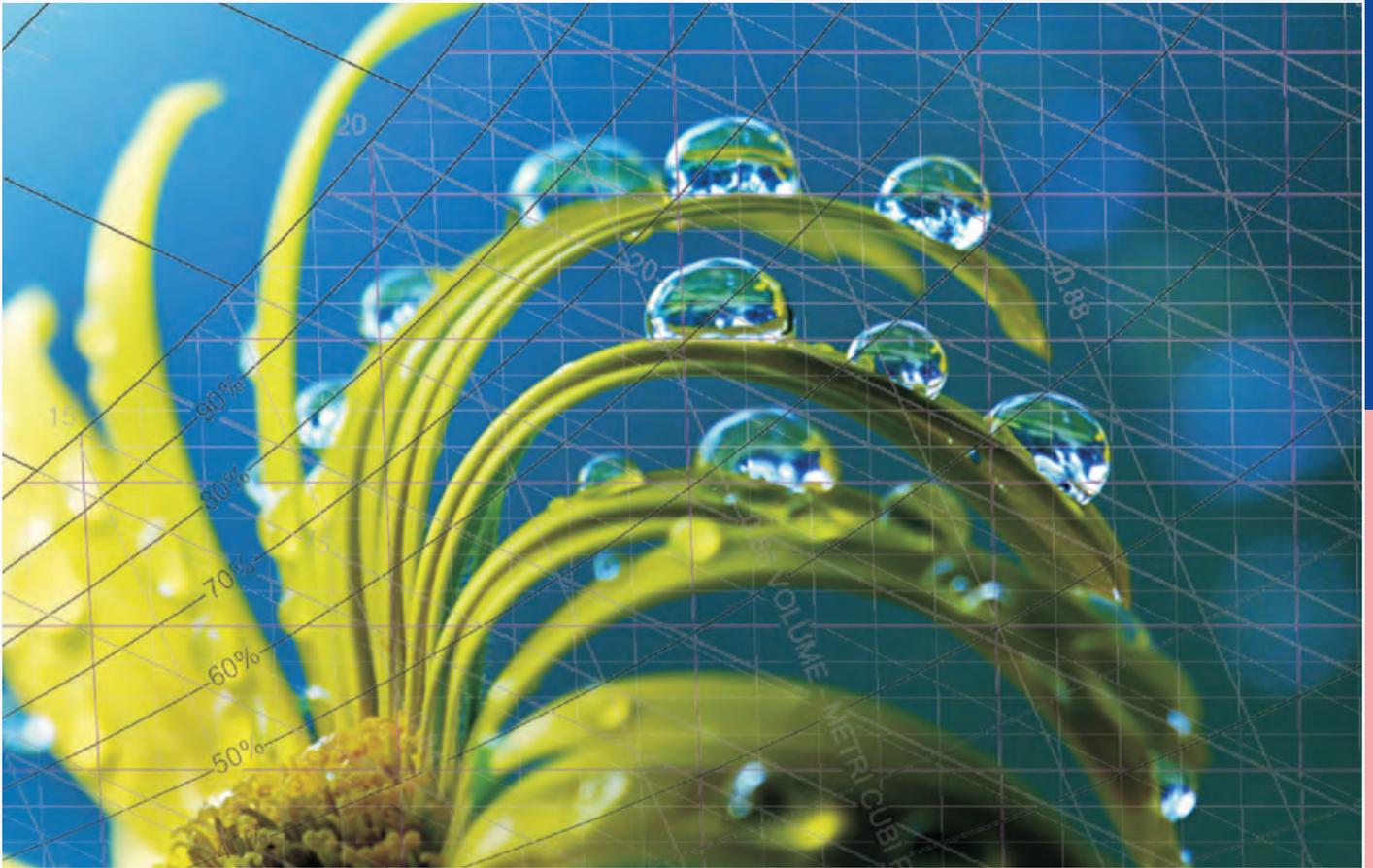


DOCUMENTOS TÉCNICOS DE  
INSTALACIONES EN LA  
EDIFICACIÓN DTIE



# DTIE 3.01

PSICROMETRÍA

Edición actualizada

PATROCINA



EDITA



---

# **DOCUMENTOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN DTIE**

---

**DTIE 3.01 :  
- Edición actualizada -  
Propiedades del aire húmedo.  
Diagrama psicrométrico-transformaciones psicrométricas**

**Autores:**

**Jose Manuel Pinazo Ojer.**

Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia y Presidente del Comité Técnico de Atecyr.

**Arcadio Garcia Lastra.**

Ingeniero Industrial, Secretario Técnico de Atecyr y miembro del Comité Técnico de Atecyr.

## **RELACIÓN DE MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO DE ATECYR**

**Presidente:** JOSÉ MANUEL PINAZO OJER

**Vicepresidente:** RICARDO GARCÍA SAN JOSÉ

**Vocales:** AGUSTIN MAILLO  
ALBERTO VITI  
ALEJANDRO CABETAS  
ANTONIO GARCIA LAESPADA  
ANTONIO PANIEGO GOMEZ  
ANTONIO VEGAS CASADO  
ARCADIO GARCIA  
IÑAKI MORCILLO  
JAVIER REY  
JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ TARODO  
JOSÉ BRUNO PÉREZ ALLUÉ  
JOSE FERNANDEZ SEARA  
JOSE LUIS ESTEBAN  
JOSE MANUEL CEJUDO  
JOSÉ MARÍA CANO  
JUAN TRAVESÍ CABETAS  
MANUEL SANCHEZ MARIN  
MIGUEL NAVAS  
PAULINO PASTOR  
PEDRO TORRERO GRAS  
PEDRO VICENTE QUILES  
RAFAEL URCULO  
SALVADOR SOLSONA  
VICTOR SOTO

© ATECYR

**Edita:** ATECYR

Navaleno, 9  
28033 Madrid

**Producción y realización:**

ATECYR

**Maquetación e impresión:**

GRÁFICAS ELISA, S.L.

**ISBN:** 978-84-95010-33-9

**Dep. Legal:** M-53454-2009

\* Queda prohibida la total o parcial reproducción del contenido de este documento salvo expresa autorización de Atecyr.

## PRESENTACIÓN

---

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), una entidad sin ánimo de lucro fundada en 1974, agrupa a más de 1.700 ingenieros y profesionales relacionados con los sectores de calefacción, refrigeración, ventilación y Aire Acondicionado.

Los Estatutos que rigen nuestra Asociación definen como fines:

- El estudio de la problemática y de la ordenación, reglamentación y protección de las técnicas de calefacción, refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire, frío industrial, fontanería, uso racional de la energía y aquellas otras actividades relacionadas o anexas con las mismas, considerando su particular circunstancia de especialidades en la ingeniería del medio ambiente.
- La creación, recopilación y divulgación de información científica relacionada con estas tecnologías en España respecto a dichas técnicas, cuyo objeto es el entorno ambiental del hombre y el desarrollo de la misma.
- Fomentar el interés por el diseño y equipamiento de este entorno, a fin de cumplir mejor su función social.
- La investigación, realización de estudios y análisis relativos a esta temática, así como la recomendación de planes de actuación.

Para la consecución de sus fines, ATECYR lleva a cabo una intensa actividad de colaboración con entes públicos y privados como AENOR, mediante la participación en grupos de trabajo para la elaboración de distintas normas; con el Ministerio de la Vivienda, con el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, como miembro de pleno derecho en la Comisión Asesora de Certificación Energética y del RITE, así como asesor técnico en casos de tanta relevancia como la normativa sobre la prevención de la Legionelosis. Colabora con un gran número de Comunidades Autónomas y Ayuntamientos, gracias a la incansable actividad de las Agrupaciones Provinciales con que contamos; con otras asociaciones, como la Asociación de Fabricantes Españoles de Climatización (AFEC), con la que se ha desarrollado un Plan de Calidad para las instalaciones de climatización que pronto será elevado a norma y con la Asociación de Fabricantes de Equipos y Generadores de Calor (FEGECA); con EUROVENT CERTIFICATION COMPANY; con el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Industriales y el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Técnicos Industriales.

En el campo normativo es digno de resaltar la participación en la elaboración del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), publicado en 1998, así como la adjudicación del concurso restringido convocado por el IDAE para la revisión de este mismo reglamento, en diciembre de 2003 y que ha sido aprobado y publicado el 20 de julio de 2007, Real Decreto 1027/2007.

Desde el punto de vista internacional es miembro de REHVA, asociación europea que agrupa a las asociaciones de técnicos del sector, y de ASHRAE, su homónima americana, con la participación destacada de algunos de sus socios en los órganos de gobierno de las mismas.

En este ámbito, lo más destacado, en los últimos tiempos, es haber promovido, el Congreso Mediterráneo de Climatización CLIMAMED, en el que participan las asociaciones de España, Portugal, Francia e Italia. La primera edición tuvo lugar en Lisboa en el año 2004, la segunda edición en España en 2005, coincidiendo con el certamen CLIMATIZACIÓN 2005, la tercera edición en Lyon, Francia en abril de 2006, la cuarta edición en Génova, Italia, en septiembre de 2007 y la quinta ha tenido lugar en Lisboa, Portugal en abril de 2009. Está previsto que la siguiente edición se celebre en España en 2011.

En sus más de treinta y cinco años de vida, ATECYR no sólo ha participado en gran número de proyectos, sino que se ha convertido en un referente para todos los técnicos del sector de climatización y refrigeración.

ATECYR cuenta con un grupo de socios comprometidos con los fines de la asociación, que han trabajado y trabajan de una forma desinteresada por mantener el nivel y el prestigio, de alguna forma heredado, evolucionando hacia las nuevas tendencias técnicas, tecnológicas y de mercado.

La actividad de la asociación descansa en dos pilares fundamentales: Las Agrupaciones como grandes generadoras de la actividad y como instrumentos que permiten la cercanía y el servicio al socio, y el Comité Técnico, compuesto por un grupo de expertos muy respetados en nuestro sector, que, de alguna manera, marcan las tendencias y la forma de hacer las cosas. Dicho Comité es el gran dinamizador de toda nuestra actividad

Uno de los cometidos del Comité Técnico de ATECYR, en el que viene trabajando desde hace años, es la elaboración de una extensa documentación técnica y la divulgación científico-técnica sobre temas relacionados con el sector de la climatización y la refrigeración. Entre esta documentación, se encuentran traducciones de libros y artículos considerados de interés y bibliografía propia.

La colección de Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación (DITE) nace como una respuesta a la necesidad detectada de agrupar y ordenar la información técnica sobre una serie de temas específicos mediante la elaboración de unas guías donde se reúna toda la información que el técnico precisa sobre el tema en cuestión para desarrollar su labor.

Se trata de ofrecer al técnico una herramienta útil para la realización de su trabajo, sin tratar de condicionar su creatividad, incluyendo la última tecnología y tendencias, dejando a su interpretación las cuestiones normativas.

Esta colección de documentos pretende constituirse como guías prácticas sobre temas de interés dentro del ámbito de la climatización y refrigeración, dirigidas a técnicos que trabajen o que tengan inquietudes en este ámbito.

Sólo queda agradecer su aportación a los patrocinadores de este y los anteriores DTIE's, sin cuya ayuda sería imposible completar este interesante proyecto.

D. Juan José Quixano Burgos  
Presidente de ATECYR

# DTIE - DOCUMENTOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN

---

## **SERIE 1: Instalaciones sanitarias**

- \*1.01 Preparación de agua caliente para usos sanitarios
- \*1.02 Calentamiento de agua de piscinas
- 1.03 Cálculo de redes de distribución de agua sanitaria
- 1.04 Cálculo de redes de evacuación y ventilación
- \*1.05 Prevención de la corrosión interior de las instalaciones de agua

## **SERIE 2: Condiciones de diseño**

- \*2.01 Calidad del ambiente térmico
- \*2.02 Calidad de aire interior
- \*2.03 Acústica en instalaciones de aire

## **SERIE 3: Psicrometría**

- \*3.01 Psicrometría

## **SERIE 4: Tuberías**

- \*4 01 Cálculo de las pérdidas de presión y criterios de diseño. (Edición revisada)

## **SERIE 5: Conductos**

- \*5.01 Cálculo de conductos

## **SERIE 6: Combustible**

- \*6.01 Combustión
- 6.02 Diseño y cálculo de chimeneas
- 6.03 Redes de distribución de gas, diseño y cálculo

## **SERIE 7: Cálculo de carga, demanda y consumo**

- \*7.01 Cálculo de carga y demanda térmica
- 7.02 Cálculo de consumo de energía: simulación de sistema
- \*7.03 Entrada de datos a los programas Lider y Calener VyP

## **SERIE 8: Fuentes de energía de libre disposición**

- \*8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización
- 8.02 Bomba de calor
- \*8.03 Instalaciones Solares Térmicas para producción de Agua Caliente Sanitaria. (Edición revisada)

## **SERIE 9: Sistemas de acondicionamientos de aire**

- \*9.01 Tipos de sistemas
- \*9.02 Aplicaciones a diferentes tipos de edificios
- \*9.03 Sistemas de climatización para viviendas, residencias y locales comerciales

\*9.04 Sistema de suelo radiante

**SERIE 10: Sistemas de calefacción**

10.01 Tipos de sistemas

10.02 Aplicaciones para edificios residenciales

\*10.03 Calderas individuales

\*10.04 Piscinas cubiertas climatizadas con aire exterior como único medio deshidratante

\*10.05 Principios básicos de las calderas de condensación

**SERIE 11: Control**

11.01 Esquemas de control

11.02 Regulación y control de instalaciones de climatización

\***SERIE 12: Aislamiento térmico**

**SERIE 13: Difusión de aire**

**SERIE 14: Acumulación de energía térmica**

**SERIE 15: Salas de máquinas**

**SERIE 16: Puesta en marcha, recepción y mantenimiento**

**SERIE 17: Varios**

17.01 Análisis económico de sistemas

\*17.02 Responsabilidad Civil del Ingeniero

\* Editadas

# ÍNDICE

---

<b>1.Introducción.....</b>	<b>9</b>
1.1 Aire seco .....	10
1.2 Vapor de agua.....	11
1.3 Aire húmedo.....	11
1.4 Variables psicrométricas del aire húmedo .....	12
1.4.1 Presión total .....	13
1.4.2 Presión del aire seco .....	13
1.4.3 Presión del vapor de agua.....	13
1.4.4 Humedad específica.....	14
1.4.5 Presión de vapor saturado.....	14
1.4.6 Grado de saturación .....	16
1.4.7 Humedad relativa.....	16
1.4.8 Temperatura seca .....	17
1.4.9 Temperatura de rocío .....	17
1.4.10 Entalpía del aire seco.....	19
1.4.11 Entalpía del vapor de agua.....	19
1.4.12 Entalpía del aire húmedo .....	20
1.4.13 Temperatura húmeda o de bulbo húmedo ( $T_g$ ).....	21
1.4.14 Temperatura de saturación adiabática ( $T_h$ ) .....	24
1.4.15 Relación entre temperatura húmeda y de saturación adiabática .....	25
1.4.16 Volumen específico del aire húmedo.....	26
1.4.17 Densidad del aire húmedo .....	27
1.4.18 Presión atmosférica.....	27
1.5 Relación entre pares de variables psicrométricas .....	29
<b>2 El diagrama psicrométrico.....</b>	<b>34</b>
2.1 El diagrama psicrométrico .....	34
2.2 Construcción de los diagramas .....	34
2.3 Diagrama MOLLIER.....	37
2.3.1 Principios del diagrama .....	37
2.3.2 Líneas de entalpía constante .....	37
2.3.3 Líneas de humedad específica constante.....	37
2.3.4 Líneas de presión de vapor constante.....	37
2.3.5 Líneas de temperatura seca constante.....	38
2.3.6 Líneas de humedad relativa constante.....	38
2.3.7 Líneas de temperatura húmeda constante.....	39
2.3.8 Líneas de temperatura de rocío constante .....	39
2.3.9 Líneas de volumen específico constante .....	39
2.4 Diagrama Ashrae.....	40
2.4.1 Principio del diagrama.....	40
2.4.2 Líneas de entalpía constante .....	41
2.4.3 Líneas de humedad específica constante.....	41
2.4.4 Líneas de temperatura seca constante.....	41
2.4.5 Líneas de humedad relativa constante.....	41
2.4.6 Líneas de temperatura húmeda constante.....	41
2.4.7 Líneas de volumen específico constante .....	41
2.4.8 Otras variables .....	41
2.5 Diagrama Carrier.....	43
2.5.1 Principios del diagrama .....	43
2.5.2 Líneas de temperatura seca constante.....	43
2.5.3 Líneas de humedad específica constante.....	43

2.5.4 Líneas de humedad relativa constante .....	44
2.5.5 Líneas de temperatura húmeda constante .....	44
2.5.6 Líneas de entalpía constante .....	44
2.5.7 Líneas de volumen específico constante .....	44
2.5.8 Otras variables .....	44
<b>3. Transformaciones psicrométricas básicas.....</b>	<b>46</b>
3.1 Sistema abierto en flujo estacionario. Balance de materia y energía .....	46
3.2 Mezcla de dos corrientes de aire húmedo.....	48
3.3 Balances de materia y energía cuando sólo existe una corriente de aire húmedo .....	55
3.3.1 Recta de maniobra .....	56
3.3.2 Calor sensible y latente en una transformación.....	57
3.3.3 Factor de calor sensible .....	58
3.3.4 Representación de la recta de maniobra RM y el factor de calor sensible FCS en el diagrama MOLLIER.....	59
3.3.5 Representación de la recta de maniobra RM y el factor de calor sensible FCS en el diagrama ASHRAE.....	60
3.3.6 Representación de la recta de maniobra RM y el factor de calor sensible FCS en el diagrama CARRIER .....	62
3.4 Flujo de aire húmedo sobre una superficie a distinta temperatura del aire.....	63
3.4.1 Temperatura superficial de la batería superior a la temperatura seca del aire: serpentín seco .....	64
3.4.2 Temperatura superficial de la batería inferior a la temperatura seca del aire pero superior a la de rocío: serpentín seco .....	68
3.4.3 Temperatura superficial de la batería inferior a la temperatura de rocío del aire: serpentín húmedo.....	72
3.5 Flujo de aire húmedo sobre una resistencia eléctrica .....	79
3.6 Proceso de humidificación con agua líquida. ....	82
3.7 Proceso de humidificación con vapor de agua .....	89
3.8 Deshumectación química .....	92
<b>4. Transformaciones psicrométricas en los intercambiadores de calor .....</b>	<b>94</b>
<b>5. Transformaciones psicrométricas del aire en una UTA .....</b>	<b>100</b>
<b>6. Anexo 1: Prontuario psicrométrico.....</b>	<b>111</b>
<b>7. Anexo 2: Transformaciones psicrométricas en los diagramas Carrier y Ashrae.....</b>	<b>114</b>
<b>8. Anexo 3: Transformaciones psicrométricas en el diagrama Mollier.....</b>	<b>115</b>
<b>9. Anexo 4: Diagrama de Mollier .....</b>	<b>116</b>
<b>10. Anexo 5: Diagrama de Ashrae .....</b>	<b>117</b>
<b>11. Anexo 6: Diagrama de Carrier.....</b>	<b>118</b>

# 1. Introducción

En climatización es necesario conocer con precisión las propiedades del aire húmedo, y sus posibles transformaciones, ya que éste será el principal fluido de trabajo que evolucionará dentro de las Unidades de Tratamiento de Aire (UTA) y de las zonas. Uno de los principales objetos de la climatización es conseguir unas condiciones de impulsión que compensen las cargas del local, y con ello, se consiga mantener las condiciones interiores de bienestar.

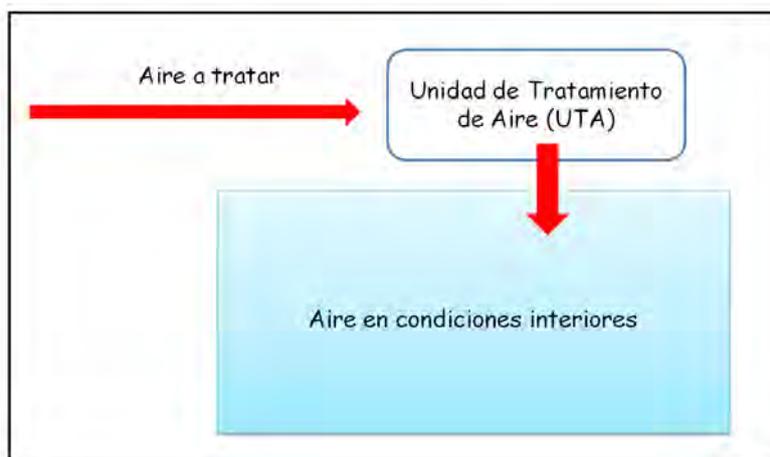


Figura 2-1: Esquema de Unidad de Tratamiento de Aire

Este aire (en adelante se llamara aire húmedo) es una mezcla de gases en las que predomina fundamentalmente el nitrógeno y el oxígeno, en proporciones más o menos constantes y una pequeña cantidad de agua en forma gaseosa, vapor de agua, en proporciones muy variables.

$$\text{aire humedo}_{(g)} = \{N_2 + O_2 + \dots\}_{(g)} + \text{vapor de agua}_{(g)}$$

La presencia de cada gas no es un dato importante en los procesos psicrométricas<sup>1</sup>, considerándose como un único componente con propiedades térmicas propias denominado aire seco, en cambio, lo que sí es relevante es la cantidad de vapor de agua que ha de estar controlada para ayudar a mantener el bienestar en los ambientes a climatizar.

Se llama psicrometría a la parte de la física que estudia el aire húmedo, es decir, a la mezcla de vapor de agua y aire seco.

---

<sup>1</sup> Si son importantes las cantidades de ciertos gases para asegurar una calidad del aire interior saludable.

## 1.1 Aire seco

El aire seco es una mezcla de varios gases, siendo la composición general<sup>2</sup> en % de volumen la siguiente:

Tabla 2-1: Propiedades del aire seco

Átomo	M masa molecular (g/mol)	% Volumen
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	28,01348	78,084000
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	31,99880	20,947600
Argón (Ar)	39,95000	0,934000
Dióxido de Carbono <sup>3</sup> (CO <sub>2</sub> )	44,00980	0,031400
Neón (Ne)	28,18300	0,001818
Helio(He)	4,00300	0,000524
Anihídrido sulfuroso (SO <sub>2</sub> )	64,06480	0,000208
Metano(CH <sub>4</sub> )	16,04276	0,000200
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	2,01588	0,000050
Xenón(Xe), Kriptón(Kr), otros	215,10000	0,000200

El comportamiento del aire seco a la presión y temperatura a la que se encuentra en climatización<sup>4</sup> se puede considerar como el de un gas ideal (Ley de los Gases Ideales).

El cálculo de la masa molecular del aire seco es directo a través de su composición en volumen y recordando que la fracción volumétrica (% volumen) y la fracción molar coinciden para un gas ideal<sup>5</sup>:

$$M_{as} = \frac{m_{as}}{n_{as}} = \frac{78,084000 \text{ molN}_2}{100} \cdot \frac{28,01348 \text{ gN}_2}{\text{molN}_2} + \frac{20,947600 \text{ molO}_2}{100} \cdot \frac{31,99880 \text{ gO}_2}{\text{molO}_2} + \dots = 28,966 \text{ g/mol} \approx 29 \text{ g/mol}$$

<sup>2</sup> Realmente se propone la composición de un aire "normalizado" que se toma como referencia de estudio. NUNCA el aire tiene exactamente tal composición; siempre puede haber variaciones puntuales y, sobre todo, contaminantes que lo hacen diferente a lo normalizado.

<sup>3</sup> El CO<sub>2</sub> realmente varía dependiendo del entorno en el exterior y de la ocupación en el interior.

<sup>4</sup> Si la presión no es alta, una mezcla de gases puede aproximarse a una mezcla de gases ideales, la cual se comporta también como un gas ideal según confirma la experiencia.

<sup>5</sup> 
$$V_i = n_i \cdot \frac{R \cdot T}{P} \Rightarrow \frac{V_i}{V_T} = \frac{n_i \cdot \frac{R \cdot T}{P}}{n_T \cdot \frac{R \cdot T}{P}} = \frac{n_i}{n_T}$$

## 1.2 Vapor de agua

Dependiendo de las condiciones de presión y temperatura parte del agua existente en el aire húmedo se podría encontrar en forma líquida o incluso sólida, aunque se trate de situaciones que no se dan en la práctica de la climatización, salvo en situaciones excepcionales. Por esta razón se considerará que en adelante el agua estará en forma de vapor ( $H_2O_{(g)}$  estado gaseoso) en el aire húmedo.

El vapor de agua al encontrarse en el aire húmedo a presiones muy bajas, del orden del 2 % o inferiores a la presión atmosférica, se comporta igualmente como un gas ideal, con un peso molecular de 18,015268 g/mol.

## 1.3 Aire húmedo

El aire húmedo por tanto en los procesos de climatización se considerará que está compuesto por una mezcla de aire seco y vapor de agua.

$$\text{aire húmedo}_{(g)} = \text{aire seco}_{(g)} + \text{vapor de agua}_{(g)} \quad [2.1]$$

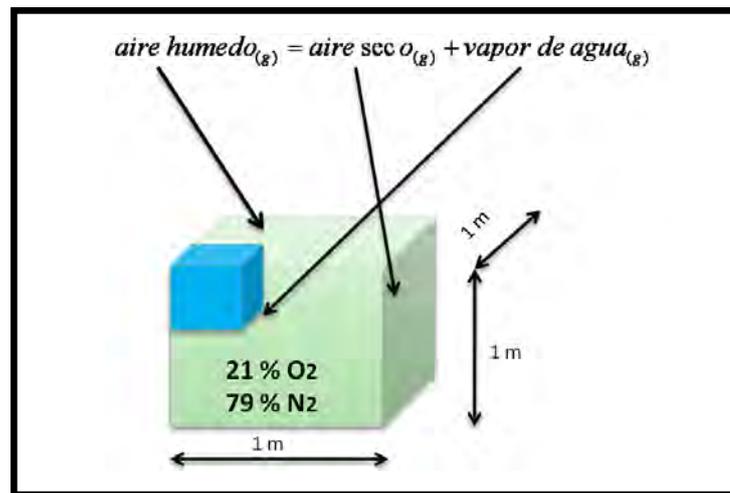


Figura 2-2: Proporciones del vapor de agua y aire seco en un  $m^3$  de aire húmedo

Como se dijo debido a las presiones y temperaturas con las que se trabaja en climatización (generalmente entre  $-15^{\circ}C$  y  $45^{\circ}C$  y presión siempre cercana a la atmosférica, 101325 Pa, disminuyendo con la altura sobre el nivel del mar), se considera que todos los constituyentes del aire seco se encuentran en una proporción constante y en estado gaseoso.