

Contenido

Introducción	11
1 Termorregulación del cuerpo humano	13
La sobrecarga térmica y la tensión térmica	16
Balance térmico entre la persona y el medio	20
Metabolismo	22
Mecanismos fisiológicos de la termorregulación	22
Sobrecarga calórica	23
Sobrecarga por frío	25
Factores que influyen en el estrés térmico	25
Sexo	26
Constitución corporal	26
Edad	27
Etnia	27
El vestido	29
Aclimatación al calor	29
Indicadores fisiológicos de la tensión calórica	31
Medidas de protección frente al ambiente caluroso	35
Medidas de protección frente al ambiente frío	36
2 Ambiente térmico: magnitudes, unidades e instrumentos de medición	37
Magnitudes y unidades	37
Instrumentos de medida de las temperaturas	38
Mediciones de temperaturas fisiológicas	39
Mediciones de temperaturas psicrométricas	39
Mediciones de la temperatura del aire (t_a), la temperatura de bulbo húmedo (t_{bh}) y de la humedad relativa (HR)	40
Humedad absoluta (HA) y humedad relativa (HR)	41
Medición de la humedad del aire mediante un higrómetro	42
Punto de rocío (t_{pr})	44
Medición de la temperatura del aire natural (t_{an}) y de la temperatura de bulbo húmedo natural (t_{bhn})	45
Relación entre temperatura húmeda y temperatura húmeda natural	45
Medición de la temperatura de globo (t_g) y cálculo de la temperatura radiante media (TRM)	46
Temperatura operativa (t_o)	48

Temperatura efectiva (TE) y temperatura efectiva corregida (TEC)	48
Velocidades del aire: absoluta (v_a) y relativa (v_{ar})	50
Velocidad del aire absoluta (v_a)	51
Velocidad del aire relativa (v_{ar})	51
Medición de la velocidad del aire (v_a)	51
El anemómetro de aspas	52
El catatermómetro	53
El termoanemómetro	53
El calor metabólico	54
Medición del gasto energético	56
Calorimetría directa	56
Calorimetría indirecta	56
Medición del gasto energético mediante el control de los alimentos	56
Medición del gasto energético mediante el consumo de oxígeno	57
Condiciones BTPS, ATPS y STPD	58
Medición del gasto energético por la frecuencia cardíaca	60
Estimación del gasto energético mediante tablas	60
Metabolismo de un ciclo de trabajo	66
Propiedades térmicas del vestido	66
3 Balance térmico	67
Ecuación general de balance térmico	67
Metabolismo (M)	68
Trabajo externo (W)	69
Intercambio de calor por radiación (R)	69
Intercambio de calor por convección (C)	71
Pérdida de calor por evaporación del sudor (E)	72
Pérdida de calor por respiración (C_{res}) y (E_{res})	72
Pérdida de calor por difusión del vapor en la piel (E_d)	73
Conducción de calor a través del vestido ($C_{cond.clo}$)	74
4 Índice de valoración medio (IVM) de Fanger	75
Fanger y la ecuación de confort	75
Condiciones para establecer el confort térmico	76
Diferencias individuales	77
Criterios de valoración del confort térmico	78
Recomendaciones para el confort térmico en trabajos sedentarios	78
Temperatura del aire	78
Fuentes de calor radiante	79
Humedad relativa	80
Velocidad del aire	81
Curvas de confort	82
Índice de valoración medio (IVM) y porcentaje de personas insatisfechas (PPI)	82
Nivel de actividad	93
Corrección del IVM	93

Cálculo de la temperatura radiante media (TRM)	93
Porcentaje de personas insatisfechas (PPI)	98
Aplicabilidad del método de Fanger	99
5 Índice de sobrecarga calórica (ISC) (heat stress index)	101
Interpretación del índice ISC	103
Tiempo de exposición permisible (TEP) y tiempo de recuperación (TR)	105
Aplicabilidad del índice ISC	106
6 Índice de temperatura de globo y de bulbo húmedo (WBGT-Index)	107
Metodología para la medición	107
Ponderación por metabolismo, tiempo de actividad y posición del operario	109
Coeficientes de descanso	111
Aplicabilidad del índice WBGT	112
7 Índice de sudoración requerida (SWreq)	113
Flujo máximo de calor por evaporación en la superficie de la piel	113
Cálculo de la evaporación requerida, de la humedad requerida y del índice de sudoración requerido	114
Interpretación del método de la sudoración requerida (SWreq)	115
Análisis de la situación de trabajo	116
Determinación del tiempo de exposición permitido (DLE)	118
Organización del trabajo en ambientes de estrés térmico	119
Cálculo de los términos de la ecuación de balance térmico	119
Flujo de calor por convección respiratoria (C_{res})	119
Flujo de calor por evaporación respiratoria (E_{res})	119
Flujo de calor por radiación (R)	120
Flujo de calor por convección (C)	120
Otros términos necesarios para el cálculo de SW_{req}	121
Temperatura de la piel (t_p)	121
Factor de reducción del vestido (F_{clo})	122
Resistencia total a la evaporación (R_e)	122
Eficiencia evaporativa del sudor (r_p)	122
Velocidad relativa del aire (v_{ar})	122
Validez y aplicación del SW_{req}	123
8 Estrés por frío	125
Enfriamiento general del cuerpo humano	125
Índice del aislamiento del vestido requerido (IREQ, Norma ISO 11079)	128
Flujo de calor por la respiración (C_{res} y E_{res})	129
Flujo de calor por evaporación del sudor (E)	130
Flujo de calor por convección (C)	131
Flujo de calor por radiación (R)	132
Flujo de calor a través del vestido	133
Cálculo del aislamiento del vestido requerido (IREQ)	133

Definición y cálculo del tiempo límite de exposición (DLE)	134
Enfriamiento de la piel por convección. Índice de viento frío (WCI)	135
Enfriamiento de las extremidades	136
Enfriamiento por conducción	137
Enfriamiento del aparato respiratorio	137
Medidas contra el frío	138
9 Problemas, casos y soluciones	141
Comentarios generales y criterios de aplicación	141
Método de Fanger	141
Método del índice de sobrecarga calórica (ISC)	141
Método del índice de temperatura de globo y de bulbo húmedo (WBGT)	142
Método del índice de sudoración requerida (SWreq)	142
Método del índice del aislamiento del vestido requerido (IREQ)	142
Método del índice de viento frío (WCI)	142
Ejemplo 1	143
Ejemplo 2	147
Problemas planteados con resolución numérica	150
10 El programa Spring 3.0	167
Introducción	167
Instalación de la aplicación	168
Evaluación del confort y el estrés térmico utilizando el programa Spring	168
Introducción de datos	168
Selección de índices e introducción de los valores de los parámetros	169
Selección del aislamiento del vestido	171
Menú de resultados obtenidos	172
Ventana resumen de resultados	174
Ventana de visualización de la influencia de la velocidad del aire	176
Ventana de impresión de parámetros térmicos	177
Anexo 1 Definiciones, magnitudes y unidades	179
Definiciones	179
Magnitudes y unidades	181
Anexo 2 Normativa española	183
Anexo 3 Índice analítico	187
Anexo 4 Formulario	191
Anexo 5 Tabla de conversiones	199
Bibliografía	203