

TEMPERATURA I TERMÒMETRES

La temperatura

La definició (filològica) de temperatura que dona el diccionari de l'IEC és: "Magnitud termodinàmica que indica el grau de calor d'un cos, mesurant-ne l'energia tèrmica en relació amb la d'un altre".

La definició de la GEC és si fa no fa la mateixa però més breu: "Magnitud termodinàmica que posa en evidència l'energia tèrmica d'un cos en relació a la d'un altre".

Aquestes definicions són molt deficientes perquè la comparació entre les temperatures de dos cossos diferents no permet de cap manera comparar les quantitats d'energia tèrmica que contenen.

Una enciclopèdia científica ja precisa més: "La temperatura és una magnitud física descriptiva d'un sistema que caracteritza la transferència d'energia tèrmica o calor entre aquell sistema i altres. Des d'un punt de vista microscòpic, és una mesura de l'energia cinètica associada al moviment aleatori de les partícules que componen el sistema".

Aquesta tercera definició és molt millor que les altres: "Magnitud física que caracteritza la transferència d'energia tèrmica o calor". És a dir la transferència de calor, però no pas el "grau" o la "quantitat" de calor que diuen els diccionaris filològics. Notem que els termes "calor" i "energia tèrmica" són sinònims, ja que la calor no és sinó una forma de l'energia, i dit simplificadament, la temperatura es pot considerar com un nivell qualitatiu o una característica d'aquesta energia.

Fent una comparació amb uns dipòsits que tinguin el fons a la mateixa alçada, una cosa és la quantitat de líquid que hi ha en un d'ells i una altra cosa és el nivell o alçada del líquid dintre el dipòsit. Un dipòsit molt gran pot contenir més líquid que un de més petit, però el seu nivell pot ser més baix, i si els comuniquem per un tub, el líquid no passarà del que té més líquid al que en té menys sinó del que té, el nivell més alt al que té el nivell més baix.

Semblantment, un cos de més massa pot tenir més energia tèrmica emmagatzemada però estar a menor temperatura que un cos més petit, i si els posem en contacte, la calor no anirà pas del cos que en té més al que en té menys, sinó del que té la temperatura més alta al que la té més baixa. P. ex. un llumí encès té molta temperatura i poca calor, mentre que l'aigua de l'embassament de Sau té molta calor i poca temperatura.

Tal com expressa la segona part de la tercera definició, la temperatura és una mesura del moviment microscòpic de les partícules d'un cos, o sigui del seu estat d'agitació al voltant d'un punt fix si es tracta d'un sòlid, o simplement de la seva velocitat si es tracta d'un líquid o d'un gas. Com veurem més endavant, això explica que hi hagi una temperatura mínima, anomenada zero absolut, que no pot ser sobrepassat més avall, perquè a una tal temperatura el moviment microscòpic de les partícules del cos ha cessat totalment.

El mesurament de la temperatura

Un cop establert el concepte de temperatura com a magnitud indicadora del "nivell" de calor que posseeix o que conté un determinat cos, cal veure el mesurament d'aquesta magnitud, o sigui de quina manera es fa i amb quines unitats es mesura. Així doncs una cosa seran els termòmetres i una altra les escales de temperatura que els termòmetres utilitzaran.

Els termòmetres

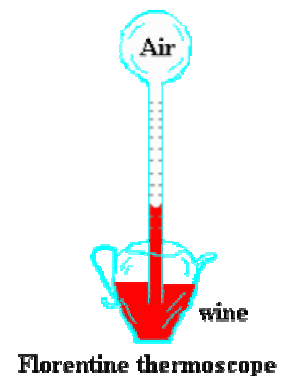
La temperatura sempre es mesura per analogia. Com que no hi ha manera de mesurar el moviment microscòpic de totes les molècules i àtoms d'un cos per calcular el seu valor mitjà, resulta que els termòmetres són uns aparells que fan servir uns materials que canvien les seves característiques quan s'escalfen o quan es refreden. Aleshores es mesura aquesta característica especial, i del valor d'aquesta mesura es dedueix el valor de la temperatura.

Això només va bé quan aquesta característica varia de forma proporcional a la variació de la temperatura, és a dir, com que per a un cos donat, increments iguals de calor afegida han de donar iguals increments de temperatura (*), aquests iguals increments de temperatura han de donar iguals variacions de la característica específica de l'aparell termòmetre que fem servir per mesurar la temperatura.

(*) Això només és aproximat, perquè la relació entre calor afegida i increment de temperatura, que s'anomena calor específica d'una substància, tampoc no és un valor rigorosament constant sinó que pot variar lleugerament amb la temperatura.

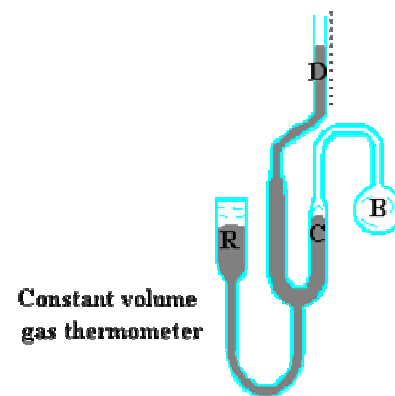
Galileo Galilei havia inventat un rudimentari termòmetre d'aigua el 1593, que per primera vegada permetia mesurar variacions de temperatura. Els primers termòmetres s'anomenaven termoscopis i mentre diferents persones inventaven simultàniament una versió pròpia del termoscopi, l'italià Santorio Santorio va ser el primer que hi va posar una escala numèrica.

Aquests termoscopis consistien en un bulb de vidre amb un tub llarg cap avall que es posava en un recipient amb aigua tenyida o fins i tot amb vi. Escalfant el bulb s'expulsava una certa quantitat d'aire i quan es refredava el líquid pujava pel tub més o menys, segons la temperatura de l'aire del bulb que es deixava equilibrar amb la temperatura ambient. Posant una escala al costat del tub es podia mesurar la temperatura, i la característica que per comparació indicava la temperatura era el volum de l'aire del bulb i el tub. Més endavant, el 1641, ja es va utilitzar alcohol com a medi termomètric en lloc d'aire, i aquest aparell ja es va anomenar "termòmetre d'esperit".



Molt més endavant, el 1724, Gabriel Fahrenheit va utilitzar el mercuri, que té bastants avantatges. Primerament té una dilatació àmplia i uniforme, no s'adhereix al vidre, es manté líquid i per això permet fer mesuraments en un marge molt ampli de temperatures, i el seu color platejat fa que sigui fàcil de llegir. Fahrenheit doncs, pot ser considerat com a l'inventor del termòmetre de mercuri.

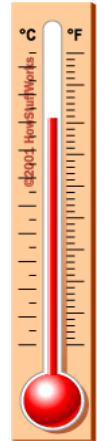
El 1780, JAC Charles va retornar al termòmetre de gas, a partir del fet que per a un mateix increment de temperatura tots els gasos tenen el mateix increment de volum. En aquest termòmetre el bulb B, p. ex, conté hidrogen a una certa pressió i es connecta a un manòmetre de mercuri per mitjà d'un tub de volum molt petit. El nivell de mercuri C es pot ajustar apujant o abaixant el nivell en el dipòsit R, i l'indicador de temperatura és la pressió de l'hidrogen que es pot mesurar per diferència de nivell del mercuri entre D i C, més la pressió atmosfèrica que hi ha a sobre el punt D.



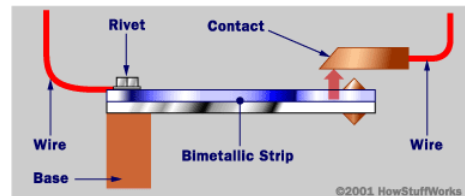
Tipus més corrents de termòmetres

En aquesta sessió no podem fer una anàlisi exhaustiva de tots els tipus d'aparells disponibles per mesurar la temperatura en aplicacions domèstiques, industrials o científiques, però com a tipus de termòmetres més usuals, tenim els termòmetres de bulb, els termòmetres bimetal·lics i els termòmetres electrònics.

En els termòmetres de bulb el que es mesura és la dilatació volumètrica d'un líquid contingut en un recipient, usualment alcohol o mercuri, i encara aquesta dilatació volumètrica es converteix en el moviment lineal de la columna de líquid en un tub estret de material transparent. Perquè el termòmetre tingui una bona precisió cal que el recipient sigui relativament gran i que el tub sigui ben estret perquè l'efecte de la dilatació es noti millor. També cal que el \varnothing del tub sigui ben constant en tota la seva longitud, que el material del tub es dilati poc per efecte de la temperatura i, una cosa en què no se sol pensar gaire, també cal que el tub estigui rígidament unit a l'escala de lectura. Si el vidre del termòmetre balla sobre la base, ja es veu que no anirem bé. Els termòmetres de bulb van molt bé per mesurar la temperatura acuradament, però no hi van gaire quan el que volem és controlar la temperatura d'un aparell.



Els termòmetres bimetal·lics de serveixen de la diferència de coeficients de dilatació entre dos metalls diferents. Unint solidàriament tires de dos metalls amb coeficients de dilatació ben diferents, resulta que aquesta tira es doblega en un sentit quan la temperatura augmenta i en sentit contrari quan la temperatura disminueix.



Aquesta doble tira usualment s'intercala en un circuit elèctric, de manera que segons el valor de la temperatura faci contacte o deixi de fer-ne. Així p. ex. es pot encendre i apagar automàticament un forn o un aparell de calefacció. La temperatura desitjada o de consigna es pot regular apropant o allunyant un contacte fix a la tira bimetal·lica. Aquest aparell és d'ús molt corrent tant a casa com en la indústria i es coneix amb el nom de termòstat. Naturalment que també pot fer de termòmetre mantenint fix un extrem de la tira bimetal·lica i deixant córrer l'altre extrem sobre una escala graduada. En aquest cas la tira bimetal·lica sol ser bastant llarga i estar cargolada en forma helicoidal, i així l'angle girat per l'extrem lliure és més gran i augmenta la precisió de la mesura.

Els termòmetres electrònics solen basar el mesurament de la temperatura en la variació de la resistència elèctrica d'un metall en funció de la temperatura. Aleshores un circuit electrònic adient mesura aquesta resistència i ja dóna directament els valors de la temperatura. Aquests termòmetres també se solen anomenar digitals perquè els valors de la temperatura solen aparèixer en forma de xifres en una pantalla.



Ja el 1871 es va començar a utilitzar el termòmetre de resistència de platí, que no s'oxida a altes temperatures i que té un canvi relativament uniforme en un ampli interval de temperatures. El termòmetre de resistència de platí, avui dia es pot utilitzar des de $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ fins a $1.235\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ara bé, cal puntualitzar que aquests termòmetres només són digitals pel que es refereix a la lectura del resultat, però que continuen essent analògics en el sentit que mesuren la temperatura per la seva relació o analogia amb la variació de la resistència elèctrica esmentada.

Aquest tipus de termòmetres també és molt adient per a la regulació automàtica de temperatura en tota mena d'aplicacions, ja que del circuit electrònic que mesura la variació de la resistència del metall es pot extreure un senyal per obrir o tancar un circuit elèctric qualsevol.

Les temperatures de referència

Un cop descrits es tipus més usuals de termòmetres, ja podem parlar de les unitats de mesura de la temperatura i de les temperatures de referència, és a dir, de les escales de temperatura.

Per fixar unes temperatures de referència ha estat molt útil el fet que hi ha uns fenòmens físics que tenen lloc a una temperatura constant i independent de la temperatura de l'ambient o entorn immediat. Els més coneguts són el de la fusió del gel i el de l'ebullició de l'aigua (per a una pressió atmosfèrica determinada).

Quan en un recipient hi ha gel i aigua la temperatura es manté constant. Si s'afegeix calor el gel es va fonent però la temperatura no augmenta, i si es perd calor l'aigua es va gelant però la temperatura segueix essent la mateixa. Només augmenta més la temperatura quan el gel s'ha fos del tot, o bé només baixa més la temperatura quan tota l'aigua s'ha gelat.

Quan es va evaporant l'aigua dintre d'un recipient tancat però a pressió constant, la temperatura tampoc no varia. Si s'afegeix calor es va evaporant més aigua però la temperatura segueix essent la mateixa i si es perd calor el vapor es va condensant i convertint en aigua. Només augmenta més la temperatura quan l'aigua s'ha evaporat del tot, o bé només baixa més la temperatura quan tot el vapor s'ha condensat.

Les temperatures d'ebullició de l'aigua a pressions diferents de l'atmosfèrica són aproximadament aquestes:

45° a 0,10 bar.

65° a 0,25 bar.

81° a 0,50 bar.

91° a 0,75 bar.

Altres substàncies o mesclades diferents de l'aigua poden presentar aquests mateixos fenòmens a temperatures diferents, però el cas de l'aigua és el més senzill i per això s'ha acabat adoptant com a sistema de referència.

Les escales de temperatura

Com a precedent històric, sembla que Newton va fer una mena de termòmetre amb dos punts fixos, el del gel en estat de fusió i el de la boca d'una persona sana, i que dividia l'interval entre aquests dos punts en 12 parts iguals. Curiosament Newton feia servir 12 graus i no 10 i cada un d'aquests graus de Newton resultaria equivalent a 3 dels actuals °C.

Ara ens apareix un personatge interessant, Gabriel Daniel (o Daniel Gabriel) Fahrenheit (Dantzig-Gdansk 1686 - Den Haag 1736), que també va ser membre de la Royal Society britànica i del qual ja hem fet esment que havia inventat el termòmetre de mercuri.

Més o menys entre 1710 i 1720, Fahrenheit volia establir una escala per mesurar la temperatura de l'atmosfera i anava experimentant amb diferents mesclades congelants: de gel i amoníac, de gel i sal marina, etc, i a la temperatura més baixa que va assolir, possiblement la que correspondria als mars polars, i li va donar el valor 0. Curiosament aquest 0 correspon a la temperatura a la qual s'inhibeix l'activitat bacteriana i per això sol ser la temperatura dels congeladors de les neveres domèstiques (-17,8 °C ≈ 18 °C).

Prenent aquest valor com a 0 de l'escala, va pensar (erròniament) que els navegants d'aquella època no haurien de fer servir mai temperatures negatives i que allò seria un avantatge, i aquest és un dels arguments que fan servir els defensors de l'escala Fahrenheit. L'interval entre aquest 0 i la temperatura del cos humà la va dividir en 24 graus iguals. Fent això, la temperatura de fusió del gel d'aigua dolça resultava a 1/3 de l'escala, o sigui a 8° i des de la fusió del gel d'aigua dolça fins a la temperatura del cos humà hi havia els restants 16 graus.

Com que aquests graus li semblaven massa grans (poc precisos), de cada grau en va fer 4, de manera que així va resultar una temperatura del cos humà de 96° (equivalents a 35,6 °C, o sigui que devia prendre com a referència unes persones més aviat fredes) i una temperatura de fusió del gel d'aigua dolça de 32°. En aquesta escala, la temperatura d'ebullició de l'aigua corresponia a un valor de 212°, de manera que l'interval entre la fusió del gel i l'ebullició de l'aigua resultava de $212 - 32 = 180$ °, que era un nombre força rodó, sobre tot per als afeccionats a comptar per dotzenes ($180 = 15$ dotzenes). Malgrat ser Fahrenheit un alemany l'escala Fahrenheit va tenir èxit a la Gran Bretanya i als Estats Units, on encara es fa servir avui dia, tot i que a la GB ja es fa servir molt els graus centígrads..

Per si de cas un va als Estats Units, va bé recordar que una temperatura ambient agradable és de l'ordre dels 72 °F i que la temperatura corporal també és de l'ordre dels 97 °F. A menys de 50 °F ja fa fresca i a més de 90 °F ja fa força calor.

Més tard, René-Antoine Ferchault de Reaumur (1683 - 1757) va tenir la idea que seria més pràctic dir que el gel es fonia a 0° i la temperatura d'ebullició de l'aigua li va resultar de 80° perquè en els seus termòmetres feia servir una barreja d'alcohol i aigua en la proporció de 4:1, que quan arribava al punt d'ebullició s'havia dilatat en la relació 1.000 a 1.080. L'escala Reaumur es va fer servir a França i a Alemanya però després es va reemplaçar per l'escala centígrada i ara només ha quedat com un record històric.

L'any 1742 Anders Celsius (Uppsala 1701- id. 1744) va dividir aquest mateix interval en 100 graus, tot i que al principi posava l'escala al revés, o sigui aigua en ebullició a 0° i gel fonent a 100°. De totes maneres una altra informació diu que això de posar l'escala centígrada al revés va ser cosa de Carl von Linné (Stenbrohult 1707 - Hammarby 1778), i que Celsius va ser qui la va posar del dret. Aquesta escala es va anomenar centígrada, però en la terminologia científica s'anomena escala Celsius i és la que forma part del Sistema Internacional d'unitats.

El zero absolut

Ja hem dit al principi que la temperatura és una mesura de l'energia cinètica associada al moviment aleatori de les partícules d'un cos, i resulta que, per a tots els cossos, a la temperatura de -273°C (*), equivalent a -460°F , ja no hi ha cap moviment molecular. Per això se l'anomena zero absolut i no hi pot haver cap temperatura inferior a aquesta.

(*) Uns valors més aproximats són els de $-273,15^{\circ}\text{C}$ o de $-459,69^{\circ}\text{F}$.

Tenint en compte aquest fet, les escales absolutes de temperatura mantenen el valor del grau de les escales Celsius o Fahrenheit però posen el zero en aquest valor de temperatura mínima possible. En aquest cas cal canviar els noms per evitar confusions. Així doncs, en graus centígrads o Celsius la temperatura absoluta es mesura en Kelvins (sense la paraula "graus"), i en graus Fahrenheit la temperatura absoluta es mesura en °Rankine. Per tant el gel es fon a 273 Kelvins o 492° Rankine ($= 460 + 32$) i a pressió atmosfèrica normal de 1.013 mil·libar, l'aigua bull a 373 Kelvins o a 672° Rankine ($= 460 + 32 + 180$).

Fórmules de conversió de °C a °R i viceversa

Com que aquestes dues escales tenen el 0 al mateix punt, l'expressió d'equivalència és molt senzilla i tenim:

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{C} * 0,8 \quad \text{o bé} \quad ^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{R} * 1,25$$

$$\text{P.ex. } 24^{\circ}\text{C} = 24 * 0,8 = 19,2^{\circ}\text{R} \quad \text{o bé} \quad 22^{\circ}\text{R} = 1,25 * 22 = 27,5^{\circ}\text{C}$$

Si es vol comptar de cap, simplement per passar de °R a °C només cal augmentar la lectura un 25 %.

Fórmules de conversió de °C a °F i viceversa

Essent el valor de la temperatura de fusió del gel una xifra diferent en les dues escales, la conversió ja no és tan senzilla i l'expressió més simple i coneguda que relaciona les dues escales és aquesta: $^{\circ}\text{F} * 5 = ^{\circ}\text{C} * 9 + 160$

Tanmateix, aquesta conversió se sol fer usualment amb aquesta fórmula:

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) * 5/9 \quad \text{per passar de } ^{\circ}\text{F} \text{ a } ^{\circ}\text{C}, \quad \text{o bé amb la fórmula equivalent}$$

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} * 9/5 + 32 \quad \text{per passar de } ^{\circ}\text{C} \text{ a } ^{\circ}\text{F}$$

$$\text{P. ex: } 22^{\circ}\text{F} = (22 - 32) * 5/9 = -5,55^{\circ}\text{C} \quad \text{o bé} \quad 24^{\circ}\text{C} = 24 * 9/5 + 32 = 75,2^{\circ}\text{F}$$

A les persones que tinguin dificultats amb l'àlgebra elemental i hagin d'aplicar aquests algorismes de memòria, els pot semblar que costen de recordar i que es poden prestar a confusió per la seva manca de simetria, ja que l'ordre de les operacions és diferent en els dos casos.

Tenim en efecte:

De °F a °C Restar 32 + Multiplicar per 5 + Dividir per 9 en canvi tenim,

De °C a °F Multiplicar per 9 + Dividir per 5 + Sumar 32

El 32 en un cas es resta i en l'altre cas es suma, també en un cas primer es fa la resta i després es fa la multiplicació per 5 i la divisió per 9, mentre que en l'altre cas primer es fa la multiplicació per 9 i la divisió per 5 i al final es fa la suma del 32. Això costa de recordar amb precisió i sense dubtes.

Per això també es pot fer servir una altra fórmula, molt menys coneguda, que dóna lloc a un algorisme simètric, excepte en la utilització del factor 5/9 o 9/5 segons si es passa de °F a °C o bé de °C a °F. Aquesta altra fórmula es basa en el fet que els valors de les dues escales coincideixen a -40° (-40 °F = -40 °C).

Aleshores tenim:

$$(^{\circ}\text{F} + 40) * 5/9 = (^{\circ}\text{C} + 40) \quad \text{o bé} \quad (^{\circ}\text{C} + 40) * 9/5 = (^{\circ}\text{F} + 40)$$

D'aquesta manera per fer la conversió sempre cal seguir el mateix ordre:

Sumar 40 + Aplicar el factor 5/9 o 9/5 segons escaigui (*) + Restar 40

i ja s'obté directament el resultat.

Aplicant aquest algorisme als mateixos exemples anteriors de 24 °C o de 22°F tenim:

$$(24 + 40) * 9/5 - 40 = 75,2^{\circ}\text{F} \quad \text{o bé} \quad (22 + 40) * 5/9 - 40 = -5,55^{\circ}\text{C}$$

(*) És molt fàcil de veure en cada cas si escau el factor 9/5 o el factor 5/9. Els °F són "més petits" que els °C (perquè entre la congelació i l'ebullició de l'aigua n'hi ha 180 en lloc de 100). Per tant, per passar de °F a °C cal multiplicar per un factor < 1, o sigui per 5/9, mentre que per passar de °C a °F cal multiplicar per un factor > 1, o sigui per 9/5.

A partir d'aquestes fórmules, tothom que vulgui es pot entretenir a trobar-ne unes altres entre °F i °R i també fer el mateix a partir de les temperatures absolutes en Kelvins o °Rankine. Pot ser un bon exercici.

Taula d'equivalència de temperatures, de -20 °C fins a +120 °C

°C	°R	°F	K	°R
-20	-16,00	-4,00	253,15	456,00
-19	-15,20	-2,20	254,15	457,80
-18	-14,40	-0,40	255,15	459,60
-17	-13,60	1,40	256,15	461,40
-16	-12,80	3,20	257,15	463,20
-15	-12,00	5,00	258,15	465,00
-14	-11,20	6,80	259,15	466,80
-13	-10,40	8,60	260,15	468,60
-12	-9,60	10,40	261,15	470,40
-11	-8,80	12,20	262,15	472,20
-10	-8,00	14,00	263,15	474,00
-9	-7,20	15,80	264,15	475,80
-8	-6,40	17,60	265,15	477,60
-7	-5,60	19,40	266,15	479,40
-6	-4,80	21,20	267,15	481,20
-5	-4,00	23,00	268,15	483,00
-4	-3,20	24,80	269,15	484,80
-3	-2,40	26,60	270,15	486,60
-2	-1,60	28,40	271,15	488,40
-1	-0,80	30,20	272,15	490,20
0	0,00	32,00	273,15	492,00
1	0,80	33,80	274,15	493,80
2	1,60	35,60	275,15	495,60
3	2,40	37,40	276,15	497,40
4	3,20	39,20	277,15	499,20
5	4,00	41,00	278,15	501,00
6	4,80	42,80	279,15	502,80
7	5,60	44,60	280,15	504,60
8	6,40	46,40	281,15	506,40
9	7,20	48,20	282,15	508,20
10	8,00	50,00	283,15	510,00
11	8,80	51,80	284,15	511,80
12	9,60	53,60	285,15	513,60
13	10,40	55,40	286,15	515,40
14	11,20	57,20	287,15	517,20
15	12,00	59,00	288,15	519,00
16	12,80	60,80	289,15	520,80
17	13,60	62,60	290,15	522,60
18	14,40	64,40	291,15	524,40
19	15,20	66,20	292,15	526,20
20	16,00	68,00	293,15	528,00
21	16,80	69,80	294,15	529,80
22	17,60	71,60	295,15	531,60
23	18,40	73,40	296,15	533,40
24	19,20	75,20	297,15	535,20
25	20,00	77,00	298,15	537,00
26	20,80	78,80	299,15	538,80
27	21,60	80,60	300,15	540,60

28	22,40	82,40	301,15	542,40
29	23,20	84,20	302,15	544,20
30	24,00	86,00	303,15	546,00
31	24,80	87,80	304,15	547,80
32	25,60	89,60	305,15	549,60
33	26,40	91,40	306,15	551,40
34	27,20	93,20	307,15	553,20
35	28,00	95,00	308,15	555,00
36	28,80	96,80	309,15	556,80
37	29,60	98,60	310,15	558,60
38	30,40	100,40	311,15	560,40
39	31,20	102,20	312,15	562,20
40	32,00	104,00	313,15	564,00
41	32,80	105,80	314,15	565,80
42	33,60	107,60	315,15	567,60
43	34,40	109,40	316,15	569,40
44	35,20	111,20	317,15	571,20
45	36,00	113,00	318,15	573,00
46	36,80	114,80	319,15	574,80
47	37,60	116,60	320,15	576,60
48	38,40	118,40	321,15	578,40
49	39,20	120,20	322,15	580,20
50	40,00	122,00	323,15	582,00
51	40,80	123,80	324,15	583,80
52	41,60	125,60	325,15	585,60
53	42,40	127,40	326,15	587,40
54	43,20	129,20	327,15	589,20
55	44,00	131,00	328,15	591,00
56	44,80	132,80	329,15	592,80
57	45,60	134,60	330,15	594,60
58	46,40	136,40	331,15	596,40
59	47,20	138,20	332,15	598,20
60	48,00	140,00	333,15	600,00
61	48,80	141,80	334,15	601,80
62	49,60	143,60	335,15	603,60
63	50,40	145,40	336,15	605,40
64	51,20	147,20	337,15	607,20
65	52,00	149,00	338,15	609,00
66	52,80	150,80	339,15	610,80
67	53,60	152,60	340,15	612,60
68	54,40	154,40	341,15	614,40
69	55,20	156,20	342,15	616,20
70	56,00	158,00	343,15	618,00
71	56,80	159,80	344,15	619,80
72	57,60	161,60	345,15	621,60
73	58,40	163,40	346,15	623,40
74	59,20	165,20	347,15	625,20
75	60,00	167,00	348,15	627,00
76	60,80	168,80	349,15	628,80
77	61,60	170,60	350,15	630,60
78	62,40	172,40	351,15	632,40

79	63,20	174,20	352,15	634,20
80	64,00	176,00	353,15	636,00
81	64,80	177,80	354,15	637,80
82	65,60	179,60	355,15	639,60
83	66,40	181,40	356,15	641,40
84	67,20	183,20	357,15	643,20
85	68,00	185,00	358,15	645,00
86	68,80	186,80	359,15	646,80
87	69,60	188,60	360,15	648,60
88	70,40	190,40	361,15	650,40
89	71,20	192,20	362,15	652,20
90	72,00	194,00	363,15	654,00
91	72,80	195,80	364,15	655,80
92	73,60	197,60	365,15	657,60
93	74,40	199,40	366,15	659,40
94	75,20	201,20	367,15	661,20
95	76,00	203,00	368,15	663,00
96	76,80	204,80	369,15	664,80
97	77,60	206,60	370,15	666,60
98	78,40	208,40	371,15	668,40
99	79,20	210,20	372,15	670,20
100	80,00	212,00	373,15	672,00
101	80,80	213,80	374,15	673,80
102	81,60	215,60	375,15	675,60
103	82,40	217,40	376,15	677,40
104	83,20	219,20	377,15	679,20
105	84,00	221,00	378,15	681,00
106	84,80	222,80	379,15	682,80
107	85,60	224,60	380,15	684,60
108	86,40	226,40	381,15	686,40
109	87,20	228,20	382,15	688,20
110	88,00	230,00	383,15	690,00
111	88,80	231,80	384,15	691,80
112	89,60	233,60	385,15	693,60
113	90,40	235,40	386,15	695,40
114	91,20	237,20	387,15	697,20
115	92,00	239,00	388,15	699,00
116	92,80	240,80	389,15	700,80
117	93,60	242,60	390,15	702,60
118	94,40	244,40	391,15	704,40
119	95,20	246,20	392,15	706,20
120	96,00	248,00	393,15	708,00

Mesurament de temperatures excepcionalment baixes o altes

El Comitè Internacional de Pesos i Mesures ha adoptat uns procediments homologats o estàndard per a la mesura de la temperatura en cada interval determinat. De 0,65 a 5 K la temperatura es mesura a partir de la pressió de vapor de l'heli. Entre 3 i 24,5561 K (punt triple ^(*) del neó) es mesura amb un termòmetre de gas també utilitzant heli. Entre 13,8033 K (punt triple de l'hidrogen) i 961,79 °C es mesura amb termòmetres de resistència de platí. Per a

temperatures més elevades cal mesurar la radiació emesa pel cos i a partir d'aquesta radiació es pot calcular la seva temperatura fent ús de la Llei de la Radiació de Planck.

(*) El punt triple d'una substància és aquella pressió i temperatura a la qual no hi pot haver fase líquida i passa directament de sòlida a gasosa. P. ex. el punt triple de l'aigua correspon a una pressió de 611,73 Pa (uns 6 mil·libar) i a una temperatura de 273,16 K. Això serveix per definir científicament el Kelvin, com a 1/273,16ena part de la temperatura del punt triple de l'aigua. Una conseqüència d'aquest fet físic és que a l'espai interestel·lar no hi pot haver aigua líquida. Un altre exemple és el del gel carbònic, que tots hem vist que s'evapora directament sense passar per líquid, i això és perquè el punt triple del CO₂ està situat aproximadament a uns 5 bar i uns -55 °C. A 1 bar de pressió el gel carbònic ja s'evapora a partir de -80 °C.

Per a molt baixes temperatures, per sota de 0,05 K la temperatura es mesura a partir del valor de la susceptibilitat magnètica (grau de magnetització d'un material en resposta a un camp magnètic) d'algunes substàncies, que varia inversament amb la temperatura. Crec també que aquestes temperatures extremament baixes s'obtenen per mitjà de fenòmens magnètics i que el rècord de temperatura més baixa obtinguda és de 0,000 000 170 K.

Els defensors acèrrims de l'escala Fahrenheit

Com a mera curiositat es pot esmentar que un defensor de l'escala Fahrenheit proposa "racionalitzar" aquesta escala a base de mantenir les "dimensions" d'aquest grau i de posar una temperatura també de 0° a la fusió del gel. D'aquesta manera tindríem 180° per a l'ebullició de l'aigua i -492° per al zero absolut. Argumenta que s'hauria eliminat l'inconvenient principal dels 32 i dels 212° i que aquesta escala permet una millor precisió que la centígrada o Celsius, ja que els intervals d'1° són més petits. A més, amb aquest canvi, la conversió del °C a °F i viceversa seria molt més senzilla, ja que tindríem $^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} * 9/5$ i $^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{F} * 5/9$

Encara amb la fal·lera de defensar i millorar aquesta escala, addicionalment proposa anotar aquests graus en un sistema de numeració de base 12 i no en un sistema de numeració de base 10 (això vol dir comptar per dotzenes i dotzenes de dotzenes, etc, i no pas per desenes i desenes de desenes), amb la qual cosa les temperatures resulten expressades en números encara més "rodons", o sigui igualment 0° per a la fusió del gel, però ja serien 130° per a l'ebullició de l'aigua i -350° per al zero absolut.

Aplicant aquests dos canvis a l'escala Rankine (°F absoluts) resultaria sempre 0° per al zero absolut, per a la fusió del gel 492° en base 10 i 350° en base 12, i per a l'ebullició de l'aigua 672° en base 10 i 480° en escala 12. També aquí en escala 12 resulten unes xifres més "rodones" que en escala decimal.