediante ventiladores.

Siguiendo con las cualidades de la ventilación mecánica se pueden mencionar: independencias de las variaciones atmosféricas, de los obstáculos que representan las edificaciones colindantes y de la orientación del bloque; ventilación permanente con caudales precisos del orden que se desee; expulsión controlada del aire viciado; nivel de ruido bajísimo; sin retornos del aire extraído; mantenimiento bajo de los equipos mecánicos que son de baja potencia

La ventilación mecánica puede realizarse por extracción mecánica y admisión natural (simple flujo) o por extracción y admisión mecánica (doble flujo).

3.1.3. Ventilación híbrida

En el cruce de la ventilación natural y de la ventilación mecánica, la ventilación híbrida es un concepto nuevo que consiste en utilizar unos componentes y el dimensionamiento de los conductos de la ventilación natural acoplados a una asistencia mecánica no permanente de baja presión. La asistencia mecánica sólo se utiliza para ayudar a las fuerzas de los motores naturales (el viento y el tiro térmico) cuando es necesario y su puesta en marcha es automática.

La ventilación híbrida se basa en el principio de funcionamiento estático mecánico, que consiste en, cuando las condiciones de presión y temperatura ambientales son

favorables, la renovación del aire se produce como en la ventilación natural y, cuando son desfavorables, como en la ventilación con extracción mecánica.

Por consiguiente la ventilación híbrida posee dos modos de funcionamiento:

- En régimen de ventilación natural, sea por tiro térmico o por viento. Siendo el tiro térmico resultante del diferencial térmico y de la altura de columna. El viento actúa sobre fachadas (ventilación transversal) y bocas de expulsión de los conductos de extracción (efecto Venturi).
- En régimen de ventilación mecánica, mediante equipos electromecánicos vía arranque automático sea por sensores térmicos o de presión o de caudal.

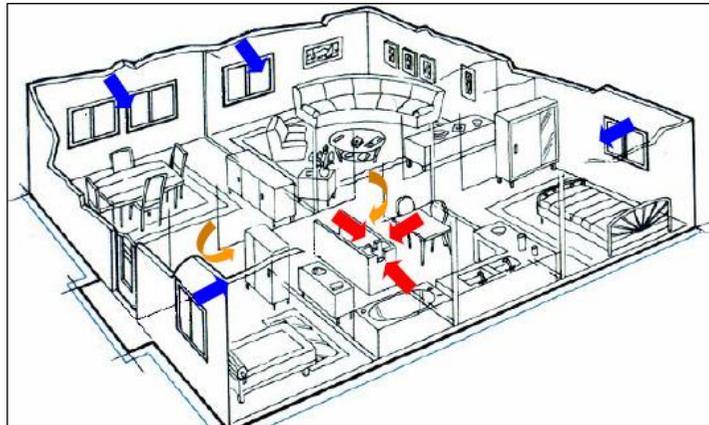
Este tipo de funcionamiento estático mecánico, confiere a la ventilación un carácter inteligente siendo su máxima ventaja la de la eficiencia energética por mayor ahorro, así como menos ruidoso respecto a otros sistemas de ventilación por el hecho de funcionar a bajas presiones.

Es un tipo de ventilación que puede ser utilizado en un edificio de departamentos donde se trata de aprovechar la extracción natural favorecida por el diferencial térmico, el viento y la altura de tiro. Si estas condiciones no son suficientes, la ventilación de la vivienda no se verá interrumpida debido al funcionamiento automático del equipo extractor.

3.2. Sistemas de ventilación

La ventilación, natural o forzada, cuenta con tres procesos importantes: admisión de aire, paso de aire y extracción de aire.

Figura 5: Esquema de ventilación general de una vivienda



La admisión de aire limpio (flechas azules) desde el exterior se produce principalmente en los locales secos, los cuales son la sala de estar, el comedor y los dormitorios. El paso de aire (flechas amarillas) por los pasillos se realiza a través de aberturas de paso, como ser un aireador o la holgura existente entre las hojas de las puertas y el suelo. Finalmente, la extracción del aire (flechas rojas) se debe producir en los locales húmedos, como la cocina, los baños y los cuartos de aseo, por medio de ventiladores de extracción hacia el exterior. Siguiendo este criterio se evita hacer circular aire contaminado o con exceso de humedad por recintos más limpios o secos.

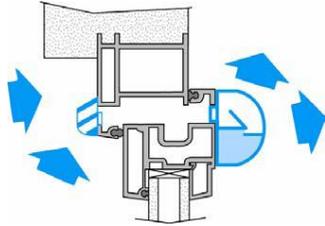
- Admisión de aire

Dentro de los tipos de admisión de aire se encuentra la admisión natural, con aberturas colocadas en fachada, y la admisión mecánica, con ventiladores de impulsión.

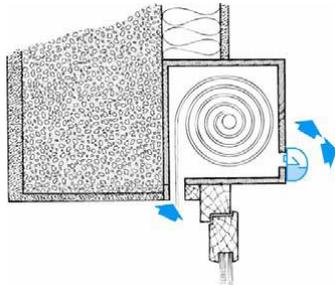
Las aberturas de admisión de aire para la ventilación natural o híbrida se colocan sobre las ventanas, en cajas de persianas o en los muros de los locales secos.

Figura 6: Tipos de aberturas de admisión

Abertura en carpintería



Abertura en caja de persiana



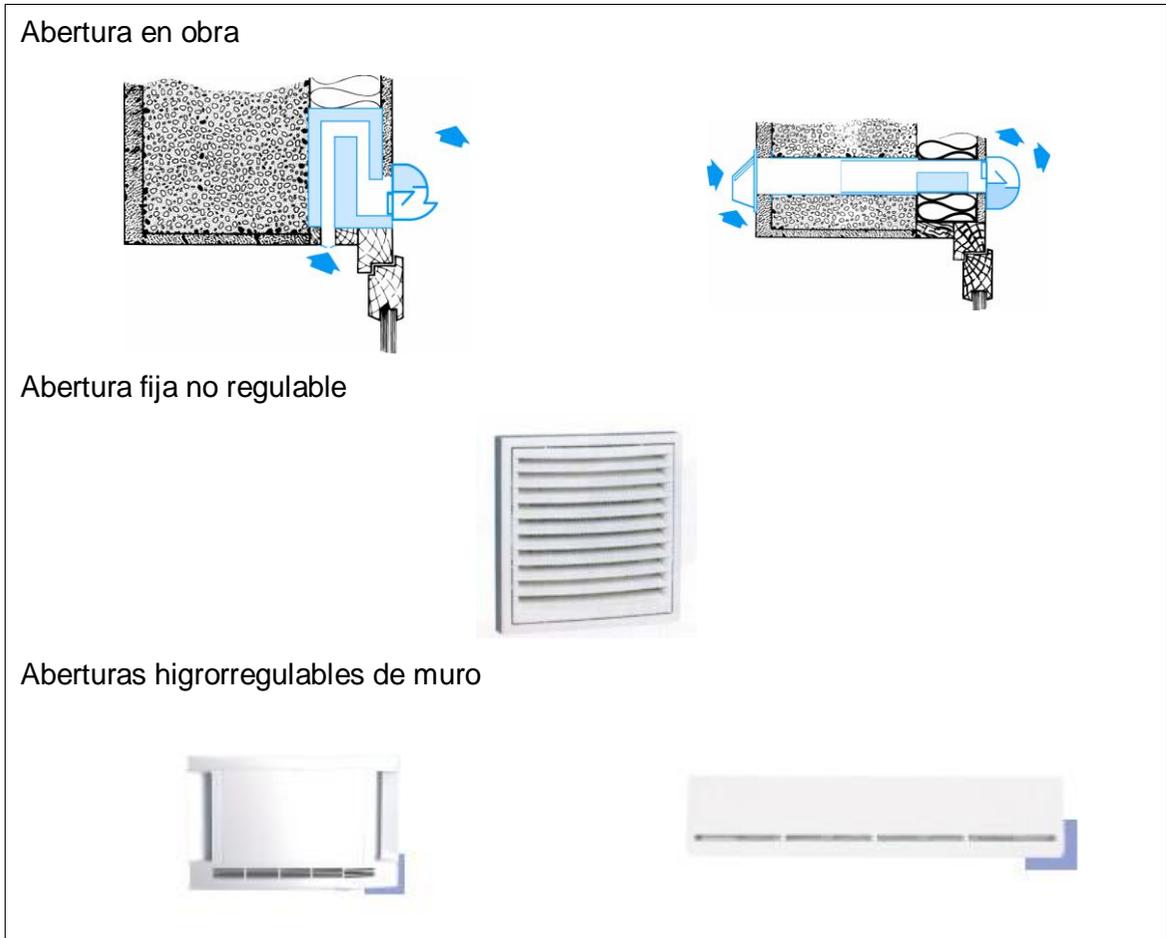
Abertura autorregulable



Aberturas higrorregulables



Figura 6: Tipos de aberturas de admisión (Cont.)

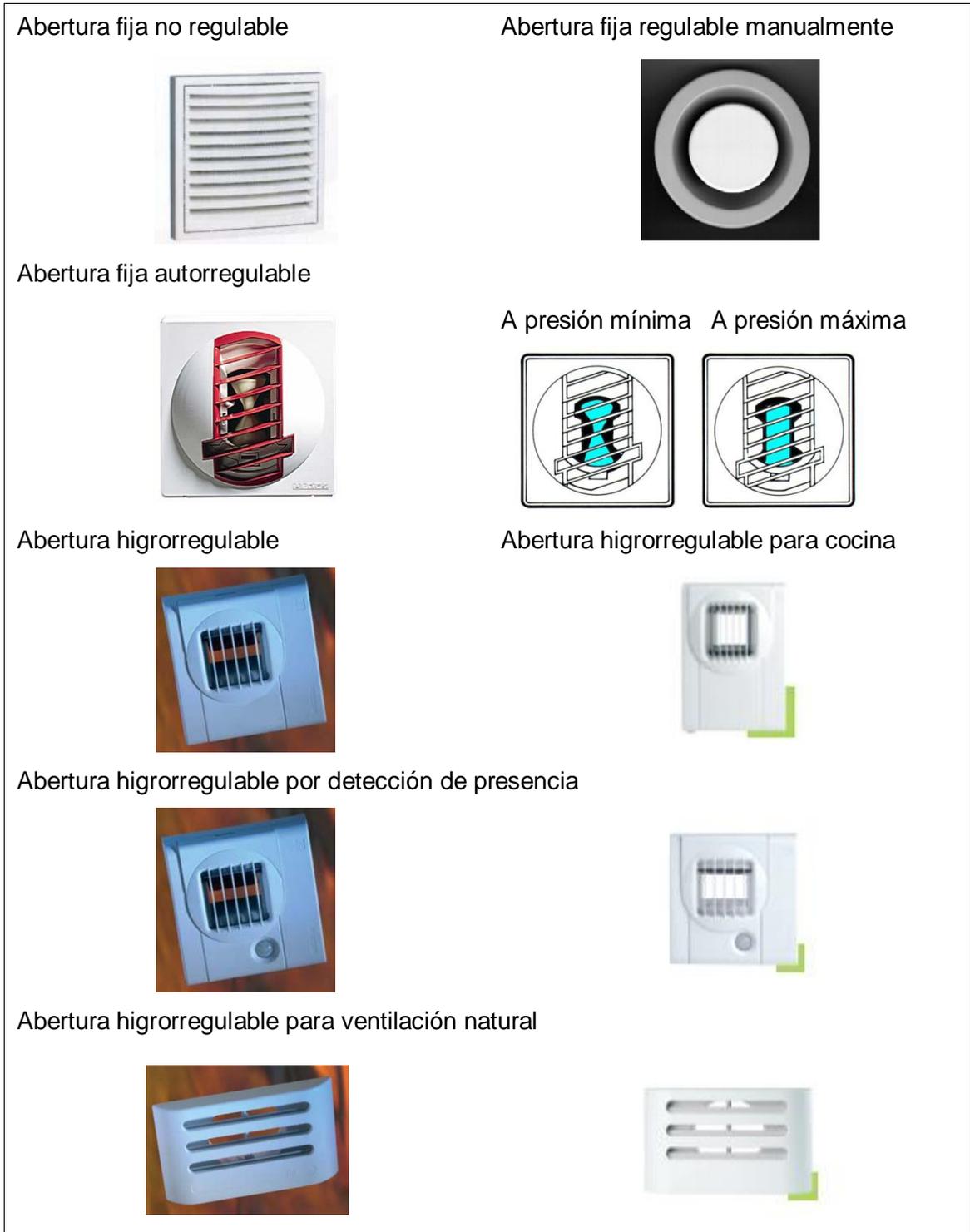


- Extracción de aire

En la siguiente figura se aprecian los distintos tipos de aberturas de extracción posibles a instalar en una vivienda. Estos tipos de aberturas se determinan según el sistema de ventilación adoptado.

Cada boca de extracción está conectada a un conducto vertical que lleva el aire extraído hacia el exterior.

Figura 7: Tipos de aberturas de extracción



Las cocinas deben disponer de un sistema adicional específico de ventilación con extracción mecánica para los vapores y los contaminantes de la cocción. Para ello debe disponerse un extractor o campana conectado a un ducto de extracción independiente de los de la ventilación general de la vivienda

Existen distintos ventiladores de extracción dependiendo del tipo de ventilación que tenga la vivienda. Para la ventilación híbrida, los ventiladores de extracción deben ser individuales por conductos verticales y arrancar de forma automática cuando la ventilación natural no permita asegurar los caudales mínimos necesarios. En la ventilación mecánica los ventiladores pueden ser individuales o colectivos.

Para ambos casos se debe disponer de un sistema que impida la inversión del desplazamiento del aire en todos los puntos.

Figura 8: Ventiladores de extracción

En ventilación híbrida:



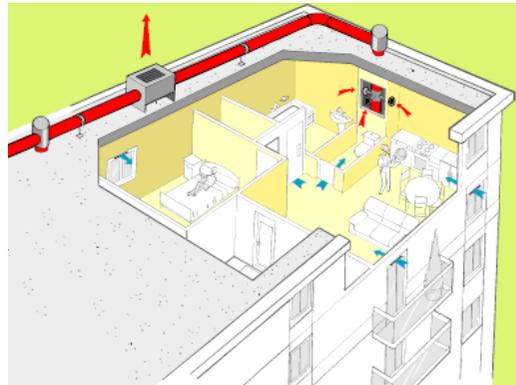
Ventilador individual por vertical



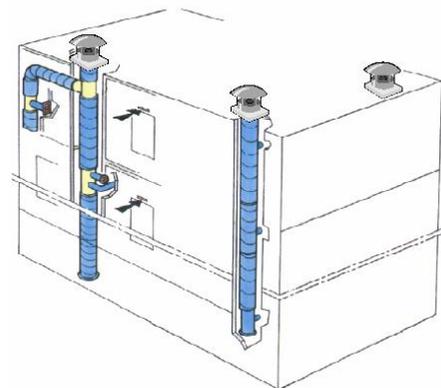
En ventilación mecánica:



Ventilador colectivo



Ventilador individual por vertical

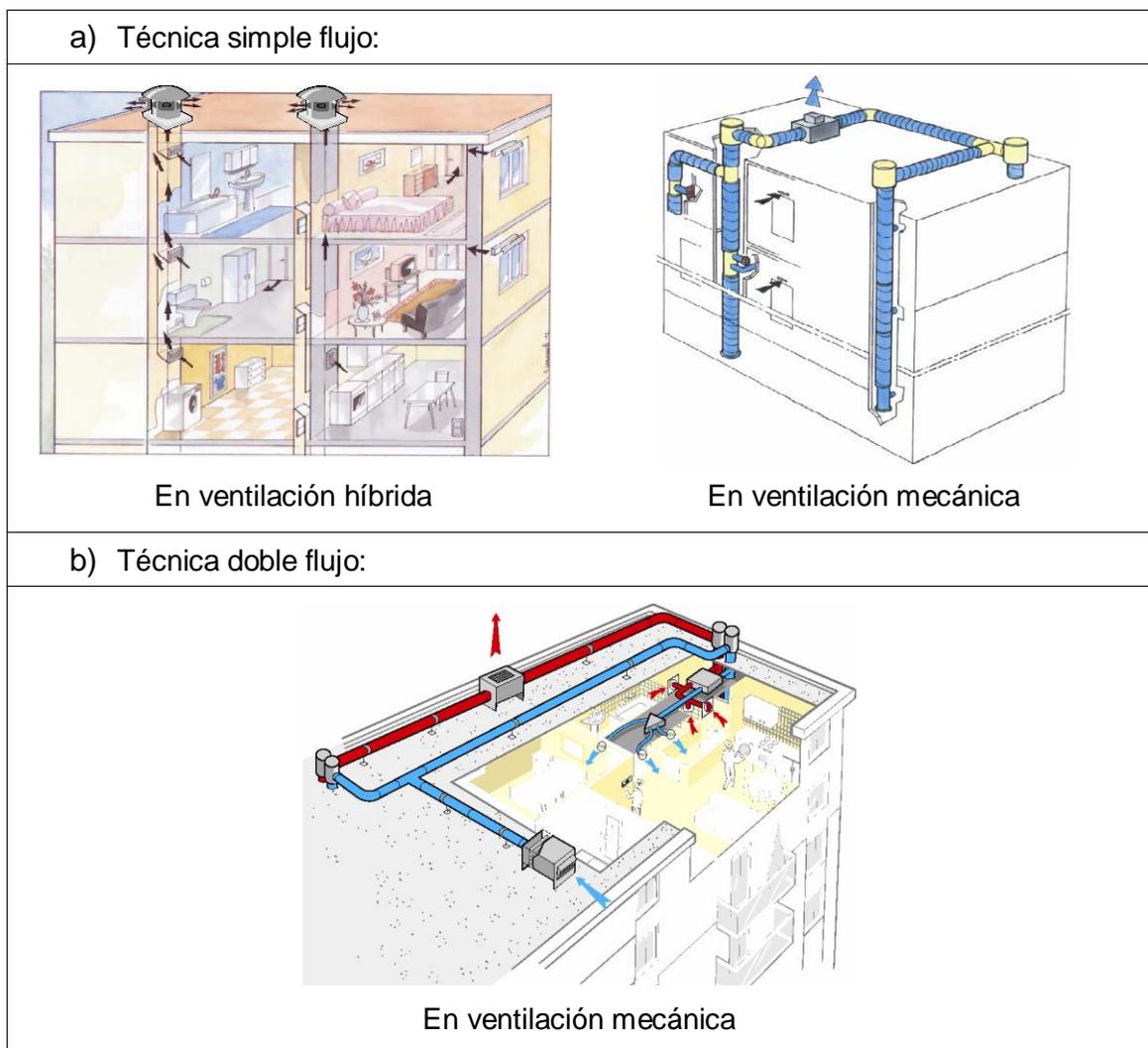


3.2.1. Técnicas de ventilación

La técnica de ventilación define la forma con la que el aire es introducido y extraído de la vivienda. Se pueden distinguir dos técnicas de ventilación:

- a) Técnica simple flujo: Admisión natural, extracción natural o mecánica.
- b) Técnica doble flujo: Admisión mecánica, extracción mecánica.

Figura 9: Técnicas de ventilación



3.2.2. Sistemas de ventilación

Los sistemas de ventilación se diferencian según la técnica de ventilación y el tipo de aberturas de admisión y extracción utilizado para controlar los caudales de ventilación. Se pueden distinguir cinco sistemas de ventilación:

- a) Sistema simple flujo no regulable.
- b) Sistema simple flujo regulable manualmente.
- c) Sistema simple flujo autorregulable.
- d) Sistema simple flujo modulado.
- e) Sistema doble flujo autorregulable.

a) Sistema simple flujo no regulable.

Está constituido por aberturas de admisión y extracción con superficie de paso fija que no permiten ajustes para aumentar o disminuir el caudal que pasa por dichas aberturas. Es un sistema aplicado principalmente en ventilación híbrida.

Con este sistema se obtienen caudales de ventilación descontrolados que son muy sensibles al viento, al diferencial térmico y a la posición de la vivienda dentro de un edificio. Esto produce riesgos de caudales excesivos con los efectos de corrientes de aire indeseadas y pérdidas energéticas importantes.

b) Sistema simple flujo regulable manualmente.

Constituido por aberturas de admisión y extracción con superficies de paso regulables manualmente según la presión disponible en cada punto de la instalación. Se permiten ajustes de manera manual y es un sistema aplicado principalmente en ventilación mecánica.

Con la posibilidad de adaptar las aberturas manualmente se obtienen caudales más controlados y menos dependientes de los parámetros climatológicos o constructivos. Se tienen pérdidas energéticas controladas y un mayor confort al reducir el riesgo de corrientes de aire. Sin embargo, las aberturas de admisión pueden ser inadaptadas a cierto tipo de exposición al viento y se presenta el riesgo de

desequilibrar la instalación por actuación de los usuarios sobre las bocas de extracción.

c) Sistema simple flujo autorregulable.

Este sistema consta de aberturas de admisión y extracción que incorporan un elemento mecánico capaz de detectar la presión disponible y establecer automáticamente la superficie de paso necesaria para conseguir el caudal deseado. La autorregulación se realiza dentro de un rango de presiones definidos. De esta manera se obtienen caudales constantes perfectamente controlados y pérdidas energéticas controladas.

Es un sistema utilizado para ventilación con extracción mecánica y es poco sensible a vientos en fachadas.

d) Sistema simple flujo modulado.

El sistema modulado o sistema higrorregulable es un sistema capaz de ventilar donde es necesario, cuando es necesario y con el caudal de aire necesario, que se basa en el número de ocupantes y su distribución dentro de la vivienda, el tipo de utilización de los locales húmedos, la temperatura y nivel de humedad interior y exterior, y la permeabilidad al aire de la vivienda.

Los caudales de ventilación se regulan automáticamente gracias a las aberturas de admisión y extracción higrorregulables capaces de ajustar su superficie de paso y por lo tanto su caudal en función de la humedad relativa de cada local, adaptándose a las necesidades de cada zona y de cada momento.

Este sistema se puede aplicar tanto a la ventilación híbrida como a la mecánica. Se logra mayor confort y mayor ahorro energético (alrededor del 50%), y los riesgos de condensación son muy limitados.

e) Sistema doble flujo autorregulable.

Este sistema de ventilación asegura la ventilación permanente y general de las viviendas, permitiendo conseguir un importante ahorro energético mediante el uso de

un recuperador estático situado en cada vivienda, y un confort óptimo al atemperar y filtrar el aire introducido.

La ventilación se realiza de forma mecánica mediante dos redes de conductos conectados a un ventilador centralizado de extracción y un ventilador centralizado de impulsión, situados fuera de las viviendas (en terraza, bajo cubierta,...).

La regulación de las bocas de extracción e impulsión a un caudal constante se efectúa por ajuste automático de la superficie de paso de aire, en función de la presión disponible en cada punto de la instalación.

Este sistema permite realizar un ahorro energético sustancial al recuperar hasta un 80% de las calorías o frigorías del aire extraído y reforzar el aislamiento acústico de fachada eliminando las entradas de aire en fachada, además de impulsar un aire filtrado y precalentado en invierno. Se puede implementar tanto en viviendas individuales como en edificios de departamentos.

3.3. Análisis del edificio

Para determinar de manera adecuada y más realista la ventilación en una vivienda se requiere distinguir entre viviendas a proyectar o viviendas construidas. En el primer caso debe considerarse tanto las necesidades y características definidas en el programa de la vivienda por sus futuros usuarios o mandantes y en el segundo caso realizar un estudio riguroso de las características de la edificación y de cada uno de los recintos que la conforman. Forman parte de este estudio los planos de detalles mecánicos y arquitectónicos, croquis sobre el terreno y en algunos casos fotografías de aspectos importantes del edificio.

El comportamiento climático de una vivienda no solo depende de su diseño, sino que también está influenciado por su ubicación y la existencia de accidentes naturales o artificiales que crean un microclima que afecta al viento, la humedad, y la radiación solar que recibe la vivienda.

3.3.1. Características del edificio

Deben considerarse los siguientes aspectos físicos:

1. Ubicación geográfica del edificio.
2. Orientación del edificio con respecto a:
 - a) Puntos cardinales: efectos del sol y viento.
 - b) Estructuras permanentes próximas: efectos de sombra.
 - c) Superficies reflectantes: agua, arena, lugares de estacionamiento, etc.
3. Destino del edificio: edificio de vivienda.
4. Uso de los locales: dormitorio, living, comedor, cocina, baño, locales de aseo.
5. Dimensiones de los locales: largo, ancho y alto.
6. Altura de techo: de suelo a suelo, de suelo a techo, espacio entre cielo raso y las vigas.
7. Ventanas: dimensiones y situación, marcos, cristales.
8. Puertas: situación, tipo, dimensiones.
9. Ocupantes: número, tiempo de ocupación.

3.3.2. Situación del equipo y servicios

Para permitir al ingeniero seleccionar la situación del equipo y planificar los sistemas de distribución de aire es necesario, además del análisis del edificio, obtener información acerca de:

1. Espacios disponibles: situación de los huecos de conductos y espacios para unidades de ventilación.
2. Posibles obstrucciones: situación de las conducciones eléctricas, cañerías o interferencias en general que puedan estar situadas en el trazado de los conductos.
3. Situación de las entradas de aire exterior: en relación con la calle, otros edificios, dirección del viento, suciedad y desvío de contaminantes nocivos.
4. Características arquitectónicas del edificio: para seleccionar las salidas de aire que se va a impulsar.

3.4. Condiciones de proyecto

A continuación se exponen los datos a partir de los cuales se establecen las condiciones de proyecto exteriores para la ciudad de Santiago, y las interiores, o sea, las previstas en el proyecto.

3.4.1. Condiciones exteriores de proyecto

Las condiciones climatológicas de la Región Metropolitana y, en especial, de la ciudad de Santiago están establecidas en la siguiente tabla según la norma chilena oficial NCh1079.Of77, *Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico*.

Tabla 1: Condiciones exteriores de proyecto

Zona	Ciudad	Temperatura °C				Insolación cal/cm ² día		Soleamiento horas sol día	
		Media		Oscilación diaria		E	J	21 Dic.	21 Jun.
		E	J	E	J				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CI Central Interior	Santiago	20,7	7,9	17,0	11,3	570	130	14,3	9,8
		Muy caluroso	Frio	Alta	Media	Fuerte	Muy Baja		

Tabla 1: Condiciones exteriores de proyecto (Cont.)

Zona	Ciudad	Humedad relativa %		Nubosidad décimas		Precipitación mm		Vientos predominantes	Heladas por año
		E	J	E	J	Anual	max 1 día		
1	2	11	12	13	14	15	16	17	18
CI Central Interior	Santiago	52	79	1,7	5,8	367	103	SW	15
		Normal	Alta	Muy Baja	Mediana				

3.4.2. Condiciones interiores de proyecto para confort

Son las condiciones térmicas en las que se desea mantener los locales de la vivienda para que permanezcan confortables en las distintas estaciones del año.

Condiciones interiores de confort:

- Temperatura del aire $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$
- Humedad relativa entre 35 y 75%
- Movimiento del aire inferior a 1 m/s

Más detalladamente, algunos expertos recomiendan las condiciones interiores que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2: Condiciones de proyecto recomendadas para ambiente interior

Tipo de aplicación	Verano			Invierno		
	Temperatura seca $^{\circ}\text{C}$	Humedad relativa %	Variación de temp. $^{\circ}\text{C}$	Temperatura seca $^{\circ}\text{C}$	Humedad relativa %	Variación de temp. $^{\circ}\text{C}$
Apartamento	25 - 26	50 - 45	1 a 2	23 - 24	35 - 30	-1,5 a -2
Cocina	26 - 27	60 - 50	0,5 a 1	22 - 23	40 - 35	-1 a -2

Como estas son condiciones normales para aplicaciones destinadas al confort, ocasionalmente es tolerable que se sobrepasen.

3.5. Renovaciones de aire

Como ya se ha mencionado, la renovación es el intercambio de aire “usado” en el interior de los locales por aire “nuevo” procedente del exterior.

Es importante reducir al mínimo las pérdidas térmicas por ventilación, sin embargo, un mínimo de ventilación es necesaria para la higiene de la vivienda, especialmente en ciertos espacios. En la cocina, por ejemplo, es necesaria una salida de humos y ventilar para eliminar los olores propios de la actividad culinaria. En el baño también es necesario ventilar por la misma razón.

La renovación de aire, entonces, depende básicamente del uso que se le dé al recinto. En la siguiente tabla, extraída del manual *Aislación Térmica Exterior - Manual de diseño para soluciones en edificaciones*, se muestran las renovaciones de aire por hora, n , recomendadas según el lugar, es decir, cuántas veces en una hora se debe renovar completamente el volumen de aire.

Tabla 3: Renovaciones de aire por hora para diferentes lugares

Lugar	n
Baño público	60
Gimnasio	10
Dormitorio	0,5 – 1
Living	3 – 5
Comedor	3 – 5
Cocina	5 – 10
Baño casa	5 – 15

Por su parte, la norma oficial chilena NCh1960.Of89, *Aislación térmica – Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas*, propone una tabla informativa para calcular las renovaciones de aire.

Tabla 4: Renovaciones de aire consideradas en recintos de viviendas

Tipo de recinto	Renovaciones de aire de cálculo por hora
Baño con W.C.	2 – 3
Baño con ducha	5 – 8
Cocina	3 – 4
Lavado y secado de ropa	6 – 8
Estar, comedor	1 – 1,5
Dormitorio (1 cama)	1
Dormitorio (2 camas)	1 – 1,5
Dormitorio (3 o 4 camas)	1,5 – 2
Otros recintos habitables	1 – 1,5

3.6. Caudal de renovación

Es necesario prever un cierto caudal de aire exterior que permita la dilución de contaminantes y disipación de vapor de agua en el aire interior, la supresión de olores y produzca condiciones de confort.

El flujo de aire de la renovación se mide como un caudal en m³/h por unidad de uso. Se puede aplicar de las siguientes formas:

- m³/h y local, por ejemplo, por dormitorio.
- m³/h y persona.
- m³/h y m² de superficie de local.
- m³/h y m³ de volumen de local o renovaciones/hora.

El caudal de renovación Q se suele introducir por huecos, dependiendo de su superficie abierta S (m²) y de la velocidad del aire V (m/s), resultando:

$$Q = S \cdot V \cdot 3600 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

La tasa de renovación necesaria varía principalmente con el número de ocupantes, el volumen interior de aire y la actividad a desarrollar en su interior. Expertos dicen que, aunque para suprimir los olores corporales baste un caudal de aire exterior de 8,5 m³/h por persona, se recomienda proveer 13 m³/h. Este mínimo corresponde a una altura de techos de 2,40 m y a una densidad de ocupación media de una persona por 4,5 a 7 m² de suelo. Si la densidad es mayor debe aumentarse este mínimo. La supresión de olores de tabaco necesita de 25 a 42 m³/h por fumador.

La siguiente tabla contiene valores, propuestos por expertos, del caudal de aire fresco necesario para una supresión suficiente de olores en locales con fumadores y no fumadores.

Tabla 5: Caudales de aire exterior

Aplicación	Número de fumadores	m ³ /h por persona		m ³ /h por m ² de superficie de suelo Mínima
		Recomendada	Mínima	
Apartamento normal	Pequeño	34	25	-
Apartamento de lujo	Muy pequeño	51	42	6,0
Habitación de hotel	Grande	51	42	6,0
Cocina privada	-	-	-	36,6
Cuartos de aseo (Extracción)	-	-	-	36,6

Si la tabla da a la vez el caudal mínimo por persona y por m² de suelo, se tomará el caudal más elevado.

CAPITULO 4

LEGISLACIONES Y NORMAS TECNICAS

En este capítulo se detalla el estado actual de las legislaciones y normativas nacional e internacionales en cuanto a lo que se refiere a la ventilación en viviendas.

4.1. Legislación nacional

La reglamentación que rige actualmente en Chile en lo que se refiere a la ventilación en viviendas está establecida en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). A continuación se detallarán los artículos de dicho documento que hacen referencia a ventilación y posteriormente se realizará una crítica o comentario de la legislación nacional.

4.1.1. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

La ventilación en viviendas se hace presente en la OGUC en el Título 4: “De la arquitectura”, Capítulo 1: “De las condiciones de habitabilidad”, específicamente en los artículos 4.1.1 al 4.1.3.

Como introducción al tema de habitabilidad se definen los tipos de locales dentro de una vivienda (**Artículo 4.1.1.**):

1. Locales habitables: los destinados a la permanencia de personas, tales como: dormitorios o habitaciones, comedores y salas de estar.
2. Locales no habitables: los destinados al tránsito o estadía esporádica de personas, tales como cuartos de baño, cocinas, salas de vestir, lavaderos, vestíbulos, galerías o pasillos.

Luego se habla de ventilación en dos artículos:

Artículo 4.1.2. Los locales habitables deberán tener, al menos, una ventana que permita la entrada de aire y luz del exterior, con una distancia mínima libre horizontal de 1,5 m medida en forma perpendicular a la ventana cuando se trate de dormitorios. Sin embargo, se admitirán ventanas fijas selladas siempre que se contemplen ductos de ventilación adecuados o sistemas de aire acondicionado conectados a grupo electrógeno automático y que no se trate de dormitorios o recintos en los que se consulten artefactos de combustión de cualquier tipo.

Los locales no habitables sin ventanas o con ventanas fijas deberán ventilarse a través de un local habitable, o bien contemplar algún sistema de renovación de aire.

Artículo 4.1.3. No obstante lo dispuesto en el artículo anterior, los baños, cocinas y lavaderos, cuando no contemplen ventana al exterior que permita la renovación de aire, deberán ventilarse mediante un ducto, individual o colectivo, de sección libre no interrumpida de, al menos, 0,16 m².

Estos ductos serán exclusivos para ventilación, no podrán servir a baños y cocinas simultáneamente y deberán indicarse en los planos de planta de arquitectura y de estructura del proyecto.

La sección mínima indicada en el inciso primero podrá reducirse en caso de contemplarse tiraje forzado, debiendo justificarse técnicamente la sección proyectada.

La salida del ducto al exterior, salvo especificación distinta contemplada en el respectivo proyecto, deberá sobresalir al menos 1 m de la cubierta y situarse a una distancia libre no menor a 3 m de cualquier elemento que entorpezca la ventilación por dos o más de sus costados.

4.1.2. Comentario

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones es la legislación existente en Chile para la construcción de edificaciones. En este extenso documento se hace muy poca referencia, de modo muy vago e indefinido, a la ventilación de los edificios y a la renovación de aire en los locales de los mismos.

Hay un artículo extenso destinado al tema del aislamiento térmico donde se explica detalladamente este tema, se presentan exigencias para materiales y elementos, y se hace referencia a normas técnicas específicas que ayudan a tener una reglamentación más amplia con respecto a este tema. La aislación térmica es fundamental para obtener las condiciones de confort deseadas por los componentes de las viviendas, pero no es lo único. Es por eso que también es necesaria la ventilación de estos lugares térmicamente aislados.

Dada la importancia de la ventilación para el confort habitacional, ésta no se ve reflejada en la OGUC, ya que sus tres artículos referidos a ventilación y renovación de aire son de un contenido muy bajo de especificaciones técnicas y no se hace referencia a ninguna norma técnica, dado que ésta no existe. La OGUC define los locales que componen la vivienda, como habitables y no habitables, en el primer artículo. En el segundo artículo se exige como mínimo una ventana que permita la entrada de luz y aire desde el exterior en los locales habitables, dando como asumido que la ventilación de estos recintos se realiza de manera natural. Luego señala que se pueden contemplar ductos de ventilación o sistemas de aire acondicionado, pero no especifica cuando y donde instalarlos, la manera de instalarlos, las características ni tampoco las exigencias mínimas de estos sistemas de ventilación. Solamente se habla de la existencia de sistemas de ventilación y renovación de aire, sin entrar en más detalles.

Es recién en el tercer artículo que se dan exigencias de los ductos de ventilación que se deben instalar en cocinas, baños y lavaderos cuando no posean ventanas.

Como comentario adicional, hace falta documentación reglamentaria que norme las exigencias de ventilación mínima de los locales de la vivienda para lograr lugares saludables y confortables para las personas que lo ocupen.

4.2. Legislación extranjera

- España:

El **Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)** tiene por objeto establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento.

Se considerarán como instalaciones térmicas las instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria, destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas.

En las exigencias técnicas de las instalaciones térmicas se encuentran las de bienestar e higiene, dentro de las cuales se destacan:

1. Calidad térmica del ambiente: las instalaciones térmicas permitirán mantener los parámetros que definen el ambiente térmico dentro de un intervalo de valores determinados con el fin de mantener unas condiciones ambientales confortables para los usuarios de los edificios.
2. Calidad del aire interior: las instalaciones térmicas permitirán mantener una calidad del aire interior aceptable, en los locales ocupados por las personas, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual durante el uso normal de los mismos, aportando un caudal suficiente de aire exterior y garantizando la extracción y expulsión del aire viciado.

Pasando a la Parte II: Instrucciones Técnicas, Instrucción Técnica IT.1 Diseño y Dimensionado:

IT 1.1 Exigencia de bienestar e higiene

IT 1.1.4 Caracterización y cuantificación de la exigencia de bienestar e higiene

IT 1.1.4.1 Exigencia de calidad térmica del ambiente

IT 1.1.4.1.1 Generalidades

La exigencia de calidad térmica del ambiente se considera satisfecha en el diseño y dimensionado de la instalación térmica, si los parámetros que definen el bienestar térmico, como la temperatura seca del aire y operativa, humedad relativa, temperatura radiante media del recinto, velocidad media del aire en la zona ocupada e intensidad de la turbulencia se mantienen en la zona ocupada dentro de los valores establecidos a continuación.

IT 1.1.4.1.2 Temperatura operativa y humedad relativa + IT 1.1.4.1.3 Velocidad media del aire

Las condiciones interiores de diseño se fijarán en función de la actividad metabólica de las personas su grado de vestimenta y el porcentaje estimado de insatisfechos (PPD) y, en general, estarán comprendidas entre los siguientes límites:

Tabla 6: Condiciones interiores de diseño

Estación	Temperatura operativa ° C	Velocidad media del aire m/s	Humedad relativa %
Verano	23 a 25	0,18 a 0,24	40 a 60
Invierno	20 a 23	0,15 a 0,20	40 a 60

El proyectista podrá variar las condiciones arriba indicadas dependiendo del uso de los locales.

IT 1.1.4.2 Exigencia de calidad del aire interior

IT 1.1.4.2.1 Generalidades

En los edificios de viviendas, a los locales habitables del interior de las mismas, los almacenes de residuos, los trasteros, los aparcamientos y garajes; y en los edificios de cualquier otro uso, a los aparcamientos y garajes se consideran válidos los requisitos de calidad de aire interior establecidos en la Sección HS 3 del Código Técnico de la Edificación (el cual será analizado posteriormente).

4.3. Normas chilenas

- **NCh1973.Of87: Acondicionamiento térmico – Aislación térmica – Cálculo del aislamiento térmico para disminuir o eliminar el riesgo de condensación superficial**

Esta norma plantea que la condensación superficial en edificios habitacionales, especialmente viviendas, se produce a causa de dos factores básicos:

- a) Alta humedad relativa del aire ambiente;
- b) Baja temperatura de las superficies de muros, cielos, ventanas u otros elementos respecto a la temperatura del aire interior.

Dentro de los aspectos que originan estos factores, la norma cita dos que se refieren a ventilación:

- Renovación insuficiente del aire de los ambientes interiores;
- Admisión de aire muy húmedo desde el exterior y a temperatura relativamente alta.

Abordando el tema de fondo de la disminución y eliminación del riesgo de condensación superficial, se prescribe un método de cálculo aumentando la resistencia térmica de los elementos perimetrales. También se recalca que este método es complementado con el cálculo de las renovaciones de aire necesarios para evitar la condensación.

Se debe verificar que la renovación del aire ambiente sea suficiente para impedir que el contenido de humedad del aire se eleve.

El número de renovaciones, N , del volumen de aire contenido en un local determinado, V , queda dado por la condición siguiente:

$$N > \frac{0,83 \cdot m_p}{(H_{is} - H_e)V} \quad (1)$$

En que:

m_v = es la masa de vapor de agua producida en cada hora dentro del local;

H_{is} = es el contenido de humedad absoluta del aire interior para la temperatura de uso y la máxima humedad relativa permitida sin que se produzca condensación superficial en los elementos perimetrales;

H_e = es el contenido de humedad absoluta del aire exterior. Para efectos de cálculo, en el exterior se supone una humedad relativa de un 90%;

V = es el volumen del local.

En los locales existe una renovación permanente del aire ambiente por rendijas de puertas y ventanas, infiltraciones, que puede ser suficiente para mantener el contenido de humedad del aire ambiente bajo el nivel permitido por la resistencia térmica mínima, cuando la producción de vapor de agua en el local es reducida.

Si el número de renovaciones conseguida por infiltraciones es menor que el requerido, se deberán contemplar aberturas de ventilación o la instalación de sistemas mecánicos de extracción del aire húmedo.

En el anexo B de esta norma se informa acerca de la renovación del aire por infiltraciones, tanto para el método de las rendijas como para el método de las renovaciones:

B1. Método de las rendijas

En el método de las rendijas el caudal de aire infiltrado se calcula siguiendo las siguientes dos tablas:

Tabla 7: Cantidad de aire renovado por infiltración natural dentro de un espacio cerrado

Número de paredes exteriores	Cantidad de aire infiltrado en el local
Una	Total de las infiltraciones por las rendijas de puertas y ventanas existentes en la pared.
Dos	Total de la pared que tenga la mayor infiltración.
Tres o cuatro	Total de la pared que tenga mayor infiltración o la mitad del total general de infiltraciones; se toma el mayor valor de los dos.

Tabla 8: Infiltración por rendijas de ventanas y puertas en m³/h por metro lineal de rendija

Elemento	Velocidad del viento en km/h						
	8	16	24	32	40	48	56
Ventanas							
Ventanas de guillotina con marco de madera:							
normal sin burlete	0,7	2,0	3,6	5,5	7,4	9,6	11,8
normal con burlete	0,4	1,2	2,2	3,3	4,6	5,8	7,0
desajustada sin burlete	2,5	6,4	10,3	14,5	18,4	23,4	28,4
desajustada con burlete	0,6	1,8	3,2	4,7	6,6	8,5	10,4
Ventanas de guillotina con marco metálico:							
sin burlete	1,8	4,4	6,8	9,6	12,8	15,6	18,4
con burlete	0,6	1,8	2,9	4,3	5,6	7,1	8,6
Ventanas de abatir tipo industrial con marcos metálicos, rendija de 1,6 mm	4,8	10,0	16,1	22,8	28,4	34,5	40,6
Ventanas de abatir tipo residencial con marcos metálicos, suspendidas con bisagras, eje vertical de giro:							
rendijas de 0,4 mm	0,6	1,7	3,0	4,3	5,6	6,8	8,0
rendijas de 0,8 mm	1,3	3,0	4,8	7,1	9,3	11,7	14,1
Puertas							
Puertas de vidrio:							
con rendija de 3 mm	17,8	35,6	54,5	72,4	89,1	105,8	122,5
con rendija de 5 mm	26,7	55,6	78,0	111,4	133,8	161,7	189,6
con rendija de 6,5 mm	35,6	72,4	105,8	144,9	144,9	211,9	278,9
Puertas comunes de madera o metal bien ajustadas:							
sin burlete	2,5	6,4	10,2	14,2	18,3	22,4	26,5
con burlete	1,3	3,2	6,1	7,4	9,2	11,0	12,8
Puertas comunes de madera o metal mal ajustadas:							
sin burlete	5,0	12,7	20,4	28,3	36,6	44,9	53,2
con burlete	2,5	6,3	10,2	14,2	18,3	22,4	26,5

NOTA – Los valores de la presente tabla han sido extraídos de Heating Ventilating and Air Conditioning – Guide, HVAC – Guide 1950.

B2. Método de las renovaciones

Se entrega una tabla con el número de renovaciones por hora motivadas por la infiltración natural del aire bajo condiciones normales.

Tabla 9: Renovaciones de aire por infiltración natural a través de puertas y ventanas

Clase de habitación o edificio	Número de renovaciones por hora
Habitaciones con un lado expuesto al exterior	1
Habitaciones con dos lados expuestos al exterior	1,5
Habitaciones con tres o cuatro lados expuestos al exterior	2
Habitaciones sin puertas o ventanas al exterior	0,5 a 0,75
Salas de recepción	2
Cuartos de baño	2
Almacenes	1 a 3

4.4. Normas extranjeras

4.4.1. España

- **Instrucciones Técnicas Complementarias**

Otro documento adicional al RITE denominado Instrucciones Técnicas Complementarias contiene información importante en lo que se refiere a calidad del aire interior y ventilación:

ITE 02 Diseño

ITE 02.2 Condiciones interiores

ITE 02.2.2 Calidad del aire interior y ventilación

Para el mantenimiento de una calidad aceptable del aire en los locales ocupados, se considerarán los criterios de ventilación indicados en la norma UNE 100011, en función del tipo de local y del nivel de contaminación de los ambientes, en particular la presencia o ausencia de fumadores.

La ventilación mecánica se adoptará para todo tipo de sistemas de climatización siendo recomendable también para los demás sistemas a implantar en locales atemperados térmicamente.

El aire exterior será siempre filtrado y tratado térmicamente antes de su introducción en los locales.

El análisis de las características físicas del aire del entorno del edificio determinará los tratamientos a que ha de someterse antes de su introducción en los locales. Su grado de contaminación afectará a la selección del sistema de filtrado a emplear y su entalpía a la posible utilización como fuente de energía gratuita.

La posible existencia de diversas calidades de aire, tanto térmicas como contaminantes, en el entorno del edificio hace necesaria la correcta ubicación de las tomas de aire exterior, teniendo en cuenta los vientos dominantes y las zonas de aire con calidad diferenciada por insolación o contaminación.

En el proyecto se detallarán los puntos de control y limpieza de la instalación de filtrado para mantenimiento de equipo y conductos.

El aire exterior mínimo de ventilación introducido en los locales se empleará para mantener éstos en sobrepresión con respecto a:

- a) los locales de servicio o similares, para que se cree un flujo de aire desde los primeros a los segundos que evite la penetración de olores en los espacios normalmente ocupados por las personas
- b) el exterior, de tal forma que se eviten infiltraciones, que produce entrada de polvo y corrientes de aire incontroladas

En caso de no adoptarse la ventilación mecánica en sistemas de calefacción, y a efectos del cálculo de la demanda térmica en proyecto, el número de renovaciones horarias a considerar no será inferior a uno.

- **Documento Básico “DB HS Salubridad” del Código Técnico de Edificación (CTE)**

Como se menciona en la instrucción técnica “Exigencia de calidad del aire interior” (IT 1.1.4.2) del RITE, la ventilación para la calidad de aire interior se rige por el Documento Básico “DB HS Salubridad” del Código Técnico de Edificación (CTE). En este sentido, el CTE dice lo siguiente:

Artículo 13. Exigencias básicas de salubridad (HS)

1. El objetivo del requisito básico “Higiene, salud y protección del medio ambiente”, tratado en adelante bajo el término salubridad, consiste en reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, padezcan molestias o enfermedades, así como el riesgo de que los edificios se deterioren y de que deterioren el medio ambiente en su entorno inmediato, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.
2. Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, mantendrán y utilizarán de tal forma que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes.
3. El Documento Básico “DB HS Salubridad” especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de salubridad.

13.3 Exigencia básica HS 3: Calidad del aire interior

1. Los edificios dispondrán de medios para que sus recintos se puedan ventilar adecuadamente, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual durante el uso normal de los edificios, de forma que se aporte un caudal suficiente de aire exterior y se garantice la extracción y expulsión del aire viciado por los contaminantes.
2. Para limitar el riesgo de contaminación del aire interior de los edificios y del entorno exterior en fachadas y patios, la evacuación de productos de combustión de las instalaciones térmicas se producirá, con carácter general, por la cubierta

del edificio, con independencia del tipo de combustible y del aparato que se utilice, de acuerdo con la reglamentación específica sobre instalaciones térmicas.

A continuación se detalla lo más importante de lo establecido en la Sección HS 3 Calidad del aire interior:

2 Caracterización y cuantificación de las exigencias

1. El caudal de ventilación mínimo para los locales se obtiene en la tabla 10 teniendo en cuenta las reglas que figuran a continuación.
2. El número de ocupantes se considera igual,
 - a) en cada dormitorio individual, a uno y, en cada dormitorio doble, a dos;
 - b) en cada comedor y en cada sala de estar, a la suma de los contabilizados para todos los dormitorios de la vivienda correspondiente.
3. En los locales de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor.

Tabla 10: Caudales de ventilación mínimos exigidos

Locales	Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
	Por ocupante	Por m ² útil	En función de otros parámetros
Dormitorios	5		
Salas de estar y comedores	3		
Aseos y cuartos de baño			15 por local
Cocinas		2 (1)	50 por local (2)
Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
Aparcamientos y garajes			120 por plaza
Almacenes de residuos		10	
(1) En las cocinas con sistema de cocción por combustión o dotadas de calderas no estancas este caudal se incrementa en 8 l/s.			
(2) Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).			

3 Diseño

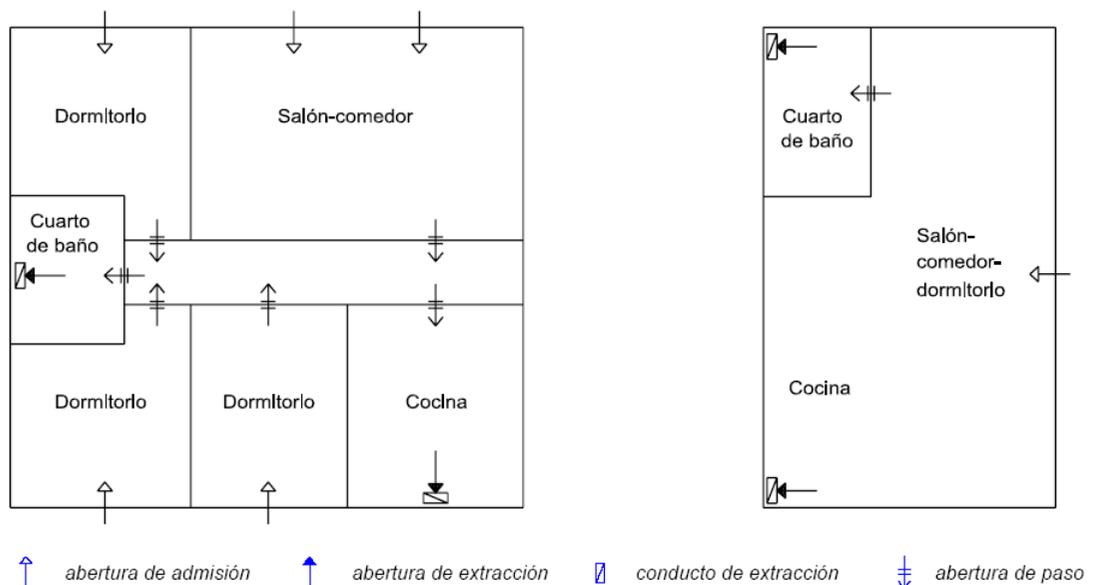
3.1 Condiciones generales de los sistemas de ventilación

3.1.1 Viviendas

1. Las viviendas deben disponer de un sistema general de ventilación que puede ser híbrida o mecánica con las siguientes características (véanse los ejemplos de la figura 10):
 - a) el aire debe circular desde los locales secos a los húmedos, para ello los comedores, los dormitorios y las salas de estar deben disponer de aberturas de admisión; los aseos, las cocinas y los cuartos de baño deben disponer de aberturas de extracción; las particiones situadas entre los locales con admisión y los locales con extracción deben disponer de aberturas de paso;
 - b) cuando la ventilación sea híbrida las aberturas de admisión deben comunicar directamente con el exterior;
 - c) los aireadores deben disponerse a una distancia del suelo mayor que 1,80 m;
 - d) cuando algún local con extracción esté compartimentado, deben disponerse aberturas de paso entre los compartimentos; la abertura de extracción debe disponerse en el compartimento más contaminado que, en el caso de aseos y cuartos de baños, es aquel en el que está situado el inodoro, y en el caso de cocinas es aquel en el que está situada la zona de cocción; la abertura de paso que conecta con el resto de la vivienda debe estar situada en el local menos contaminado;
 - e) las aberturas de extracción deben conectarse a conductos de extracción y deben disponerse a una distancia del techo menor que 100 mm y a una distancia de cualquier rincón o esquina vertical mayor que 100 mm;
 - f) los conductos de extracción no pueden compartirse con locales de otros usos salvo con los trasteros.
2. Las cocinas, comedores, dormitorios y salas de estar deben disponer de un sistema complementario de ventilación natural. Para ello debe disponerse una ventana exterior practicable o una puerta exterior.
3. Las cocinas deben disponer de un sistema adicional específico de ventilación con extracción mecánica para los vapores y los contaminantes de la cocción. Para ello

debe disponerse un extractor conectado a un conducto de extracción independiente de los de la ventilación general de la vivienda que no puede utilizarse para la extracción de aire de locales de otro uso. Cuando este conducto sea compartido por varios extractores, cada uno de éstos debe estar dotado de una válvula automática que mantenga abierta su conexión con el conducto sólo cuando esté funcionando o de cualquier otro sistema antirrevoco.

Figura 10: Ejemplos de ventilación en el interior de las viviendas



3.2 Condiciones particulares de los elementos

3.2.1 Aberturas y bocas de ventilación

1. Las aberturas de admisión que comunican el local directamente con el exterior, las mixtas y las bocas de toma deben estar en contacto con un espacio exterior suficientemente grande para permitir que en su planta pueda situarse un círculo cuyo diámetro sea igual a un tercio de la altura del cerramiento más bajo de los que lo delimitan y no menor que 3 m, de tal modo que ningún punto de dicho cerramiento resulte interior al círculo y que cuando las aberturas estén situadas en un retranqueo, el ancho de éste cumpla las siguientes condiciones:

- a) sea igual o mayor que 3 m cuando la profundidad del retranqueo esté comprendida entre 1,5 y 3 m;
 - b) sea igual o mayor que la profundidad cuando ésta sea mayor o igual que 3 m.
2. Pueden utilizarse como abertura de paso un aireador o la holgura existente entre las hojas de las puertas y el suelo.
 3. Las aberturas de ventilación en contacto con el exterior deben disponerse de tal forma que se evite la entrada de agua de lluvia o estar dotadas de elementos adecuados para el mismo fin.
 4. Las bocas de expulsión deben situarse separadas 3 m como mínimo, de cualquier elemento de entrada de ventilación (boca de toma, abertura de admisión, puerta exterior y ventana) y de cualquier punto donde pueda haber personas de forma habitual.
 5. Las bocas de expulsión deben disponer de malla antipájaros u otros elementos similares.
 6. En el caso de ventilación híbrida, la boca de expulsión debe ubicarse en la cubierta del edificio a una altura sobre ella de 1 m como mínimo y debe superar las siguientes alturas en función de su emplazamiento (véanse los ejemplos de la figura 12):
 - a) la altura de cualquier obstáculo que esté a una distancia comprendida entre 2 y 10 m;
 - b) 1,3 veces la altura de cualquier obstáculo que esté a una distancia menor o igual que 2 m;
 - c) 2 m en cubiertas transitables.

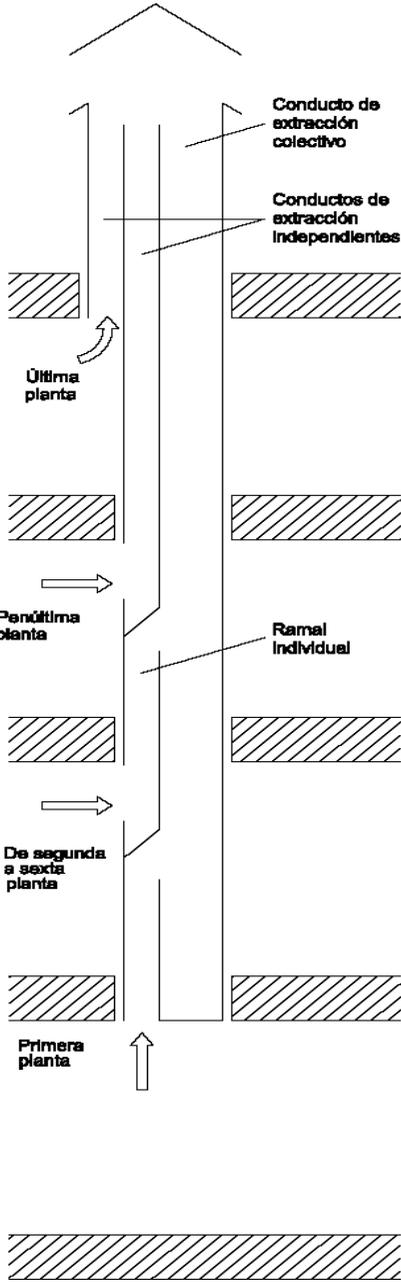
3.2.2 Conductos de admisión

1. Los conductos deben tener sección uniforme y carecer de obstáculos en todo su recorrido.
2. Los conductos deben tener un acabado que dificulte su ensuciamiento y deben ser practicables para su registro y limpieza cada 10 m como máximo en todo su recorrido.

3.2.3 Conductos de extracción para ventilación híbrida

1. Cada conducto de extracción debe disponer en la boca de expulsión de un aspirador híbrido.
2. Los conductos deben ser verticales.
3. Si los conductos son colectivos no deben servir a más de 6 plantas. Los conductos de las dos últimas plantas deben ser individuales. La conexión de las aberturas de extracción con los conductos colectivos debe hacerse a través de ramales verticales cada uno de los cuales debe desembocar en el conducto inmediatamente por debajo del ramal siguiente (véase el ejemplo de la figura 11).
4. Los conductos deben tener sección uniforme y carecer de obstáculos en todo su recorrido.
5. Los conductos que atraviesen elementos separadores de sectores de incendio deben cumplir las condiciones de resistencia a fuego del apartado 3 de la sección SI1.
6. Los conductos deben tener un acabado que dificulte su ensuciamiento y deben ser practicables para su registro y limpieza en la coronación y en el arranque.
7. Los conductos deben ser estancos al aire para su presión de dimensionado.

Figura 11: Ejemplo de conducto de extracción para ventilación híbrida con conducto colectivo



3.2.4 Conductos de extracción para ventilación mecánica

1. Cada conducto de extracción, salvo los de la ventilación específica de las cocinas, debe disponer en la boca de expulsión de un aspirador mecánico, pudiendo varios conductos de extracción compartir un mismo aspirador mecánico (véanse los ejemplos de la figura 13).

Figura 12: Ejemplos de altura libre de la boca de expulsión sobre la cubierta

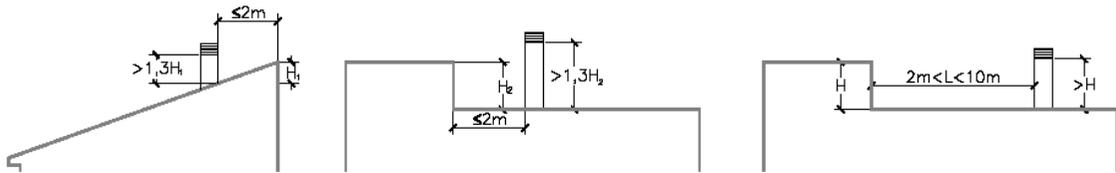
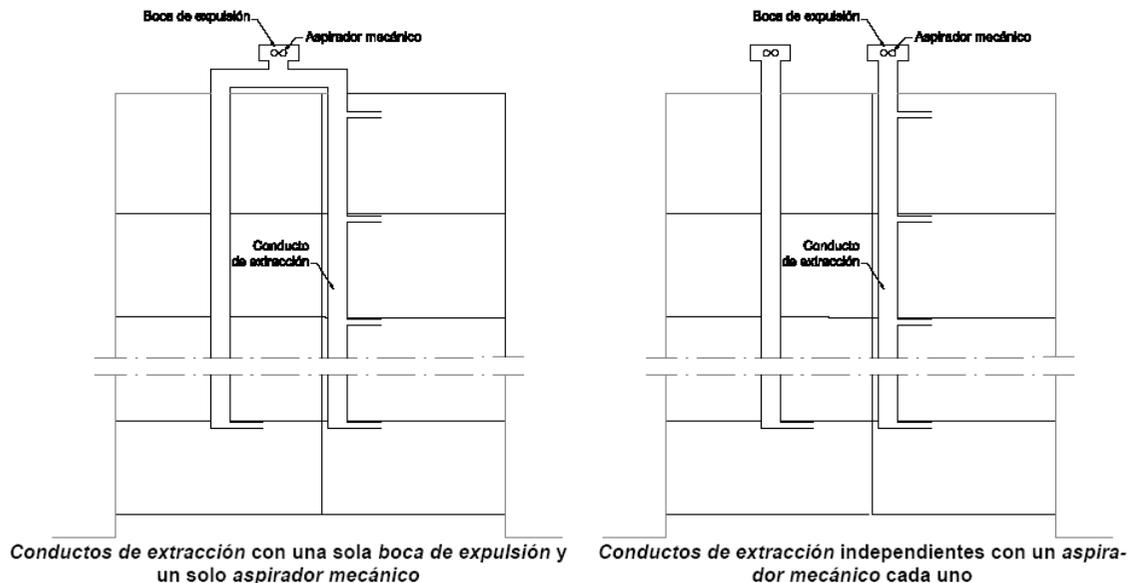


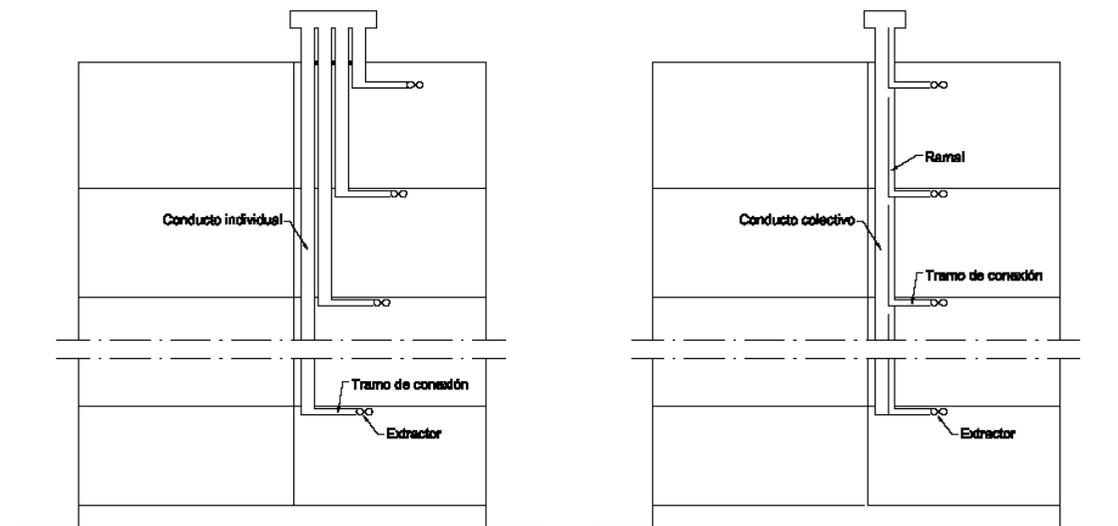
Figura 13: Ejemplos de disposición de aspiradores mecánicos



2. Los conductos deben ser verticales. Se exceptúan de dicha condición los tramos de conexión de las aberturas de extracción con los conductos o ramales correspondientes.
3. La sección de cada tramo del conducto comprendido entre dos puntos consecutivos con aporte o salida de aire debe ser uniforme.

4. Los conductos deben tener un acabado que dificulte su ensuciamiento y ser practicables para su registro y limpieza en la coronación y en el arranque de los tramos verticales.
5. Cuando se prevea que en las paredes de los conductos pueda alcanzarse la temperatura de rocío éstos deben aislarse térmicamente de tal forma que se evite que se produzcan condensaciones.
6. Los conductos que atraviesen elementos separadores de sectores de incendio deben cumplir las condiciones de resistencia a fuego del apartado 3 de la sección S11.
7. Los conductos deben ser estancos al aire para su presión de dimensionado.
8. Cuando el conducto para la ventilación específica adicional de las cocinas sea colectivo, cada extractor debe conectarse al mismo mediante un ramal que debe desembocar en el conducto de extracción inmediatamente por debajo del ramal siguiente (véanse los ejemplos de la figura 14).

Figura 14: Ejemplos de conductos para la ventilación específica adicional de las cocinas



3.2.5 Aspiradores híbridos, aspiradores mecánicos y extractores

1. Los aspiradores mecánicos y los aspiradores híbridos deben disponerse en un lugar accesible para realizar su limpieza.
2. Previo a los extractores de las cocinas debe disponerse un filtro de grasas y aceites dotado de un dispositivo que indique cuando debe reemplazarse o limpiarse dicho filtro.
3. Debe disponerse un sistema automático que actúe de tal forma que todos los aspiradores híbridos y mecánicos de cada vivienda funcionen simultáneamente o adoptar cualquier otra solución que impida la inversión del desplazamiento del aire en todos los puntos.

3.2.6 Ventanas y puertas exteriores

1. Las ventanas y puertas exteriores que se dispongan para la ventilación natural complementaria deben estar en contacto con un espacio que tenga las mismas características que el exigido para las aberturas de admisión.

4 Dimensionado

4.1 Aberturas de ventilación

1. El área efectiva total de las aberturas de ventilación de cada local debe ser como mínimo la mayor de las que se obtienen mediante las fórmulas que figuran en la tabla 11.

Tabla 11: Área efectiva de las aberturas de ventilación de un local en cm²

Aberturas de ventilación	Área efectiva
Aberturas de admisión ⁽¹⁾	$4 \cdot q_v$ ó $4 \cdot q_{va}$
Aberturas de extracción	$4 \cdot q_v$ ó $4 \cdot q_{ve}$
Aberturas de paso	70 cm ² ó $8 \cdot q_{vp}$
Aberturas mixtas ⁽²⁾	$8 \cdot q_v$

(1) Cuando se trate de una *abertura de admisión* constituida por una *apertura fija*, la dimensión que se obtenga de la tabla no podrá excederse en más de un 10%.

(2) El *área efectiva* total de las *aberturas mixtas* de cada zona opuesta de fachada y de la zona equidistante debe ser como mínimo el área total exigida.

siendo

q_v : caudal de ventilación mínimo exigido del local [l/s], obtenido de la tabla 10.

q_{va} : caudal de ventilación correspondiente a cada abertura de admisión del local calculado por un procedimiento de equilibrado de caudales de admisión y de extracción y con una hipótesis de circulación del aire según la distribución de los locales, [l/s].

q_{ve} : caudal de ventilación correspondiente a cada abertura de extracción del local calculado por un procedimiento de equilibrado de caudales de admisión y de extracción y con una hipótesis de circulación del aire según la distribución de los locales, [l/s].

q_{vp} : caudal de ventilación correspondiente a cada abertura de paso del local calculado por un procedimiento de equilibrado de caudales de admisión y de extracción y con una hipótesis de circulación del aire según la distribución de los locales, [l/s].

4.2 Conductos de extracción

4.2.1 Conductos de extracción para ventilación híbrida

1. La sección de los conductos de extracción debe ser como mínimo la obtenida de la tabla 12 en función del caudal de aire en el tramo del conducto y de la clase del tiro que se determinarán de la siguiente forma:
 - a) el caudal de aire en el tramo del conducto [l/s], q_{vt} , que es igual a la suma de todos los caudales que pasan por las aberturas de extracción que vierten al tramo;
 - b) la clase del tiro se obtiene en la tabla 13 en función del número de plantas existentes entre la más baja que vierte al conducto y la última, ambas incluidas, y de la zona térmica en la que se sitúa el edificio.

Tabla 12: Secciones del conducto de extracción en cm²

Caudal de aire en el tramo del conducto en l/s	Clase de tiro			
	T-1	T-2	T-3	T-4
$q_{vt} \leq 100$	1 x 225	1 x 400	1 x 625	1 x 625
$100 < q_{vt} \leq 300$	1 x 400	1 x 625	1 x 625	1 x 900
$300 < q_{vt} \leq 500$	1 x 625	1 x 900	1 x 900	2 x 900
$500 < q_{vt} \leq 750$	1 x 625	1 x 900	1 x 900 + 1 x 625	3 x 900
$750 < q_{vt} \leq 1000$	1 x 900	1 x 900 + 1 x 625	2 x 900	3 x 900 + 1 x 625

Tabla 13: Clases de tiro

Nº de plantas	Zona térmica			
	W	X	Y	Z
1				T-4
2				T-4
3			T-3	
4		T-2		
5				
6				
7		T-1		T-2
≥8				

Zona térmica: zona geográfica que engloba todos los puntos en los que la temperatura media anual, T_m , está comprendida dentro del mismo intervalo de los siguientes:

zona W: $T_m \leq 14^\circ\text{C}$

zona X: $14^\circ\text{C} < T_m \leq 16^\circ\text{C}$

zona Y: $16^\circ\text{C} < T_m \leq 18^\circ\text{C}$

zona Z: $18^\circ\text{C} < T_m$

- La sección de cada ramal debe ser, como mínimo, igual a la mitad de la del conducto colectivo al que vierte.

4.2.2 Conductos de extracción para ventilación mecánica

- Cuando los conductos se dispongan contiguos a un local habitable, salvo que estén en la cubierta, para que el nivel sonoro continuo equivalente estandarizado ponderado producido por la instalación no supere 30 dBA, la sección nominal de

cada tramo del conducto de extracción debe ser como mínimo igual a la obtenida mediante la ecuación 2 o cualquiera otra solución que proporcione el mismo efecto

$$S \geq 2,5 \cdot q_{vt} \quad (2)$$

siendo

q_{vt} el caudal de aire en el tramo del conducto [l/s], que es igual a la suma de todos los caudales que pasan por las aberturas de extracción que vierten al tramo.

2. Cuando los conductos se dispongan en la cubierta, la sección debe ser como mínimo igual a la obtenida mediante la ecuación

$$S \geq 1,5 \cdot q_{vt} \quad (3)$$

4.3 Aspiradores híbridos, aspiradores mecánicos y extractores

1. Deben dimensionarse de acuerdo con el caudal extraído y para una depresión suficiente para contrarrestar las pérdidas de presión previstas del sistema.
2. Los extractores deben dimensionarse de acuerdo con el caudal mínimo para cada cocina indicado en la tabla 10 para la ventilación adicional de las mismas.

4.4 Ventanas y puertas exteriores

1. La superficie total practicable de las ventanas y puertas exteriores de cada local debe ser como mínimo un veinteavo de la superficie útil del mismo.

4.4.2. Estados Unidos

- **ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007 - *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* (Ventilación para una Calidad Aceptable de Aire Interior)**

Esta norma o estándar pertenece al *American National Standards Institute* (ANSI) y fue desarrollada por la *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE).

El propósito de este estándar es especificar las tasas mínimas de ventilación y otras medidas orientadas a proveer una calidad de aire interior (IAQ) que sea aceptable para los ocupantes humanos y que minimice efectos adversos de salud.

Además este estándar pretende ser de aplicación reguladora para edificios nuevos y remodelaciones de edificios existentes; también pretende ser usado para mejorar la calidad de aire interior en edificios existentes.

Este estándar se aplica a todos los espacios considerados para ocupación humana excepto para aquellas casas unifamiliares, estructuras multifamiliares de tres o menos pisos sobre el nivel del piso, vehículos y aviones. El estándar define requerimientos para diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas de ventilación y de limpieza de aire.

A continuación se citan los puntos más importantes de esta norma:

5. SISTEMAS Y EQUIPOS

5.1 Ventilación Natural. El uso de sistemas de ventilación natural diseñados de acuerdo a esta sección será permitido en lugar de o conjuntamente con sistemas de ventilación mecánica.

5.1.1 Ubicación y Tamaño de Aberturas. Los espacios naturalmente ventilados estarán dentro de 8 m de aberturas de pared o techo operables al aire libre y permanentemente abiertos al área de abertura, el cual es mínimo el 4 % de la superficie de suelo neta. En los locales interiores sin aberturas directas al exterior que son ventilados a través de locales adjuntos, la abertura entre estos locales estará permanentemente sin obstrucciones y tendrá un área libre no menor que el 8% del área del local o no menor a 2,3 m².

5.3 Ubicación del Conducto de Extracción. Los conductos de extracción que transportan contaminantes potencialmente nocivos serán presurizados negativamente en relación con espacios por los cuales ellos pasan, de modo que el aire de extracción no pueda escaparse hacia espacios ocupados; conductos de suministro, de retorno, o de aire exterior.

5.6 Tomas de Aire Exterior. Tomas de aire exterior de sistemas de ventilación serán diseñadas de acuerdo a lo siguiente.

5.6.1 Ubicación. Tomas de aire exterior, incluyendo puertas y ventanas que se requieren como parte de un sistema de ventilación natural, serán localizadas tal que la distancia más corta de la entrada a cualquier fuente específica de contaminante exterior será igual o mayor que la distancia de separación catalogada en la tabla 14.

Tabla 14: Distancia de separación mínima para toma de aire

Objeto	Distancia mínima, m
Extracción de aire significativamente contaminado	5
Extracción de aire nocivo o peligroso	10
Respiraderos, chimeneas y tiros de aparatos y equipos de combustión	5
Entrada de garaje, área de carga para automóvil o filas de autos	5
Camino de entrada, calle o estacionamiento	1,5
Calle con alto volumen de tráfico	7,5
Área de almacenaje y recojo de basura, contenedores	5
Entrada o cuenca de torre de refrigeración	5
Salida de aire de torre de refrigeración	7,5

También se debe evitar el ingreso de lluvia, nieve y pájaros.

6. Procedimientos

Esta sección no es obligatoria para sistemas de ventilación natural; sistemas de ventilación natural serán diseñados de acuerdo a la sección 5.1.

6.1 General. El Procedimiento de Tasa de Ventilación o el Procedimiento de IAQ serán usados para diseñar cada sistema de ventilación en un edificio, sujetos a las siguientes consideraciones y restricciones.

6.1.1 Procedimiento de Tasa de Ventilación. Éste es un procedimiento establecido en el que las tasas de tomas de aire exterior son determinadas basadas en tipo/aplicación de locales, nivel de ocupación y área de piso.

Nota: Las tasas mínimas del Procedimiento de Tasa de Ventilación están basadas en fuentes de contaminante y fuerzas de la fuente, típicas para cada tipo de local.

6.1.2 Procedimiento IAQ. Este es un procedimiento de diseño en el que las tasas de tomas de aire exterior y otros parámetros de diseño de sistema están basados en un análisis de fuentes de contaminación, blancos de concentración de contaminante y blancos de aceptabilidad percibidos.

6.2 Procedimiento de Tasa de Ventilación. El flujo de diseño de toma de aire exterior (V_{ot}) para un sistema de ventilación será determinado de acuerdo a las secciones 6.2.1 a 6.2.9.

6.2.1 Tratamiento del Aire Exterior. Si el aire exterior es inaceptable, es decir, se excede en valores de material particulado, ozono y otros contaminantes se deben usar filtros en la toma de aire exterior.

6.2.2 Cálculos de Zona. Los parámetros de las zonas serán determinados de acuerdo a las secciones 6.2.2.1 a 6.2.2.3.

6.2.2.1 Flujo de Aire Exterior en la Zona de Respiración. El flujo de aire de diseño requerido en la zona de respiración del espacio ocupable o espacios en una zona (V_{bz}) será determinado de acuerdo a la ecuación 4.

$$V_{bz} = R_p \cdot P_z + R_a \cdot A_z \quad (4)$$

Donde

A_z = área de piso de la zona: el área neta ocupable de la zona m²

P_z = población de la zona: el mayor número de personas esperado a ocupar la zona durante su uso típico.

R_p = tasa de flujo de aire exterior requerida por persona como se determina en la tabla 15

R_a = tasa de flujo de aire exterior requerida por unidad de área como se determina en la tabla 15

6.2.2.2 Efectividad de Distribución de Aire en la Zona. La efectividad de distribución de aire en la zona (E_z) será determinada usando la tabla 16.

6.2.2.3 Flujo de Aire Exterior en la Zona. El flujo de aire exterior en la zona (V_{oz}) de diseño, es decir, el flujo de aire exterior que debe ser provisto a la zona por el suministro del sistema de distribución de aire, será determinado de acuerdo a la ecuación 5.

$$V_{oz} = V_{bz}/E_z \quad (5)$$

Tabla 15: Tasas de ventilación mínimas en zona de respiración

Clase de Ocupación	Tasa de Aire Exterior por Persona	Tasa de Aire Exterior por Área	Notas	Valores por defecto	
	R_p	R_a		Densidad de ocupante (ver Nota 4)	Tasa de aire exterior combinada (ver Nota 5)
	L/s·persona	L/s·m ²		#/100 m ²	L/s·persona
Hoteles, Moteles, Resorts, Residencias					
Dormitorio/sala de estar	2,5	0,3		10	5,5
Lavanderías en viviendas	2,5	0,6		10	8,5
Vestíbulos	3,8	0,3		30	4,8
Residencial					
Vivienda	2,5	0,3	F,G	F	

NOTAS GENERALES PARA LA TABLA 15

2 Tabaco: Esta tabla se aplica para áreas de no-fumadores. Tasas para espacios donde es permitido fumar deben determinarse usando otros métodos. Ver sección 6.2.9 para exigencias de ventilación en áreas de fumadores.

4 Densidad de ocupante por defecto: la densidad de ocupante por defecto será usada cuando la densidad de ocupante actual sea desconocida.

5 Tasa de aire exterior combinada por defecto (por persona): Esta tasa está basada en la densidad de ocupante por defecto.

NOTAS ESPECÍFICAS PARA LA TABLA 15

F La ocupación por defecto para viviendas será de dos personas para el estudio y unidades de una habitación, con una persona adicional por cada dormitorio adicional.

G El aire de una vivienda residencial no será recirculado o transferido a ningún otro espacio fuera de esa vivienda.

Tabla 16: Efectividad de distribución de aire en la zona

Configuración de distribución de aire	E_z
Suministro desde el techo de aire frío.	1,0
Suministro desde el techo de aire caliente y retorno por el piso.	1,0
Suministro desde el techo de aire caliente a 8°C o más sobre la temperatura ambiente y retorno por el techo.	0,8
Suministro desde el techo de aire caliente a menos de 8°C sobre la temperatura ambiente y retorno por el techo siempre que el aire suministrado a 8 m/s llegue dentro de 1,4 m sobre el nivel del piso. Nota: Para velocidades de aire suministrado menores, $E_z = 0,8$.	1,0
Suministro desde el piso de aire frío y retorno por el techo siempre que el aire suministrado a 8 m/s alcance 1,4 m o más sobre el piso.	1,0
Suministro desde el piso de aire frío y retorno por el techo siempre que la ventilación de desplazamiento de baja velocidad alcance flujo unidireccional y estratificación térmica.	1,2
Suministro desde el piso de aire caliente y retorno por el piso.	1,0
Suministro desde el piso de aire caliente y retorno por el techo.	0,7
Suministro de maquillaje involucrado en el lado opuesto de la extracción y/o el retorno.	0,8
Suministro de maquillaje involucrado cerca de la ubicación de extracción y/o retorno.	0,5

1. "Aire frío" es un aire de temperatura menor que la del ambiente.
2. "Aire caliente" es un aire de temperatura mayor a la del ambiente.
3. "Techo" incluye cualquier punto sobre la zona de respiración.
4. "Piso" incluye cualquier punto bajo la zona de respiración.

6.2.3 Sistemas Uni-Zona. Cuando un controlador de aire suministra una mezcla de aire exterior y aire recirculado a solo una zona, el flujo de toma de aire exterior (V_{ot}) será determinado de acuerdo a la ecuación 6.

$$V_{ot} = V_{oz} \quad (6)$$

6.2.4 Sistemas 100% Aire Exterior. Cuando un controlador de aire suministra solo aire exterior a una o más zonas, el flujo de toma de aire exterior (V_{ot}) será determinado de acuerdo a la ecuación 7.

$$V_{ot} = \sum_{todas\ las\ zonas} V_{oz} \quad (7)$$

6.2.5 Sistemas de Recirculación Multi-Zona. Cuando un controlador de aire suministra una mezcla de aire exterior y aire de retorno recirculado a más de una zona, el flujo de toma de aire exterior (V_{ot}) será determinado de acuerdo a las secciones 6.2.5.1 a 6.2.5.4.

6.2.5.1 Fracción de Aire Exterior Primaria. Cuando se usa la tabla 17 para determinar la eficiencia de ventilación del sistema, la fracción de aire exterior primaria (Z_p) será determinado de acuerdo a la ecuación 8.

$$Z_p = V_{oz}/V_{pz} \quad (8)$$

Donde V_{pz} es el flujo de aire primario en la zona, es decir, el flujo de aire primario a la zona desde el controlador de aire incluyendo aire exterior y aire de retorno recirculado.

6.2.5.2 Eficiencia de Ventilación del Sistema. La eficiencia de ventilación del sistema (E_v) será determinada usando la tabla 17.

6.2.5.3 Toma de Aire Exterior No-correctada. La toma de aire exterior no-correctada (V_{ou}) de diseño será determinada de acuerdo a la ecuación 9.

$$V_{ou} = D \sum_{todas\ las\ zonas} (R_p \cdot P_z) + \sum_{todas\ las\ zonas} (R_a \cdot A_z) \quad (9)$$

La diversidad de ocupante, D, puede ser usada para dar cuenta de variaciones de ocupación dentro de las zonas servidas por el sistema. La diversidad de ocupación es definida como

$$D = P_s / \sum_{todas\ las\ zonas} P_z \quad (10)$$

Donde la población del sistema (P_s) es la población total en el área servida por el sistema. Métodos alternativos pueden ser usados para dar cuenta de diversidad de población al calcular V_{ou} , siempre que el valor resultante no sea menor que el determinado por la ecuación 9.

6.2.5.4 Toma de Aire Exterior. El flujo de aire exterior (V_{ot}) de diseño será determinado de acuerdo a la ecuación 11.

$$V_{ot} = V_{ou} / E_v \quad (11)$$

Tabla 17: Eficiencia de ventilación del sistema

Max (Z_p)	E_v
≤0,15	1,0
≤0,25	0,9
≤0,35	0,8
≤0,45	0,7
≤0,55	0,6
>0,55	Usar Apéndice A

1. "Max Z_p " se refiere al mayor valor de Z_p , calculado usando la ecuación 8, entre todas las zonas servidas por el sistema.
2. Para valores entre 0,15 y 0,55, se puede determinar el valor correspondiente de E_v interpolando los valores de la tabla.

6.2.8 Ventilación de Extracción. El flujo de aire de extracción será proporcionado de acuerdo a las exigencias de la tabla 18. El aire de maquillaje de extracción puede ser cualquier combinación de aire exterior, aire recirculado y aire de transferencia.

6.2.9 Ventilación en Áreas de Fumadores. Las áreas de fumadores tendrán más ventilación y/o limpieza de aire que las áreas de no-fumadores comparables. Exigencias de tasas de ventilación específicas no pueden estar decididas hasta que autoridades correspondientes determinen la concentración de humo que alcanza un aceptable nivel de riesgo.

Tabla 18: Tasas de extracción mínimas

Clase de Ocupación	Tasa de Extracción, L/s-unidad	Tasa de Extracción, L/s.m ²	Notas
Cocinas pequeñas	-	1,5	
Cocinas residenciales	25/50	-	G
Baños privados	12,5/25	-	E

NOTAS

E La tasa es para un cuarto de baño destinado a ser ocupado por una persona a la vez. Para una operación de sistema continua durante horas normales de uso, usar la tasa menor. De lo contrario usar la tasa mayor.

G Para una operación de sistema continua durante horas normales de uso, usar la tasa menor. De lo contrario usar la tasa mayor.

6.3 Procedimiento de Calidad de Aire Interior (IAQ). El Procedimiento de Calidad de Aire Interior (IAQ) es un acercamiento de diseño a base de funcionamiento en el que el edificio y su sistema de ventilación son diseñados para mantener las concentraciones de contaminantes específicos en o bajo ciertos límites identificados durante el diseño del edificio y para alcanzar el nivel objetivo de diseño de aceptabilidad de calidad del aire interior percibida por los ocupantes del edificio. Para el propósito de este procedimiento, la calidad aceptable de aire interior percibida excluye insatisfacción relacionada al confort térmico, ruido y vibración, iluminación, y estrés psicológico.

Este procedimiento se basa en los contaminantes, sus fuentes y concentraciones, y como se es percibida la calidad del aire interior para los Estados Unidos.

Posteriormente se habla de Construcción e Inicio del Sistema, Operación y Mantenimiento.

CAPITULO 5

MEDICIONES DE CAUDALES

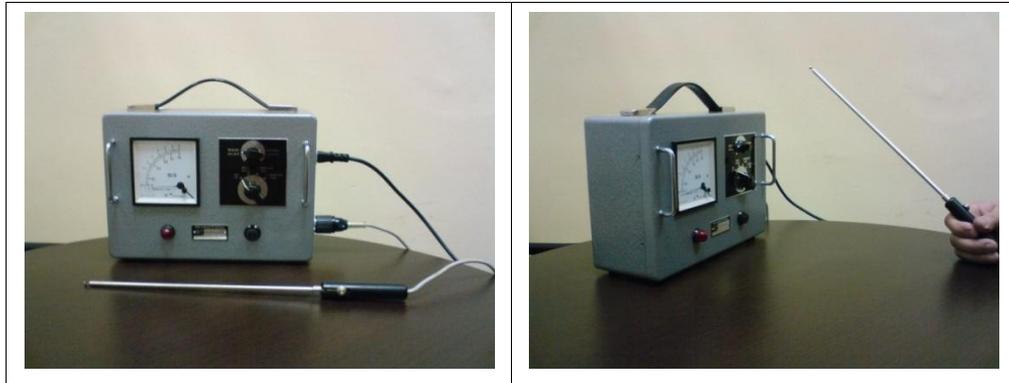
En este capítulo se desarrolla la parte experimental del presente trabajo. Ésta consiste en la medición de las infiltraciones que ocurren al interior de un departamento y la extracción del aire al interior del baño.

Las mediciones consistieron en registrar la velocidad del viento que ingresa a un local a través de las rendijas y juntas de puertas y ventanas, mediante un anemómetro térmico. Las infiltraciones se calculan para el living-comedor y el dormitorio principal. También se midió, con el mismo instrumento, la velocidad con la cual sale el aire por la rejilla de extracción del baño.

5.1. Descripción del equipo

El equipo utilizado para realizar las mediciones del flujo de aire que se infiltra por los intersticios de puertas y ventanas fue un anemómetro térmico. El instrumento consiste en una caja que permite visualizar la velocidad del flujo y regular la escala de medición. A un extremo de esta caja y mediante un cable está conectada una varilla con un filamento caliente. Este filamento consiste en un hilo calentado eléctricamente: la acción del viento tiene por efecto enfriarlo y hace variar así su resistencia; por consiguiente, la corriente que atraviesa el hilo es proporcional a la velocidad del viento.

Figura 15: Anemómetro térmico



5.2. Condiciones ambientales

Las mediciones se realizaron en el mes de junio de 2009, con una temperatura promedio exterior de 9°C y una temperatura interior, en la sala y el dormitorio, de 16°C.

5.3. Características del edificio

El departamento donde se tomaron las mediciones se encuentra en el quinto piso de un edificio ubicado en la comuna de Providencia, Santiago. Es un departamento de vivienda, ocupado por tres personas.

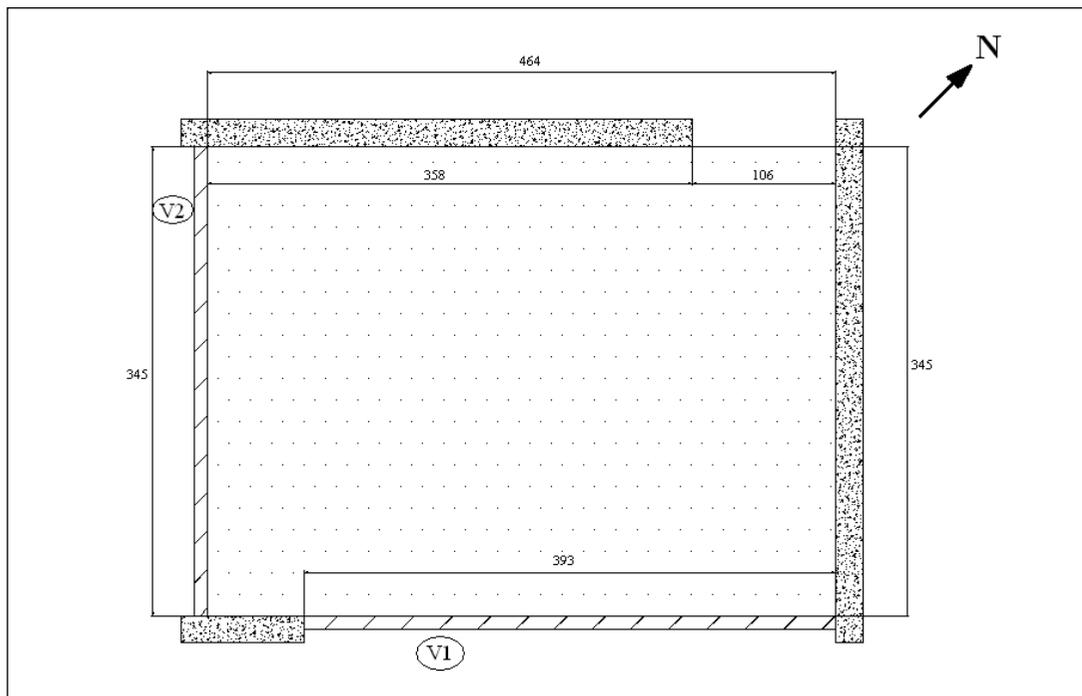
En cuanto a su orientación, el edificio tiene vistas hacia el sureste y hacia el suroeste. El lado sureste, que da a la calle, no presenta edificación que impida el ingreso de luz, que dé sombra, ni que impida la entrada del viento. Por su parte, el lado suroeste consta con un edificio vecino de iguales características, a aproximadamente 20 metros. Este edificio disminuye la acción del viento directo que viene desde esa dirección, pero no produce sombra sobre el departamento.

El departamento consta de un dormitorio principal con baño, que es ocupado por dos personas; un dormitorio simple, un baño de visitas; un living-comedor, una terraza, una cocina y un pequeño cuarto de servicios.

Las mediciones se realizaron en la sala o living-comedor, el dormitorio principal y el baño principal, cuyas dimensiones y características se pueden observar en las siguientes figuras. A continuación se describen cada uno de los tres locales y la disposición de puertas y ventanas en ellos.

- Sala

Figura 16: Planta de la sala. (Dimensiones en cm)



Altura de suelo a techo : 2,35 m
Volumen interior : 37,62 m³

La sala cuenta con dos ventanales, señaladas como V1 y V2, que son ventanas de aluminio tipo corredera (deslizantes de guía horizontal), sin burletes. Ambas cuentan con 3 hojas, las 2 de los extremos son fijas y la del centro es móvil. Las dimensiones (alto x ancho) son:

V1 : 2,35 x 3,93 m

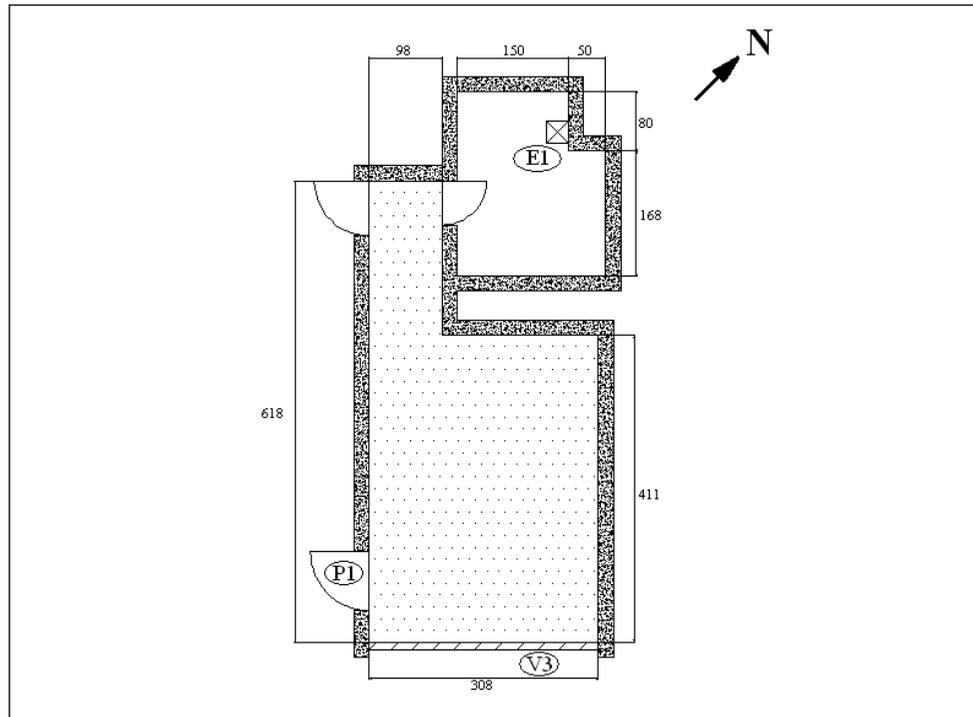
V2 : 1,85 x 3,45 m

Figura 17: Esquema de ventanas de la sala y numeración de rendijas



- Dormitorio

Figura 18: Planta del dormitorio principal y baño. (Dimensiones en cm)



Altura de suelo a techo : 2,35 m

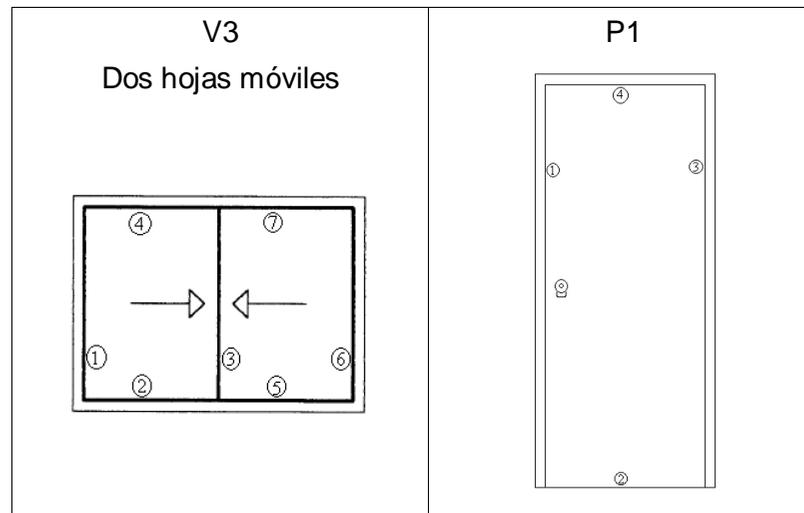
Volumen interior : 34,52 m³

El dormitorio cuenta con un ventanal, V3, de aluminio tipo corredera (deslizantes de guía horizontal), sin burletes. Esta ventana está compuesta por dos hojas, ambas móviles. También posee una puerta que da al exterior, P1, que es de madera con marco metálico. Las dimensiones de estos elementos (alto x ancho) son:

V3 : 1,85 x 3,08 m

P1 : 1,98 x 0,79 m

Figura 19: Esquema de ventana y puerta del dormitorio y numeración de rendijas



- Baño

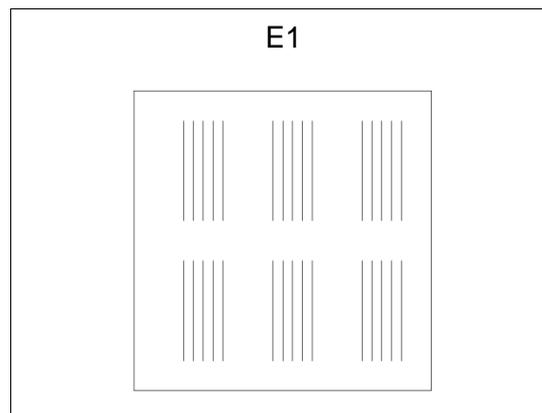
Altura de suelo a techo : 2,18 m

Volumen interior : 9,94 m³

El baño cuenta con una rejilla de extracción, E1 (ver figura 20), que es una placa de dimensión:

E1 : 0,30 x 0,30 m

Figura 20: Esquema de rejilla de extracción del baño



5.4. Cálculos y mediciones

Los cálculos se separan en tres: infiltraciones en la sala, infiltraciones en el dormitorio y extracción en el baño. Los correspondientes a infiltraciones se dividen a su vez en infiltraciones por fórmula, por el método de las rendijas y por el método de las renovaciones (todos según la norma NCh1973) y finalmente se realiza el cálculo con las mediciones del anemómetro, denominado método experimental.

Explicación del método experimental:

Mediante el anemómetro térmico se midió la velocidad con que ingresaba el aire en tres puntos distintos, en cada uno de los lados de las hojas del ventanal. Luego se promediaron estas velocidades para obtener la velocidad con la que ingresa el aire en cada lado de las hojas de la ventana. Adicionalmente se mide el espesor de la rendija en cada punto y la longitud de rendija a considerar. Teniendo la velocidad del flujo y el “área” de rendija se obtiene el caudal de aire que ingresa al recinto.

Finalmente se suman las infiltraciones de todos los elementos del recinto para tener la infiltración real total del recinto.

5.4.1. Infiltraciones en la sala

Fórmula:

- Volumen del local : 37,6 m³
- Masa de vapor de agua (3 personas) : 150 g/h
- Temperatura del aire exterior θ_e : 3°C

Corresponde a la mínima promedio del mes de Junio en Santiago.

- Humedad absoluta del aire exterior H_e : 4,3 g/kg

Se obtiene del diagrama psicrométrico suponiendo una humedad relativa en el exterior de un 90%.

- Temperatura del aire en el local θ_i : 16°C
- Humedad absoluta del aire interior H_{is} : 8,4 g/kg

Se obtiene del diagrama psicrométrico considerando un 75% como la máxima humedad relativa permitida sin que se produzca condensación superficial.

Reemplazando estos valores en la ecuación 1, el número mínimo de renovaciones resulta: $n = 0,8$

Método de las rendijas:

Como la sala posee dos paredes exteriores, entonces la cantidad de aire infiltrado será el total de la pared que tenga mayor infiltración.

Como el tipo de ventana es igual para las dos ventanas existentes en cada una de las paredes exteriores, la mayor infiltración está dada por la mayor longitud de rendija. Por consiguiente, el metro lineal de rendija se rige por la ventana V1 (17,26 m).

Considerando la mínima velocidad del viento en la tabla 8 y como elemento una ventana de guillotina con marco metálico sin burlete se tiene que la infiltración es 1,8 m³/h por metro lineal.

$$\text{Infiltración total} = 1,8 \cdot 17,26 = 31,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Método de las renovaciones:

Según la tabla 9 y como la sala es una habitación con dos lados expuestos al exterior, el número de renovaciones por hora es 1,5.

Método experimental:

Tabla 19: Caudal de infiltración por ventana V1

Nº de Rendija	Velocidades				Rendija			Caudal [m³/h]
	Medidas [m/s]			Promedio [m/s] *	Metro lineal [m]	Espesor [mm]	Área [m²]	
1	0,30	0,30	0,32	0,31	2,00	2,0	0,0040	4,4
2	0,36	0,18	0,30	0,28	1,30	2,0	0,0026	2,6
3	0,28	0,42	0,18	0,29	1,30	10,0	0,0130	13,7
4	0,08	0,14	0,06	0,09	1,60	2,0	0,0032	1,1
5	0,32	0,32	0,34	0,33	1,26	8,0	0,0101	11,9
6	0,15	0,11	0,16	0,14	2,24	1,0	0,0022	1,1
7	0,22	0,32	0,28	0,27	1,26	6,0	0,0076	7,4
8	0,06	0,04	0,03	0,04	1,26	1,0	0,0013	0,2
9	0,02	0,04	0,00	0,02	1,85	2,0	0,0037	0,3
10	0,18	0,26	0,12	0,19	1,26	5,0	0,0063	4,2
Q [m³/h] =								47,0

* m/s · 1/3600 = m/h

Tabla 20: Caudal de infiltración por ventana V2

Nº de Rendija	Velocidades				Rendija			Caudal [m³/h]
	Medidas [m/s]			Promedio [m/s] *	Metro lineal [m]	Espesor [mm]	Área [m²]	
1	0,02	0,04	0,02	0,03	1,55	2,5	0,0039	0,4
2	0,30	0,45	1,10	0,62	1,10	2,5	0,0028	6,1
3	0,07	0,14	0,32	0,18	1,84	1,0	0,0018	1,2
4	0,18	0,20	0,22	0,20	1,10	11,0	0,0121	8,7
5	0,34	0,28	0,18	0,27	1,07	9,0	0,0096	9,2
6	-	0,03	-	0,03	1,05	2,0	0,0021	0,2
7	0,30	0,26	0,46	0,34	1,07	7,0	0,0075	9,2
8	0,04	0,10	0,22	0,12	1,07	1,0	0,0011	0,5
9	0,02	0,02	-	0,02	1,30	1,0	0,0013	0,1
10	0,03	0,03	0,10	0,05	1,07	6,0	0,0064	1,2
Q [m³/h] =								36,8

* m/s · 1/3600 = m/h

$$\text{Infiltración total} = 47,0 + 36,8 = 83,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.4.2. Infiltraciones en el dormitorio

Fórmula:

- Volumen del local : 34,5 m³
- Masa de vapor de agua (2 personas) : 100 g/h
- Temperatura del aire exterior θ_e : 3°C

Corresponde a la mínima promedio del mes de Junio en Santiago.

- Humedad absoluta del aire exterior H_e : 4,3 g/kg

Se obtiene del diagrama psicrométrico suponiendo una humedad relativa en el exterior de un 90%.

- Temperatura del aire en el local θ_i : 16°C
- Humedad absoluta del aire interior H_{is} : 8,4 g/kg

Se obtiene del diagrama psicrométrico considerando un 75% como la máxima humedad relativa permitida sin que se produzca condensación superficial.

Reemplazando estos valores en la ecuación 1, el número mínimo de renovaciones resulta: $n = 0,6$

Método de las rendijas:

Como el dormitorio posee dos paredes exteriores, entonces la cantidad de aire infiltrado será el total de la pared que tenga mayor infiltración.

La ventana V3 tiene una longitud de rendija de 11,71 m y la puerta P1 posee 5,54 m lineal de intersticio.

Considerando la mínima velocidad del viento en la tabla 8 y como elementos una ventana de guillotina con marco metálico sin burlete y una puerta común de madera bien ajustada, se tiene que las infiltraciones son 1,8 m³/h por metro lineal para la ventana y 2,5 m³/h por metro lineal para la puerta.

$$\text{Infiltración total ventana V3} = 1,8 \cdot 11,71 = 21,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Infiltración total puerta P1} = 2,5 \cdot 5,54 = 13,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tomando la mayor:

$$\text{Infiltración total} = 21,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Método de las renovaciones:

Según la tabla 9 y como el dormitorio es una habitación con dos lados expuestos al exterior, el número de renovaciones por hora es 1,5.

Método experimental:

Tabla 21: Caudal de infiltración por ventana V3

Nº de Rendija	Velocidades				Rendija			Caudal [m³/h]
	Medidas [m/s]			Promedio [m/s] *	Metro lineal [m]	Espesor [mm]	Área [m²]	
1	-	-	-	0,00	-	-	-	0,0
2	0,13	0,10	0,12	0,12	1,49	7,0	0,0104	4,4
3	-	-	0,18	0,18	0,04	14,0	0,0005	0,3
4	0,08	0,10	0,08	0,09	1,49	10,0	0,0149	4,6
5	-	0,07	0,09	0,08	1,48	2,0	0,0030	0,9
6	-	-	-	0,00	-	-	-	0,0
7	0,04	0,04	0,06	0,05	1,48	8,0	0,0118	2,0
Q [m³/h] =								12,2

* m/s · 1/3600 = m/h

Tabla 22: Caudal de infiltración por puerta P1

Nº de Rendija	Velocidades				Rendija			Caudal [m³/h]
	Medidas [m/s]			Promedio [m/s] *	Metro lineal [m]	Espesor [mm]	Área [m²]	
1	0,12	0,07	0,10	0,10	1,60	3,0	0,0048	1,7
2	0,02	0,02	0,05	0,03	0,76	1,0	0,0008	0,1
3	-	-	-	0,00	-	-	-	0,0
4	0,16	-	-	0,16	0,03	3,0	0,0001	0,1
Q [m³/h] =								1,8

* m/s · 1/3600 = m/h

$$\text{Infiltración total} = 12,2 + 1,8 = 14,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.4.3. Extracción en el baño

Método experimental:

La rejilla de extracción del baño es una placa de 30x30 cm, que presenta 30 rendijas de dimensión 0,5x10 cm cada una. Esto da como resultado un área total de rendija de 0,015 m².

El aire es extraído con una velocidad promedio de 0,08 m/s medida con el anemómetro térmico.

Entonces el caudal total de aire extraído es 4,3 m³/h.

5.5. Cálculos según normas extranjeras

5.5.1. España

Los caudales de ventilación mínimos exigidos por la norma española se obtienen según la tabla 10 y considerando que $1\text{l/s} = 3,6\text{ m}^3/\text{h}$.

- Sala

Se consideran 3 ocupantes y 3 l/s por ocupante.

$$Q = 3 \cdot 3\text{ l/s} = 9\text{ l/s} = 32,4\text{ m}^3/\text{h}$$

- Dormitorio

Se consideran 2 ocupantes y 5 l/s por ocupante.

$$Q = 2 \cdot 5\text{ l/s} = 10\text{ l/s} = 36,0\text{ m}^3/\text{h}$$

- Baño

Se consideran 15 l/s por local.

$$Q = 15\text{ l/s} = 54,0\text{ m}^3/\text{h}$$

5.5.2. Estados Unidos

La norma estadounidense plantea diferentes exigencias para ventilación natural y ventilación mecánica.

Para la ventilación natural se requiere que los locales no estén a más de 8 metros de una abertura de pared o de techo, requerimiento que cumplen la sala y el dormitorio ya que ningún punto dentro de dichos locales tiene una ventana o una puerta a menos de esa distancia. Luego se exige que las aberturas de un local tengan un tamaño mínimo del 4% del área neta de piso, algo que también cumplen ampliamente los locales analizados, lo cual se puede observar en la tabla 23.

Para la sala se consideró como área de abertura el área de la hoja móvil de las ventanas V1 y V2. Para el dormitorio se consideró el área de una de las hojas móviles de la ventana V3 y el total del área de la puerta P1.

Tabla 23: Área de aberturas de ventilación natural en sala y dormitorio

Local	Área neta de piso, m ²	Área mínima de aberturas, m ²	Área de aberturas, m ²
Sala	16,0	0,6	5,2
Dormitorio	14,7	0,6	4,4

En lo que se refiere a ventilación mecánica no se puede realizar el análisis de los locales en su totalidad, debido a que estos no cuentan con unidades de tratamiento de aire ni ningún aparato de ventilación mecánica. Pero sí se puede llegar a determinar el caudal de flujo de aire en la zona de respiración (V_{bz}), es decir, el caudal mínimo de flujo de aire exterior que tendría que ingresar a los locales. Esto se calcula de acuerdo a la ecuación 4 y utilizando la tabla 15, los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 24: Flujo de aire exterior mínimo para los locales

Local	Tasa de aire exterior		Población de la zona	Área neta de piso	Flujo de aire exterior	
	R_p , L/s.persona	R_a , L/s.m ²			P_z , persona	A_z , m ²
Sala	2,5	0,3	3	16,0	12,3	44,3
Dormitorio	2,5	0,3	2	14,7	9,4	33,9

Para la ventilación de extracción, la cual se requiere en el baño, se utiliza la tasa de extracción que entrega la tabla 18.

Tabla 25: Caudal de extracción en el baño

Local	Tipo de tasa	Tasa de extracción	
		l/s	m ³ /h
Baño	menor	12,5	45
Baño	mayor	25	90

5.6. Resumen de resultados

Tabla 26: Resumen de resultados obtenidos según norma chilena

Método	Sala (V = 37,6 m ³)		Dormitorio (V = 34,5 m ³)		Baño (V = 9,9 m ³)	
	Q [m ³ /h]	n [veces/h]	Q [m ³ /h]	n [veces/h]	Q [m ³ /h]	n [veces/h]
Fórmula	30,4	0,8	20,2	0,6	-	-
M. de las rendijas	31,1	0,8	21,1	0,6	-	-
M. de las renovaciones	56,4	1,5	51,8	1,5	-	-
M. experimental	83,7	2,2	14,0	0,4	4,3	0,4

Tabla 27: Resumen de resultados obtenidos según normas extranjeras

Norma	Sala (V = 37,6 m ³)		Dormitorio (V = 34,5 m ³)		Baño (V = 9,9 m ³)	
	Q [m ³ /h]	n [veces/h]	Q [m ³ /h]	n [veces/h]	Q [m ³ /h]	n [veces/h]
Española	32,4	0,9	36,0	1,0	54,0	5,4
Estadounidense	44,3	1,2	33,9	1,0	45,0	4,5

CAPITULO 6

ANALISIS DE RESULTADOS

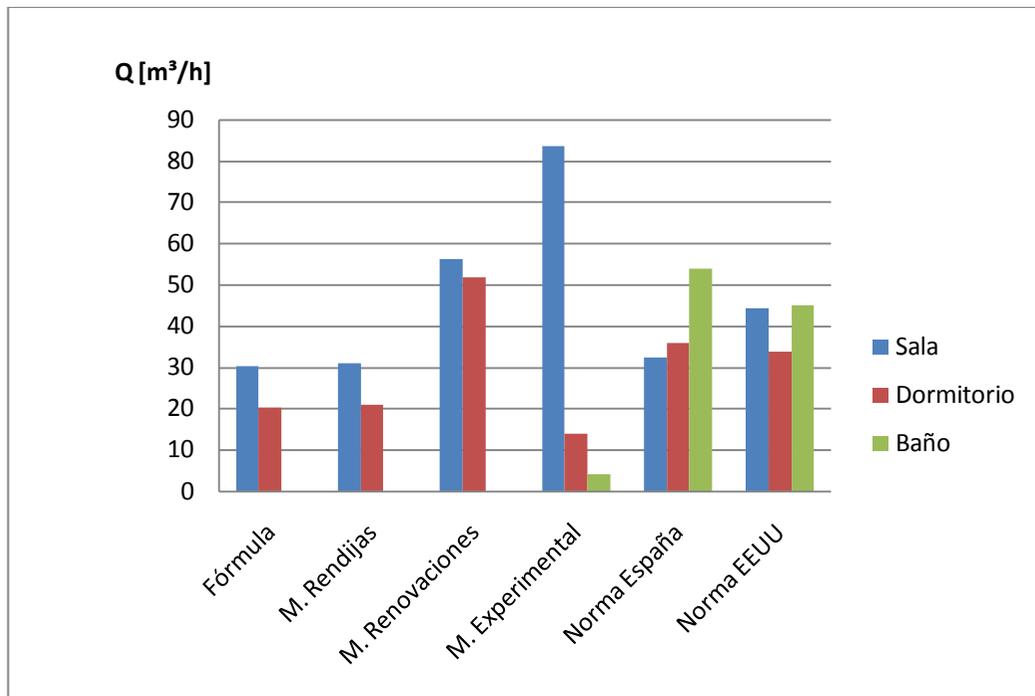
Antes de realizar el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior se analizará primeramente la forma de calcular que exige cada norma.

Los métodos de cálculos de la norma chilena se basan en infiltraciones en los locales, es decir, en ventilación natural. Adicionalmente, el método experimental consiste en mediciones de infiltraciones. Por su parte, la fórmula teórica es la que determina si se requiere implementar algún sistema de ventilación adicional, al entregar el caudal mínimo de renovación.

La norma española exige un sistema general de ventilación para las viviendas, que puede ser de ventilación híbrida o mecánica. Para los locales de la sala y el dormitorio impone caudales mínimos de ventilación por persona que los ocupe, en cambio para el baño impone un caudal mínimo por el tipo de local.

Finalmente la norma estadounidense contempla la ventilación natural y mecánica, que pueden implementarse de manera separada o en conjunto. Pero se da un énfasis en la ventilación mecánica con sistemas completos de tratamiento de aire. Para el cálculo de los caudales mínimos de ventilación esta norma considera los ocupantes y los m² útiles de superficie del local en la sala y el dormitorio; para el baño se basa solamente en el tipo de local.

Figura 21: Comparación de los resultados



En el gráfico comparativo de la figura 21 se observan los caudales de ventilación calculados para cada local. Por un lado se encuentran los caudales mínimos que exige la norma chilena por fórmula, los calculados por los métodos de las rendijas y renovaciones de la norma chilena, los caudales calculados por el método experimental de mediciones y finalmente los caudales exigidos por las normas extranjeras.

Viendo los caudales de ventilación obtenidos por el método de las rendijas se aprecia que son muy parecidos a los de la fórmula teórica y además son mayores que estos. Los caudales del método de las renovaciones son ampliamente mayores que los de la fórmula, debido a que este método es más general y no tan preciso. Como ambos métodos entregan valores superiores a los mínimos, entonces no se tendría que contemplar algún sistema de ventilación adicional en la sala y el dormitorio, ya que con las infiltraciones se estaría renovando de manera suficiente el aire en estos locales.

Pero el método experimental da resultados variados: una ventilación y renovación que supera ampliamente el valor mínimo en la sala, pero que es inferior a lo que exige la norma en el dormitorio. Esta diferencia se puede explicar por varias razones y para ello se analizará cada local en particular.

La sala tiene una disposición poco común ya que cuenta con dos ventanales expuestos al exterior. El edificio, al ser antiguo, consta de estas ventanas muy poco herméticas que poseen grandes rendijas en algunos puntos. Por estas razones es que el caudal de infiltración es exagerado en este local. Por otro lado, el dormitorio tiene una ventana que permite el ingreso de las infiltraciones, de características similares a las otras. El principal motivo para los distintos resultados del método experimental recae en la poca ventilación que presenta la ciudad de Santiago en invierno, con velocidades del aire bajas y cambiantes, y una dirección del viento inestable que hacen que la entrada de aire a los locales sea por tiempos cortos y por lugares distintos. Seguramente hubo más movimiento del aire exterior cuando se realizaron las medidas en la sala que cuando se midió en el dormitorio. También hay que notar que el anemómetro térmico utilizado para las mediciones es bastante sensible a la velocidad del aire y cambios de temperatura, y su lectura no es tan precisa como lo fuera en un instrumento digital. Pero a pesar de estas posibles irregularidades, el caudal del dormitorio podría aumentar en algún momento determinado, lo que no impide afirmar que este local precisa de un sistema o técnica de ventilación adicional para lograr la renovación de aire necesaria.

Para el baño, que no presenta paredes expuestas al exterior, es necesaria la contemplación de un sistema de extracción de aire. El aire en este recinto se extrae de manera natural por el tiro del edificio y a través de la rejilla de extracción. Al haber muy poco viento en la época de invierno se logró una extracción demasiado baja. La norma chilena no presenta exigencias para la extracción de aire en estos recintos, por lo que se analizará con respecto a las normas extranjeras.

Al ver las normas extranjeras en el gráfico de comparación, se aprecia que ambas son más exigentes que la normativa nacional. La norma española le impone un caudal

de ventilación mayor al ocupante de un dormitorio que al ocupante de la sala, es por eso que para este caso de estudio resulta un caudal de ventilación mayor para el dormitorio que para la sala. Para la norma estadounidense, se tienen las mismas tasas de aire exterior para ambos locales y lo que varía son los ocupantes y el área de piso del recinto. Para la sala se consideran más personas por lo que su caudal de ventilación resulta mayor que el del dormitorio. Para el baño, la norma española le exige alrededor de 10 m³/h más que la norma de los Estados Unidos. El caudal obtenido por la medición experimental en el baño es demasiado bajo en comparación con las exigencias extranjeras, por lo que este local necesita la implementación de un dispositivo mecánico que extraiga más aire.

CAPITULO 7

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Se puede afirmar que la ventilación es importante y necesaria por temas de salud, confort y durabilidad del edificio.

En el proceso de diseño de las edificaciones, lo ideal es aplicar ciertas normas y criterios que permitan conseguir los objetivos de ventilación, aprovechando al máximo la ventilación natural y complementarlo con unidades de tratamiento de aire que produzcan renovaciones y acondicionamiento de aire.

La humedad por condensación es un tema de mucha importancia durante los meses fríos y la solución a este problema pasa por utilizar soluciones constructivas que ofrezcan una importante resistencia térmica al paso del calor en las edificaciones y controlar los niveles de vapor de agua mediante ventilación.

Otro factor importante a considerar también es la contaminación de las ciudades, que se producen por la producción de contaminantes y se agudizan en el caso de Santiago debido a la estanqueidad geográfica y los escasos vientos. Esto hace aconsejable contemplar sistemas de ventilación mecánicos que permitan el filtrado o control de los contaminantes exteriores y que eliminen, simultáneamente, aquellos que se producen al interior de la vivienda.

En cuanto a la ventilación en sí, es muy recomendable seguir el concepto de hacer ingresar el aire por los cuartos secos (dormitorios, sala de estar, comedor, estudio) y que se complete el barrido de aire con la extracción desde los cuartos húmedos (cocina, baños, cuartos de aseo).

La extracción de aire localizada para cuartos de baño y cocinas es primordial para expulsar el aire contaminado y para mantener estos recintos y el resto de la vivienda en condiciones aceptables de habitabilidad.

Las técnicas y los sistemas de ventilación descritos en el capítulo 3 pueden funcionar de manera óptima con un diseño eficiente, dependiendo de las distintas características y condiciones de cada proyecto.

Las soluciones de ventilación para edificios nuevos precisan de diseños que aprovechen al máximo la admisión de aire natural y que los dispositivos mecánicos sean diseñados para funcionar con caudales controlados y sean de bajo consumo energético. También se pueden eliminar las entradas de aire en fachadas utilizando sistemas mecánicos de doble flujo, aunque esta es una técnica más costosa. Esto provoca una despreocupación por las condiciones climáticas exteriores, anulando las pérdidas de calor y produciendo ahorros de energía, por tener una admisión de aire mecánica que trata el aire antes de ingresarlo a los locales.

Analizando los resultados de los cálculos y mediciones se confirma que en las viviendas hay recintos que necesitan de un diseño de ventilación, adicional al de puertas y ventanas. Es por esto que se requiere de normativa que dimensione y posicione las aberturas o equipos de ventilación en la vivienda.

En cuanto a las distintas tablas existentes con valores de renovaciones de aire por hora para determinados recintos en una vivienda, se pueden ajustar las renovaciones a los valores recomendados en la siguiente tabla:

Tabla 28: Renovaciones de aire por hora recomendadas

Tipo de local	n
Dormitorios	0,5 – 1
Living, comedor	1 – 2
Baños	5 – 10

Mediante el estudio realizado se detectó la poca y vaga información normativa acerca de la ventilación existente en el país. Se requiere una norma que regule y dé las pautas de diseño para sistemas de ventilación. De esta manera se tendrá una legislación más fundamentada ya que en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones se aborda pobremente el tema de ventilación para confort y salubridad.

La normativa española, a través del documento HS3: Calidad del Aire Interior, es bastante completa y sencilla, determina caudales mínimos de ventilación, dimensiona y posiciona aberturas y conductos de admisión y extracción. Por su parte, el estándar estadounidense del ASHRAE es un poco más complejo y considera equipos completos de acondicionamiento de aire.

Ambas normas son una buena fuente de información desde donde se puede ir creando una norma nacional, adoptando los datos o exigencias que sean aplicables en Chile. La normativa nacional debería permitir dimensionar los sistemas de ventilación de manera de obtener soluciones eficientes, tanto en su funcionamiento como también energética y económicamente.

Pero realizar una sola norma que regule la ventilación de todos los tipos de construcciones en Santiago es bastante complicado y las exigencias podrían no ser lo suficientemente efectivas para algunas edificaciones. Por esta razón es recomendable dividir la norma o realizar distintas normas para cada tipo de edificación.

En primer lugar se recomienda separar, por un lado, las viviendas aisladas o casas individuales y, por otro, las viviendas colectivas o edificios de departamentos.

En cuanto a las casas individuales, la implementación de un sistema de ventilación podría implicar un costo significativo dentro del presupuesto. En este sentido las exigencias tendrían que enfocarse en la ubicación y orientación de la vivienda y la disposición de los recintos a modo de aprovechar al máximo las condiciones ambientales, como ser el soleamiento diario y la dirección de los vientos predominantes. Dentro del diseño se debe incentivar la ventilación cruzada y la extracción de aire por tiro térmico. Se podría ser más exigente en las viviendas más

grandes, es decir, las que tienen mayor superficie construida o las que tienen más de un piso, ya que en ellas se pueden lograr soluciones del tipo mecánicas que sean más eficientes.

Por el lado de las viviendas colectivas habría que buscar la manera de categorizar las construcciones o adjudicarle niveles. Esta categorización de los edificios podría realizarse tomando en cuenta el costo de construcción por m², los tipos de materiales de construcción utilizados, incluso ligarlo con los tipos de permisos municipales del edificio o siguiendo alguna estadística de edificación como la que registra el Instituto Nacional de Estadísticas en conjunto con la Cámara Chilena de la Construcción, por ejemplo. También es importante considerar la altura del edificio y el número de departamentos que disponga por piso, para contabilizar cuántas son las caras expuestas al exterior que posee el departamento.

En los edificios de departamentos se puede exigir sistemas de ventilación y técnicas que incluyan dispositivos mecánicos más costosos, ya que el costo de adquisición, instalación, operación y mantenimiento es asumido por un mayor número de personas. Para edificios de mayor nivel se aconseja la exigencia de sistemas de ventilación simple flujo modulado o sistemas doble flujo autorregulable, que provea a la vivienda de aire frío o caliente cuando sea necesario. A medida que la calidad o la categorización de los edificios vaya disminuyendo, también disminuyen las exigencias y se pedirán sistemas de ventilación híbrida con los mecanismos de ajuste necesarios.

Para los edificios se recomienda seguir las exigencias de la norma española en todo lo que se refiere a conductos de extracción.

Se considera que disponer diferentes exigencias para cada tipo de niveles de viviendas aisladas y de viviendas colectivas es la mejor manera de lograr renovaciones de aire más eficientes en cada una de las construcciones y así lograr viviendas amigables al medio ambiente y con bajo consumo energético.

BIBLIOGRAFIA

Carrier Air Conditioning Company. Manual de aire acondicionado. Marcombo, 1999, España.

Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. MINVU. 2007, Santiago, Chile.

NCh446.Of2000, Arquitectura y construcción - Puertas y ventanas - Terminología y clasificación. 2000, Santiago, Chile.

NCh1079.Of1977, Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. 1977, Santiago, Chile.

NCh1960.Of1989, Aislación térmica - Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas. 1989, Santiago, Chile.

NCh1973.Of1987, Acondicionamiento térmico - Aislación térmica - Cálculo del aislamiento térmico para disminuir o eliminar el riesgo de condensación superficial. 1987, Santiago, Chile.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). 2007, España.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Instrucciones Técnicas Complementarias. España.

Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HS: Salubridad, Exigencia básica HS 3: Calidad del Aire Interior. 2007, España.

NTP 243: Ambientes cerrados: calidad del aire. Notas Técnicas de Prevención, Instituto Nacional de Salud e Higiene en el Trabajo. España.

UNE 100011: 1991. Climatización. La ventilación para una calidad aceptable del aire en la climatización de los locales. 1991, Madrid, España.

Díaz, Victorio S. y Barreneche, Raúl O. Acondicionamiento térmico de los edificios. Nobuko, 2005.

Mermet, Alejandro Gabriel. Ventilación natural de edificios. Fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos. Nobuko, 2005.

Mc Quinston, Parker, Spitler. Calefacción, ventilación y aire acondicionado. Análisis y diseño. Limusa, 2003.

Bower, John. Understanding Ventilation: How to design, select, and install residential ventilation systems. The Healthy House Institute. 1995, Bloomington, IN, USA.

Cámara Chilena de la Construcción (CChC). Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT). Manual técnico. Aislación Térmica Exterior. 2008, Santiago, Chile.

Salvador Escoda S.A. Manual Práctico de Ventilación. Catálogo técnico. 2da Edición, Barcelona, España.

ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2004, Atlanta, GA, USA.

ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2007, Atlanta, GA, USA.

Anabalón Astudillo, Mario Patricio. Pérdidas de energía por infiltraciones de aire en viviendas. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 1999.

Salaverry Ramírez, Marcial Andrés. Inercia térmica: influencia de la masa de muros en el comportamiento térmico de viviendas sociales. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2008.

ALDER Venticontrol. [en línea] <<http://www.alderventicontrol.es/index.htm>>

Aereco [en línea] <<http://aereco.com/int/es/index.php>>

Dirección Meteorológica de Chile. [en línea] <<http://www.meteochile.cl/>>

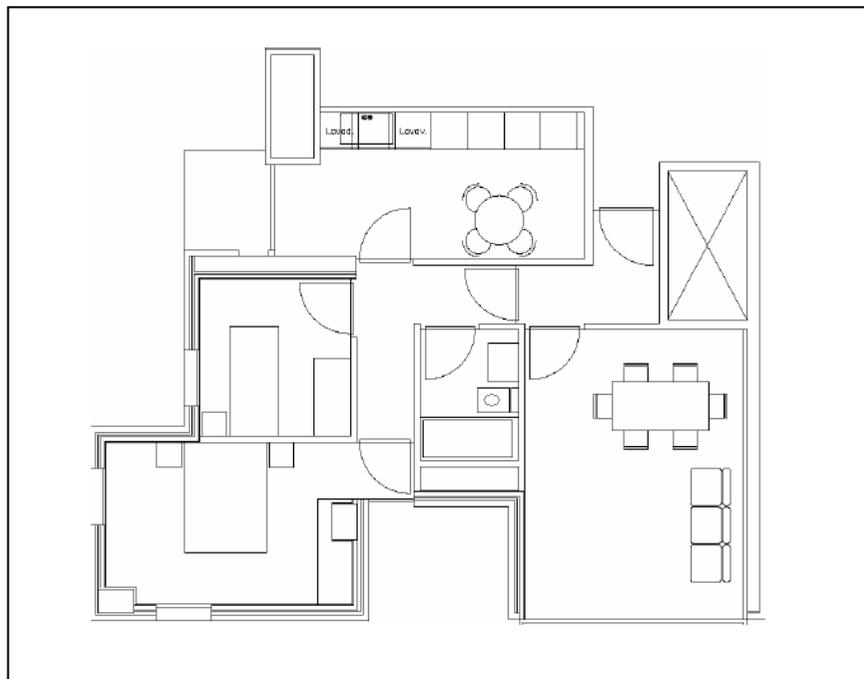
Weather Underground. [en línea]
<<http://www.wunderground.com/global/stations/85574.html?MR=1>>

ANEXO I: Ejemplo de dimensionamiento de aberturas de ventilación según norma española

Datos de la vivienda:

- 1 cocina, 1 baño, 1 dormitorio simple, 1 dormitorio doble
- Cocina de 9 m² sin gas

Figura 1: Planta de la vivienda

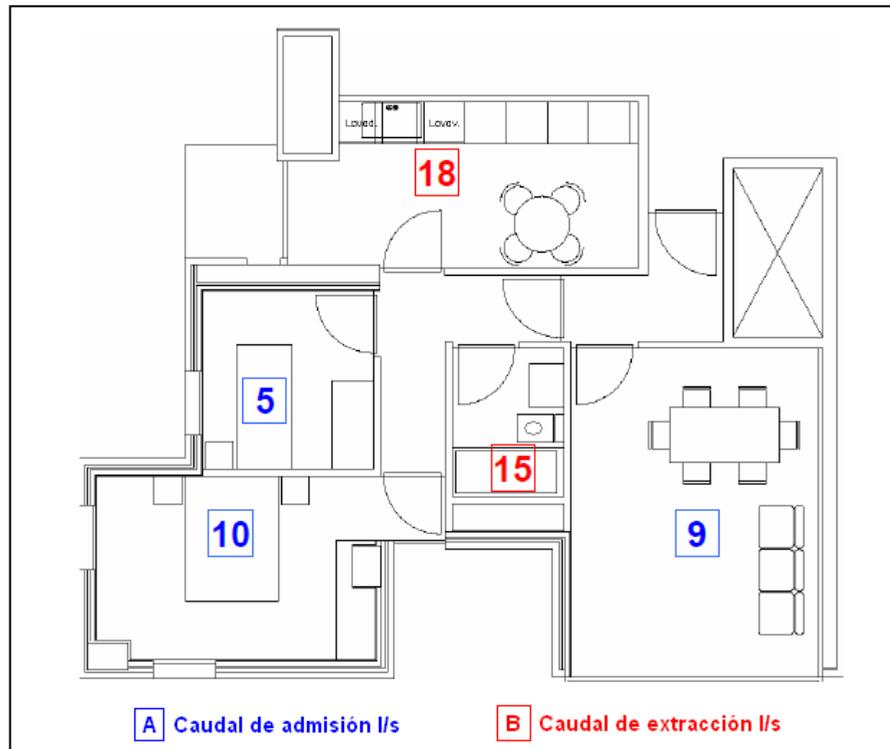


Definir los caudales de ventilación:

Se aplican los caudales propios de cada local según lo establecido en la Tabla 10 que corresponde a los caudales de ventilación mínimos exigidos por la norma española.

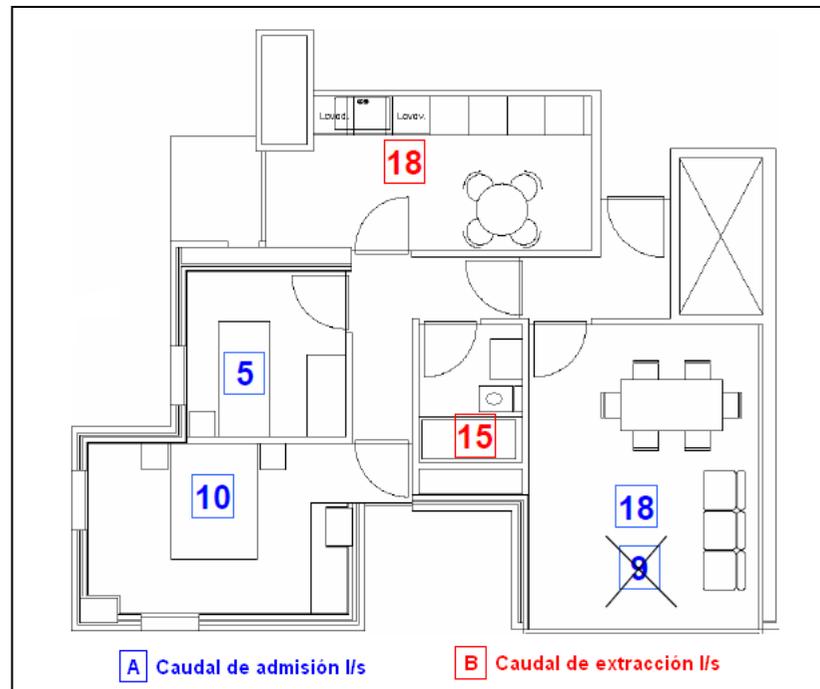
Dormitorio simple:	5 l/s x 1 ocupante	= 5 l/s
Dormitorio doble:	5 l/s x 2 ocupante	= 10 l/s
Sala de estar:	3 l/s x 3 ocupante	= 9 l/s
Baño:	15 l/s x local	= 15 l/s
Cocina:	2 l/s x 9 m ²	= 18 l/s

Figura 2: Caudales de ventilación para cada local



Luego se requiere equilibrar los caudales al caudal más desfavorable. Se desea extraer un caudal de 33 l/s, entonces se debe introducir la misma cantidad de caudal.

Figura 3: Equilibrio de caudales



Establecer la superficie de paso de aberturas:

Se realiza siguiendo la Tabla 11 del área efectiva de las aberturas de ventilación de un local.

Dormitorio simple:

Abertura de admisión: $4 \times 5 \text{ l/s} = 20 \text{ cm}^2$

Abertura de paso: $8 \times 5 \text{ l/s} = 40 \text{ cm}^2$, pero el mínimo es 70 cm^2

Dormitorio doble:

Abertura de admisión: $4 \times 10 \text{ l/s} = 40 \text{ cm}^2$

Abertura de paso: $8 \times 10 \text{ l/s} = 80 \text{ cm}^2$

Sala de estar:

Abertura de admisión: $4 \times 18 \text{ l/s} = 72 \text{ cm}^2$

Abertura de paso: $8 \times 18 \text{ l/s} = 144 \text{ cm}^2$

Baño:

Abertura de extracción: $4 \times 15 \text{ l/s} = 60 \text{ cm}^2$

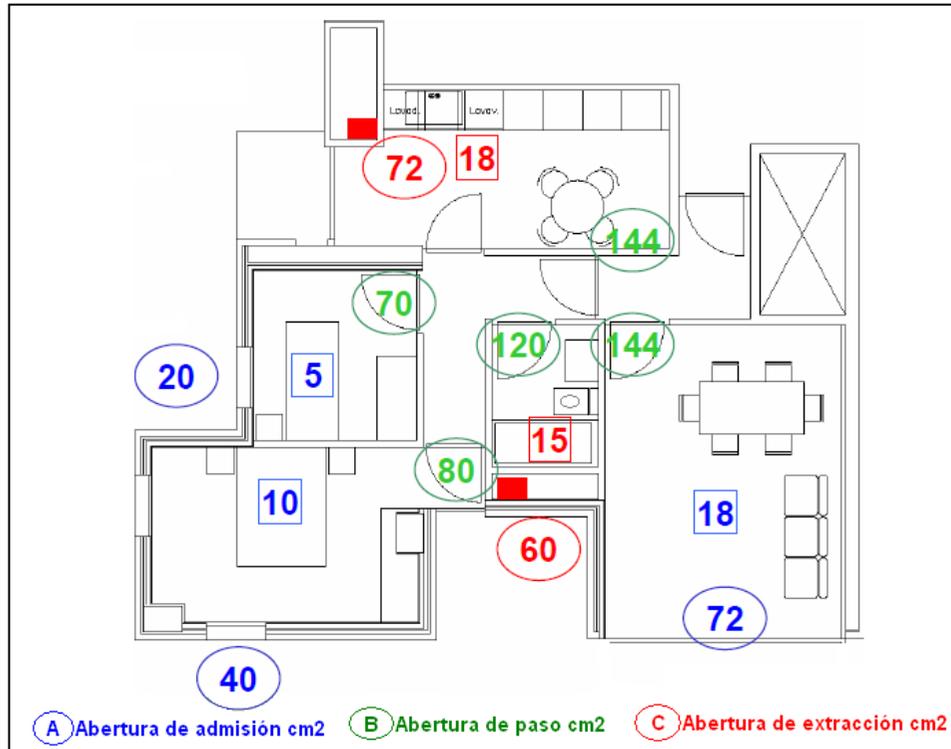
Abertura de paso: $8 \times 15 \text{ l/s} = 120 \text{ cm}^2$

Cocina:

Abertura de extracción: $4 \times 18 \text{ l/s} = 72 \text{ cm}^2$

Abertura de paso: $8 \times 18 \text{ l/s} = 144 \text{ cm}^2$

Figura 4: Superficie de paso de las aberturas



ANEXO II: Otros ejemplos de dimensionamiento de aberturas de ventilación

Ejemplo 1: En función del número de renovaciones

Se dimensionarán las aberturas de admisión y de paso para el dormitorio estudiado en el Capítulo 5: Mediciones de caudales.

Datos del dormitorio:

- Volumen: $V = 34,5 \text{ m}^3$
- Velocidad del viento: $v = 0,2 \text{ m/s}$

Se desea que el dormitorio tenga una renovación de aire $n = 1$ veces/h, por lo que el caudal que debe ingresar al local será:

$$Q = n \cdot V = 34,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luego la superficie de la abertura de admisión (S) se obtiene de la ecuación:

$$Q = S \cdot v \cdot 3600 [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$\text{Por lo tanto, } S = 0,048 \text{ m}^2 = 480 \text{ cm}^2$$

Entonces se debe disponer de una abertura de admisión de 480 cm^2 de superficie efectiva. Esta abertura podrá ser colocada sobre las ventanas o en algún punto del muro con vista al exterior, preferentemente a una altura mínima de $1,8 \text{ m}$ sobre el suelo.

De la misma manera, tiene que haber una abertura de paso al otro extremo del dormitorio por donde salga el aire de igual superficie efectiva. Esto se puede lograr dejando un espacio libre de algunos centímetros entre la puerta de ingreso al dormitorio y el suelo.

Como el caudal de admisión depende de la velocidad del viento y de la sección de la abertura, habrá que tener cuidado con las variaciones que presenta la velocidad del viento en las distintas épocas del año. Es por esta razón que las aberturas de admisión de aire deberían ser regulables manualmente, higroregulables o autorregulables para mantener una renovación constante del volumen a remover y no sobreventilar los locales.

Ejemplo 2: En función del caudal de renovación por persona

Como se menciona en el punto 3.6.: Caudal de renovación, el caudal recomendado a proveer es de 13 m³/h por persona. Tomando el caso del dormitorio del ejemplo anterior, se consideran dos personas en dicho dormitorio doble por lo que el caudal de renovación será:

$$Q = 13 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 2 = 26 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luego se procede a calcular la superficie de la abertura de admisión (S) mediante la siguiente ecuación y considerando que la velocidad del viento es $v = 0,2 \text{ m/s}$.

$$Q = S \cdot v \cdot 3600 [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$\text{Por lo tanto, } S = 0,036 \text{ m}^2 = 360 \text{ cm}^2$$

Entonces la abertura de admisión a considerar deberá tener una superficie efectiva de 360 cm², al igual que la abertura de paso, y deberán disponerse de la manera descrita en el ejemplo anterior.