

Trabajo Fin de Grado

ANEXOS

OPTIMIZACIÓN DEL CÁLCULO DE AISLAMIENTO
TÉRMICO EN PLANTAS INDUSTRIALES

OPTIMIZATION OF THE CALCULATION OF THERMAL
INSULATION IN INDUSTRIAL PLANT

Autor/es

Julia Alonso Martín

Director/es

Javier Blasco Alberto

Titulación del autor

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Escuela de Ingeniería y Arquitectura / Universidad de Zaragoza

2021-2022

ÍNDICE

ANEXO I. Normas	4
Norma ISO 12241.....	4
Norma ASTM C-680.....	6
Nomenclatura.....	11
ANEXO II. Base de datos.....	14
ANEXO III. Código de programación del software de cálculo online.....	30
Fórmulas.....	30
Casos de cálculo	47
Formularios y recogida de datos	151
Página principal.....	161
ANEXO IV. Procedimiento de cálculo del flujo de calor y la temperatura superficial	164
Cálculo del flujo de calor y la temperatura superficial según la norma ISO 12241	164
Cálculo del flujo de calor y la temperatura superficial según la norma ASTM C-680.....	166
ÍNDICE DE TABLAS	168

ANEXO I. Normas

A continuación, se detallan todas las ecuaciones extraídas de las normas ISO 12241 y ASTM C-680, con la nomenclatura correspondiente de cada una. Ambas proporcionan reglas para realizar cálculos relacionados con la transferencia de calor en equipos de plantas industriales.

Norma ISO 12241

- Coefficiente superficial de transferencia de calor, h

$$h = h_r + h_{cv} \quad (1)$$

- Coefficiente superficial de transferencia de calor por radiación, h_r

$$h_r = a_r C_r \quad (2)$$

Donde:

$$a_r = \frac{(T_1)^4 - (T_2)^4}{T_1 - T_2} \quad (3)$$

$$C_r = \varepsilon \sigma \quad (4)$$

Constante de Stefan-Boltzmann: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

- Coefficiente superficial de transferencia de calor por convección h_{cv}

$$\Delta\theta = |\theta_{se} - \theta_a| \quad (5)$$

Localización	Flujo de aire	Pared	Tubería vertical	Tubería horizontal	Tanque esférico	Conducto
Interior	Laminar	6	6*	8	7	6*
	Turbulento	7	7	9		7
Exterior	Laminar	10	12	12	10*	10*
	Turbulento	11	13	13	11*	11*

Tabla 1. Coeficiente superficial de transferencia de calor por convección para distintos elementos y situaciones según la ISO 12241.

En las fórmulas con * se toma $H = D_e$ en tuberías y esferas y $H = P_e$ en conductos.

$$h_{cv} = 1,32 \sqrt[4]{\frac{\Delta\theta}{H}} \quad H^3 \Delta\theta \leq 10 m^3 \cdot K \quad (6)$$

$$h_{cv} = 1,74 \sqrt[3]{\Delta\theta} \quad H^3 \Delta\theta > 10 \text{ m}^3 \cdot K \quad (7)$$

$$h_{cv} = 1,25 \sqrt[4]{\frac{\Delta\theta}{D_e}} \quad D_e^3 \Delta\theta \leq 10 \text{ m}^3 \cdot K \quad (8)$$

$$h_{cv} = 1,21 \sqrt[3]{\Delta\theta} \quad D_e^3 \Delta\theta > 10 \text{ m}^3 \cdot K \quad (9)$$

$$h_{cv} = 3,96 \sqrt{\frac{v}{H}} \quad v H \leq 8 \text{ m}^2/s \quad (10)$$

$$h_{cv} = 5,76 \sqrt[5]{\frac{v^4}{H}} \quad v H > 8 \text{ m}^2/s \quad (11)$$

$$h_{cv} = \frac{8,1 \cdot 10^{-3}}{D_e} + 3,14 \sqrt{\frac{v}{D_e}} \quad v D_e \leq 8,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/s \quad (12)$$

$$h_{cv} = 8,9 \frac{v^{0,9}}{D_e^{0,1}} \quad v D_e > 8,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/s \quad (13)$$

- Resistencias térmicas

Resistencia térmica	Pared	Tubería	Tanque esférico	Conducto
Del aislamiento	$R_s = \frac{d}{\lambda}$ (14)	$R_l = \frac{\ln \frac{D_e}{D_i}}{2 \pi \lambda}$ (15)	$R_{sph} = \frac{1}{2 \pi \lambda} \left(\frac{1}{D_i} - \frac{1}{D_e} \right)$ (16)	$R_d = \frac{2 d}{\lambda (P_e + P_i)}$ (17)
De la superficie exterior	$R_{se} = \frac{1}{h_{se}}$ (18)	$R_{le} = \frac{1}{h_{se} \pi D_e}$ (19)	$R_{sph,e} = \frac{1}{h_{se} \pi D_e^2}$ (20)	$R_{de} = \frac{1}{h_{se} P_e}$ (21)
Total	$R_T = R_s + R_{se}$ (22)	$R_T = R_l + R_{le}$ (23)	$R_T = R_{sph} + R_{sph,e}$ (24)	$R_T = R_d + R_{de}$ (25)

Tabla 2. Resistencias térmicas de cada elemento según la ISO 12241.

Se considera $h_{se} = h$.

- Flujo de calor y temperatura superficial exterior

	Pared	Tubería	Tanque esférico	Conducto
Flujo de calor	$q_s = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_T}$ (26)	$q_l = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_T}$ (27)	$\Phi_{sph} = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_T}$ (28)	$q_d = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_T}$ (29)
Temperatura superficial exterior	$\theta_{se} = \theta_a + R_{se} \left(\frac{\theta_i - \theta_a}{R_T} \right)$ (30)	$\theta_{se} = \theta_a + R_{le} \left(\frac{\theta_i - \theta_a}{R_T} \right)$ (31)	$\theta_{se} = \theta_a + R_{sph,e} \left(\frac{\theta_i - \theta_a}{R_T} \right)$ (32)	$\theta_{se} = \theta_a + R_{de} \left(\frac{\theta_i - \theta_a}{R_T} \right)$ (33)

Tabla 3. Flujo de calor transferido y temperatura superficial exterior de cada elemento según la ISO 12241.

- Variación de la temperatura longitudinal en una tubería o conducto

$$|\theta_{fm} - \theta_a| = |\theta_{im} - \theta_a| e^{-\alpha l} \quad (34)$$

Donde α es el coeficiente de caída de temperatura longitudinal:

$$\alpha = \frac{U_{T,l} 3,6}{\dot{m} c_p} \quad (35)$$

$$U_{T,l} = \frac{1}{R_T} \quad (36)$$

Norma ASTM C-680

- Coeficiente superficial de transferencia de calor h

$$h = h_r + h_c \quad (37)$$

- Coeficiente superficial de transferencia de calor por radiación h_r

$$h_r = \frac{\sigma \varepsilon (T_s^4 - T_o^4)}{T_s - T_o} \quad (38)$$

Constante de Stefan-Boltzmann: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

- Coefficiente superficial de transferencia de calor por convección h_c

$$\overline{h_c} = \frac{\overline{Nu_L} k_f}{L} \quad (39)$$

$$\overline{h_c} = \frac{\overline{Nu_D} k_f}{D} \quad (40)$$

Convección	Orientación	Flujo de aire	Pared	Tubería	Tanque esférico
Forzada	Vertical / Horizontal	Laminar	41	48	50
		Turbulento	42		
Natural	Vertical	Laminar	44	44	51
		Turbulento	43	43	
	Horizontal	Laminar	*Calor fluyendo hacia arriba (45 y 46) Calor fluyendo hacia abajo (47)	49	
		Turbulento			

Tabla 4. Numero adimensional de Nusselt para distintos elementos y situaciones según la ASTM C-680.

En la fórmula con * se toma como dimensión característica $L = \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}} = \frac{L H}{2L+2H}$.

$$\overline{Nu_{f,L}} = \frac{0,6774 \cdot Re_L^{1/2} \cdot Pr^{1/3}}{[1 + (0,0468/Pr)^{2/3}]^{1/4}} \quad Re_L < 5 \cdot 10^5 \quad (41)$$

$$\overline{Nu_{f,L}} = (0,037 \cdot Re_L^{4/5} - 871) \cdot Pr^{2/3} \quad 5 \cdot 10^5 < Re_L < 10^8 \quad (42)$$

$$\overline{Nu_{n,L}} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra_L^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad All Ra_L \quad (43)$$

$$\overline{Nu_{n,L}} = 0,68 + \frac{0,670 \cdot Ra_L^{1/4}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad Ra_L < 10^9 \quad (44)$$

$$\overline{Nu_{n,L}} = 0,54 \cdot Ra_L^{1/4} \quad 10^4 < Ra_L < 10^7 \quad (45)$$

$$\overline{Nu_{n,L}} = 0,15 \cdot Ra_L^{1/3} \quad 10^7 < Ra_L < 10^{11} \quad (46)$$

$$\overline{Nu_{n,L}} = 0,27 \cdot Ra_L^{1/4} \quad 10^5 < Ra_L < 10^{10} \quad (47)$$

$$\overline{Nu_{f,D}} = 0,3 + \frac{0,62 \cdot Re_D^{1/2} \cdot Pr^{1/3}}{[1 + (0,4/Pr)^{2/3}]^{1/4}} \cdot \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad (48)$$

$$Re_D \cdot Pr > 0,2$$

$$\overline{Nu_{n,D}} = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad Ra_L < 10^{12} \quad (49)$$

$$\overline{Nu_{f,D}} = 2 + (0,4 \cdot Re_D^{1/2} + 0,06 \cdot Re_D^{2/3}) \cdot Pr^{0,4} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{1/4} \quad (50)$$

$$0,71 < Pr < 380$$

$$3,5 < Re_D < 7,6 \cdot 10^4$$

$$1,0 < (\mu/\mu_s) < 3,2$$

$$\overline{Nu_{n,D}} = 2 + \frac{0,589 \cdot Ra_D^{1/4}}{[1 + (0,469/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad (51)$$

$$0,7 \leq Pr$$

$$Ra_D < 10^{11}$$

Previamente es necesario calcular una serie de propiedades del fluido ambiente, el aire, en función de la temperatura y, a partir de estas, los números adimensionales de Rayleigh, Reynolds y Prandtl.

- Cálculo de las propiedades del fluido ambiente

Según indica la norma ASTM C-680 el fluido ambiente es aire seco a presión atmosférica. Esta proporciona una serie de fórmulas para calcular el valor de algunas propiedades del aire en función de la temperatura de película:

$$T_f = \frac{T_s + T_o}{2} \quad (52)$$

La temperatura de película se denominará T_f si sus unidades son grados Fahrenheit o T_k si son grados Kelvin.

Existe una excepción, la esfera con convección forzada, en la que se usa directamente la temperatura ambiente T_o .

Conductividad térmica:

$$k_f = \frac{6,325 \cdot 10^{-6} \sqrt{T_k}}{1 + \frac{245,4 \cdot 10^{-12}/T_k}{T_k}} 241,77 \quad (53)$$

Densidad:

$$\rho = \frac{22,0493}{T_k} \quad (54)$$

Viscosidad dinámica:

$$\mu = \frac{145,8 T_k \sqrt{T_k}}{T_k + 110,4} 241,9 \cdot 10^{-7} \quad (55)$$

Viscosidad cinemática:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (56)$$

Calor específico:

$$c_p = 0,24008 - T_f [1,2477 \cdot 10^{-6} - T_f (4,0489 \cdot 10^{-8} - 1,6088 \cdot 10^{-11} T_f)] \quad (57)$$

Coeficiente de expansión térmica volumétrico:

$$\beta = \frac{1}{1,8 T_k} \quad (58)$$

- Calculo de los números adimensionales

$$\Delta T = |T_s - T_o| \quad (59)$$

Número de Rayleigh:

$$Ra_L = \frac{g \beta \rho c_p (\Delta T) L^3}{\nu k_f} \quad (60)$$

$$Ra_D = \frac{g \beta \rho c_p (\Delta T) D^3}{\nu k_f} \quad (61)$$

Número de Reynolds:

$$Re_L = \frac{V L}{\nu} \quad (62)$$

$$Re_D = \frac{V D}{\nu} \quad (63)$$

Número de Prandlt:

$$Pr = \frac{v \rho c_p}{k_f} \quad (64)$$

- Resistencias térmicas

Resistencia térmica	Pared	Tubería	Tanque esférico
Del aislamiento	$R_m = \frac{d}{k}$ (65)	$R_m = \frac{r_e \ln \frac{r_e}{r_i}}{k}$ (66)	$R_m = \frac{r_e^2 (r_e - r_i)}{k r_e r_i}$ (67)
De la superficie exterior	$R_o = \frac{1}{h_o}$ (68)		
Total	$R_T = R_m + R_o$ (69)		

Tabla 5. Resistencias térmicas de cada elemento según la ASTM C-680.

Siendo $r_e = D_e/2$ y $r_i = D_i/2$.

Se considera $h_o = h$.

- Flujo de calor y temperatura superficial exterior

$$q = \frac{T_i - T_o}{R_T} \quad (70)$$

$$T_s = T_o + q R_o \quad (71)$$

Nomenclatura

En la siguiente tabla se muestran la simbología que usa la norma en las fórmulas indicadas anteriormente y sus unidades.

Símbolo ISO	ASTM C-680	Definición	Unidades ISO	Unidades ASTM
a_r	-	Factor de temperatura	K^{-3}	-
C_r	-	Coeficiente de radiación	$\frac{W}{m^2 K^4}$	-
d	d	Espesor de aislamiento	m	m
D_e	D_e	Diámetro exterior de tubería o tanque esférico	m	m
D_i	D_i	Diámetro interior de tubería o tanque esférico	m	m
H	L	Altura de pared	m	m
h	h	Coeficiente superficial de transferencia de calor total	$\frac{W}{m^2 K}$	$\frac{W}{m^2 K}$
h_{cv}	h_c	Coeficiente superficial de transferencia de calor por convección	$\frac{W}{m^2 K}$	$\frac{W}{m^2 K}$
h_r	h_r	Coeficiente superficial de transferencia de calor por radiación	$\frac{W}{m^2 K}$	$\frac{W}{m^2 K}$
h_{se}	h_o	Coeficiente superficial de transferencia de calor de la superficie exterior	$\frac{W}{m^2 K}$	$\frac{W}{m^2 K}$
l	L	Longitud de la tubería o conducto rectangular	m	m
P_e	P_e	Perímetro exterior de conducto rectangular	m	m
q_l	q	Flujo de calor en una tubería	$\frac{W}{m}$	$\frac{W}{m^2}$
q_d	-	Flujo de calor en un conducto rectangular	$\frac{W}{m}$	-
q_s	q	Flujo de calor en una pared	$\frac{W}{m^2}$	$\frac{W}{m^2}$
R_d	-	Resistencia térmica de un conducto rectangular	$\frac{m K}{W}$	-

R_{de}	-	Resistencia térmica de la superficie de un conducto rectangular	$\frac{m K}{W}$	-
R_l	R_m	Resistencia térmica de una tubería	$\frac{m K}{W}$	$\frac{m^2 K}{W}$
R_{le}	R_o	Resistencia térmica de la superficie de una tubería	$\frac{m K}{W}$	$\frac{m^2 K}{W}$
R_s	R_m	Resistencia térmica de una pared	$\frac{m^2 K}{W}$	$\frac{m^2 K}{W}$
R_{se}	R_o	Resistencia térmica de la superficie de una pared	$\frac{m^2 K}{W}$	$\frac{m^2 K}{W}$
R_{sph}	R_m	Resistencia térmica de un tanque esférico	$\frac{K}{W}$	$\frac{m^2 K}{W}$
$R_{sph,e}$	R_o	Resistencia térmica de la superficie de un tanque esférico	$\frac{K}{W}$	$\frac{m^2 K}{W}$
-	T_f	Temperatura de película	-	$^{\circ}F$
-	T_K	Temperatura de película	-	K
T_1	T_s	Temperatura de la superficie exterior	K	K
T_2	T_o	Temperatura ambiente	K	K
$U_{T,l}$	-	Transmitancia térmica	$\frac{W}{m K}$	-
v	V	Velocidad del aire	$\frac{m}{s}$	$\frac{m}{s}$
α	-	Coefficiente de caída de temperatura longitudinal	m^{-1}	-
λ		Conductividad térmica		
ε	ε	Emisividad del revestimiento	-	-
Φ_{sph}	q	Flujo de calor en un tanque esférico	W	$\frac{W}{m^2}$
θ_{se}	T_s	Temperatura de la superficie exterior	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$
θ_a	T_o	Temperatura ambiente	$^{\circ}C$	
θ_i	T_i	Temperatura del fluido	$^{\circ}C$	
θ_{fm}	-	Temperatura final del fluido	$^{\circ}C$	-
θ_{im}	-	Temperatura inicial del fluido	$^{\circ}C$	-
$\Delta\theta$	ΔT	Diferencia de temperaturas	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$

-	k_f	Conductividad térmica del aire	-	$\frac{W}{m\ K}$
-	ρ	Densidad del aire	-	$\frac{kg}{m^3}$
-	μ	Viscosidad dinámica del aire	-	$\frac{N\ s}{m^2}$
-	ν	Viscosidad cinemática del aire	-	$\frac{m^2}{s}$
-	c_p	Calor específico del aire	-	$\frac{J}{kg\ K}$
-	β	Coefficiente de expansión térmica volumétrico del aire	-	$\frac{1}{K}$
-	Ra	Número de Rayleigh	-	-
-	Re	Número de Reynolds	-	-
-	Pr	Número de Prandtl	-	-
-	Nu	Número de Nusselt	-	-

Tabla 6. Nomenclatura usada por las normas ISO 12241 y ASTM C-680.

ANEXO II. Base de datos

A continuación, se muestra el listado de todos los productos recopilados y sus propiedades de PAROC, ISOVER y KNAUF INSULATION:

Manufacturer	Product	id	Type	Material	Density (kg/m3)	Max. service temperature (°C)
PAROC	PAROC Pro Slab 350	1	3 slab	Stonewool	40	350
PAROC	PAROC Pro Mat 50	2	1 loose mat 2 mat	Stonewool	50	350
PAROC	PAROC Pro Lamella Mat	3	2 lamella mats	Stonewool	50	500
PAROC	PAROC Pro Slab 450	4	3 slab	Stonewool	60	450
PAROC	PAROC Pro Mat 70	5	2 mat	Stonewool	70	350
PAROC	PAROC Pro Loose Mat 70	6	Loose mat	Stonewool	70	600
PAROC	PAROC Pro Wired Mat 550	7	6 wired mat	Stonewool	70	600
PAROC	PAROC Pro Lamella Mat 80 AluCoat	8	Lamella mats	Stonewool	80	500
PAROC	PAROC Pro Mat 80	9	2 mat	Stonewool	80	550
PAROC	PAROC Pro Loose Mat 80	10	Loose mat	Stonewool	80	600
PAROC	PAROC Pro Slab 640	11	3 slab	Stonewool	80	640
PAROC	PAROC Pro Wired Mat 660	12	10 wired mat	Stonewool	80	660
PAROC	PAROC Pro Wired Mat 680	13	3 wired mat	Stonewool	80	680
PAROC	PAROC Pro Roof Slab 20 kPa	14	2 slab	Stonewool	90	550
PAROC	PAROC Pro Lamella Mat 100 AluCoat	15	Lamella mats	Stonewool	100	500
PAROC	PAROC Pro Mat 100 PAROC Pro Roof Slab 30 kPa	16	2 mat 1 slab	Stonewool	100	550
PAROC	PAROC Pro Loose Mat 100	17	Loose mat	Stonewool	100	600
PAROC	PAROC Pro 100	18	2 bend 6 segment 2 curve	Stonewool	100	640

			8 pipe section			
PAROC	PAROC Pro Slab 660	19	3 slab	Stonewool	100	660
PAROC	PAROC Pro Wired Mat 680	20	7 wired mat	Stonewool	100	680
PAROC	PAROC Pro 120	21	1 bend 4 segment 2 curve 2 pipe section	Stonewool	120	640
PAROC	PAROC Pro Slab 680	22	3 slab	Stonewool	120	680
PAROC	PAROC Pro Wired Mat 130	23	7 wired mat	Stonewool	130	680
PAROC	PAROC Pro 140	24	3 bend 6 segment 2 curve 5 pipe section	Stonewool	140	680
PAROC	PAROC Pro Roof Slab 50 kPa	25	2 slab	Stonewool	150	660
PAROC	PAROC Pro Slab 700	26	4 slab	Stonewool	150	700
PAROC	PAROC Pro Roof Slab 80 kPa	27	Slab	Stonewool	180	660
PAROC	PAROC Chimney Section	28	Pipe section	Stonewool	-	640
PAROC	PAROC Pro DL1	29	2 segment 2 pipe section	Stonewool	DL1: 140 DL2: 100	680 640
PAROC	PAROC Pro Loose Wool BL	30	Granulated	Stonewool	-	-
ISOVER	U Protect Pipe Section Alu2 - Industry	31	Pipe section	ULTIMATE mineral wool		620
ISOVER	U TECH Pipe Section Mat MT 7.0 G1 Ø ≥ 500 mm	32	Mat	ULTIMATE mineral wool		620
ISOVER	U TECH Pipe Section Mat MT 7.0 G1 Ø < 500 mm	33	Mat	ULTIMATE mineral wool		620
ISOVER	TECH Pipe Section MT 4.0	34	Pipe section	Glasswool		400
ISOVER	TECH Pipe Section MT 4.1	35	Pipe section	Glasswool		650
ISOVER	TECH Pipe Section MT 4.2	36	Pipe section	Glasswool		500

ISOVER	U TECH Pipe Section MT 4.0	37	Pipe section	ULTIMATE mineral wool		660
ISOVER	TECH Lamella Mat MT 2.1 Alu2	38	Lamella mats	Stonewool		250
ISOVER	TECH Lamella Mat MT 2.0	39	Lamella mats	Glasswool		400
ISOVER	CRYOLENE 681 AA&VV	40	Roll	Glasswool		-170 to 120
ISOVER	CRYOLENE 682/684 AA&VV	41	2 roll	Glasswool		-170 to 120
ISOVER	TECH Crimped Roll 1.0 Alu1	42	Roll	Glasswool		350
ISOVER	TECH Crimped Roll 2.0 Alu1	43	Roll	Glasswool		350
ISOVER	TECH Roll 2.0 Alu2	44	Roll	Glasswool		250
ISOVER	TECH Roll/Slab 3.0	45	1 roll 2 slab	Glasswool		300
ISOVER	U TECH Roll MT 4.0 Alu1/V1	46	Roll	ULTIMATE mineral wool		460
ISOVER	U TECH Roll/Slab 2.0 Alu1/V1/V2	47	1 roll 1 slab	ULTIMATE mineral wool		360
ISOVER	METAC FLP1 Duratec	48	Slab	Stonewool		680
ISOVER	TECH Slab MT 2.2 V2	49	Slab	Stonewool		560
ISOVER	TECH Slab MT 4.0	50	Slab	Stonewool		620
ISOVER	TECH Slab MT 4.1 Alu2/V1	51	Slab	Stonewool		640
ISOVER	TECH Slab/Wired Mat MT 3.0	52	1 slab 1 wired mat	Stonewool		550
ISOVER	U TECH Slab MT 3 Alu1/V1/V2	53	2 slab	ULTIMATE mineral wool		400
ISOVER	U TECH Slab/Wired Mat MT 5.0 Alu1/V1/	54	1 slab 1 wired mat	ULTIMATE mineral wool		540
ISOVER	TECH Slab 2.0 Alu1/V1	55	Slab	Glasswool		175
ISOVER	TECH Slab 2.1 V1/V2	56	Slab	Stonewool		300
ISOVER	TECH Slab MT 3.1 Alu2/V1	57	Slab	Stonewool		600
ISOVER	U TECH Slab/Wired Mat MT 6.0 Alu1/V1/	58	1 slab 1 wired mat	ULTIMATE mineral wool		620
ISOVER	TECH Slab HT 6.1	59	Slab	Stonewool		700
ISOVER	TECH Slab MT 5.1	60	Slab	Stonewool		660

ISOVER	TECH Wired Mat MT 3.1 Alu1/X/X-X	61	Wired mat	Stonewool		560
ISOVER	TECH Wired Mat HT 6.1	62	Wired mat	Stonewool		700
ISOVER	TECH Wired Mat MT 4.1 Alu1/X/X-X	63	Wired mat	Stonewool		640
ISOVER	TECH Wired Mat MT 4.2 X/X-X	64	Wired mat	Stonewool		600
ISOVER	TECH Wired Mat MT 5.0 Alu1/X/X-X	65	Wired mat	Stonewool		620
ISOVER	TECH Wired Mat MT 5.1 Alu1/X/X-X	66	Wired mat	Stonewool		660
ISOVER	TECH Wired Mat MT 5.2 X/X-X	67	Wired mat	Stonewool		680
ISOVER	TECH Wired Mat MT 6.1 X/X-X	68	Wired mat	Stonewool		680
ISOVER	U TECH Wired Mat MT 4.0 Alu1/V1/X/X-X	69	Wired mat	ULTIMATE mineral wool		560
ISOVER	TECH TELISOL 5.0 QN	70	Wired mat	Glasswool		350
ISOVER	TECH Wired Mat MT 4.0 Alu1/X/X-X	71	Wired mat	Stonewool		600
ISOVER	TECH Loose Wool	72	2 loose wool	Glasswool		350
ISOVER	TECH Loose Wool	73	2 loose wool	Stonewool		-200 to 700
KNAUF INSULATION	Power-teK PB 640 ALU	74	Pipe section	Mineral wool	80	640
KNAUF INSULATION	Power-teK PB 680 ALU	75	Pipe section	Rockwool	80	680
KNAUF INSULATION	Power-teK PS 680	76	Pipe section	Mineral wool	110 - 140	680
KNAUF INSULATION	Power-teK LM 450 ALU	77	Lamella mat	Rockwool	40	450
KNAUF INSULATION	Power-teK LM 550 ALU	78	Lamella mat	Mineral wool	60	550
KNAUF INSULATION	Power-teK LM 640 ALU	79	Lamella mat	Rockwool	80	640
KNAUF INSULATION	Power-teK LM 700 ALU	80	Lamella mat	Mineral wool	95	700
KNAUF INSULATION	Power-teK RL 220	81	Roll	Mineral wool	22	220
KNAUF INSULATION	Power-teK BD 350/ALU*	82	Slab	Mineral wool	45	350
KNAUF INSULATION	Power-teK BD 450/ALU	83	Slab	Mineral wool	50	450
KNAUF INSULATION	Power-teK BD 550/ALU	84	Slab	Mineral wool	60	550

KNAUF INSULATION	Power-teK BD 620/ALU	85	Slab	Mineral wool	70	620
KNAUF INSULATION	Power-teK BD 640/ALU	86	Slab	Mineral wool	80	640
KNAUF INSULATION	Power-teK BD 660/ALU	87	Slab	Mineral wool	100	660
KNAUF INSULATION	Power-teK BD 680/ALU	88	Slab	Mineral wool	120	680
KNAUF INSULATION	Power-teK BD 700/ALU	89	Slab	Mineral wool	150	700
KNAUF INSULATION	Power-teK BD 775	90	Slab	Mineral wool	150	450
KNAUF INSULATION	Power-teK CM 620 ALU	91	Mat	Mineral wool	70	620
KNAUF INSULATION	Power-teK WM/FM 620	92	1 Wired mat 1 Felt mat	Mineral wool	70	620
KNAUF INSULATION	Power-teK WM/FM 640	93	1 Wired mat 1 Felt mat	Mineral wool	80	640
KNAUF INSULATION	Power-teK WM/FM 660	94	1 Wired mat 1 Felt mat	Mineral wool	100	660
KNAUF INSULATION	Power-teK WM 680	95	Wired mat	Mineral wool	120	680
KNAUF INSULATION	Power-teK LW 020	96	Loose wool	Mineral wool	-	-
KNAUF INSULATION	Power-teK LW CRY	97	Loose wool	Mineral wool	-	150
KNAUF INSULATION	Power-teK LW STD	98	Loose wool	Mineral wool	-	-

Tabla 7. Productos utilizados como aislantes en la industria y sus propiedades.

Se han agrupado los productos que poseen exactamente las mismas propiedades para unificar. De esta manera, el listado se ha reducido de 205 productos a 98.

La conductividad térmica es una propiedad que varía con la temperatura, por lo que cada elemento tiene asociado un número correlativo denominado id y, en la siguiente tabla se muestran las conductividades asociadas a cada material en función de la temperatura:

id_mater	Temperature	Conductivity
1	10	0,036
1	50	0,042
1	100	0,053
1	150	0,066
1	200	0,083

1	300	0,125
1	350	0,148
2	50	0,042
2	100	0,054
2	150	0,068
2	200	0,085

2	250	0,106
2	300	0,132
2	400	0,199
3	10	0,039
3	50	0,045
3	100	0,055
3	150	0,066
3	200	0,081
3	250	0,099
3	300	0,12
4	10	0,035
4	50	0,04
4	100	0,047
4	150	0,056
4	200	0,067
4	300	0,095
4	400	0,129
4	450	0,149
5	50	0,042
5	100	0,048
5	150	0,056
5	200	0,067
5	250	0,08
5	300	0,097
6	50	0,042
6	100	0,048
6	150	0,056
6	200	0,067
6	250	0,08
6	300	0,097
6	400	0,142
7	10	0,037
7	50	0,042
7	100	0,049

7	150	0,057
7	200	0,067
7	250	0,079
7	300	0,093
7	400	0,126
7	500	0,166
7	600	0,215
8	10	0,042
8	50	0,047
8	100	0,055
8	150	0,064
8	200	0,074
8	250	0,086
8	300	0,1
8	400	0,132
8	500	0,174
9	50	0,043
9	100	0,047
9	150	0,055
9	200	0,065
9	250	0,078
9	300	0,095
9	400	0,138
9	500	0,196
10	50	0,043
10	100	0,047
10	150	0,055
10	200	0,065
10	250	0,078
10	300	0,095
10	400	0,138
10	500	0,196
11	10	0,035
11	50	0,039

11	100	0,045
11	150	0,053
11	200	0,062
11	300	0,084
11	400	0,112
11	500	0,144
11	600	0,185
11	640	0,203
12	10	0,035
12	50	0,04
12	100	0,046
12	150	0,053
12	200	0,062
12	250	0,072
12	300	0,084
12	400	0,111
12	500	0,146
12	600	0,19
13	660	0,213
13	10	0,035
13	50	0,039
13	100	0,045
13	150	0,051
13	200	0,059
13	250	0,068
13	300	0,078
13	400	0,102
13	500	0,131
13	600	0,167
14	50	0,043
14	100	0,047
14	150	0,055
14	200	0,065
14	250	0,078

14	300	0,095
14	400	0,138
14	500	0,196
15	10	0,042
15	50	0,047
15	100	0,055
15	150	0,064
15	200	0,074
15	250	0,086
15	300	0,1
15	400	0,132
15	500	0,174
16	50	0,043
16	100	0,047
16	150	0,055
16	200	0,065
16	250	0,078
16	300	0,095
16	400	0,138
16	500	0,196
17	50	0,043
17	100	0,047
17	150	0,055
17	200	0,065
17	250	0,078
17	300	0,095
17	400	0,138
17	500	0,196
18	50	0,039
18	100	0,045
18	150	0,054
18	200	0,064
18	250	0,077
18	350	0,092

19	10	0,035
19	50	0,039
19	100	0,045
19	150	0,052
19	200	0,06
19	300	0,081
19	400	0,107
19	500	0,14
19	600	0,175
19	660	0,2
20	10	0,035
20	50	0,039
20	100	0,045
20	150	0,051
20	200	0,059
20	300	0,078
20	400	0,102
20	500	0,131
20	600	0,167
20	680	0,196
21	50	0,041
21	100	0,047
21	150	0,054
21	200	0,063
21	250	0,073
21	350	0,085
21	400	0,11
22	10	0,037
22	50	0,041
22	100	0,046
22	150	0,052
22	200	0,059
22	300	0,077
22	400	0,099

22	500	0,128
22	600	0,162
22	680	0,192
23	10	0,038
23	50	0,041
23	100	0,046
23	150	0,052
23	200	0,059
23	300	0,077
23	400	0,1
23	500	0,128
23	600	0,161
23	680	0,189
24	50	0,041
24	100	0,047
24	150	0,054
24	200	0,063
24	250	0,073
24	350	0,085
24	400	0,11
25	50	0,042
25	100	0,046
25	150	0,052
25	200	0,06
25	250	0,069
25	300	0,081
25	400	0,11
25	500	0,147
25	600	0,192
26	10	0,037
26	50	0,041
26	100	0,046
26	150	0,052
26	200	0,059

26	300	0,077
26	400	0,099
26	500	0,128
26	600	0,162
26	680	0,192
27	50	0,042
27	100	0,046
27	150	0,052
27	200	0,06
27	250	0,069
27	300	0,081
27	400	0,11
27	500	0,147
27	600	0,192
28	50	0,039
28	100	0,045
28	150	0,054
28	200	0,064
28	250	0,077
28	300	0,092
29	50	0,041 0,039
29	100	0,047 0,045
29	150	0,054 0,054
29	200	0,063 0,064
29	250	0,073 0,077
29	350	0,085 0,092
29	400	0,11 -
30	-	-
31	10	0,032
31	50	0,037
31	100	0,043

31	150	0,052
31	200	0,062
31	300	0,092
32	50	0,035
32	100	0,04
32	150	0,046
32	200	0,054
32	300	0,07
32	400	0,091
32	500	0,116
32	600	0,146
33	50	0,038
33	100	0,045
33	150	0,054
33	200	0,065
33	300	0,092
34	50	0,037
34	100	0,045
34	150	0,053
34	200	0,065
34	250	0,08
34	300	0,095
35	50	0,038
35	100	0,045
35	150	0,054
35	200	0,063
35	250	0,073
35	300	0,084
36	10	0,033
36	50	0,036
36	100	0,043
36	200	0,062
36	300	0,092
36	400	0,13

37	40	0,035
37	50	0,037
37	100	0,043
37	150	0,052
37	200	0,062
37	300	0,092
38	10	0,04
38	50	0,046
38	100	0,056
38	150	0,069
38	200	0,084
38	250	0,103
39	50	0,045
39	100	0,054
39	150	0,065
39	200	0,079
39	300	0,12
39	400	0,18
40	-150	0,015
40	-120	0,019
40	-100	0,021
40	-50	0,028
40	0	0,037
41	-150	0,013
41	-120	0,017
41	-100	0,019
41	-50	0,026
41	0	0,034
41	10	0,036
42	50	0,044
42	100	0,056
42	150	0,072
42	200	0,095
42	250	0,12

42	300	0,15
43	50	0,042
43	100	0,053
43	150	0,067
43	200	0,083
43	250	0,104
43	300	0,125
44	50	0,042
44	100	0,053
44	150	0,067
44	200	0,083
45	50	0,038
45	100	0,047
45	150	0,058
45	200	0,07
45	250	0,085
45	300	0,102
46	10	0,032
46	50	0,036
46	100	0,042
46	150	0,051
46	200	0,06
46	300	0,086
46	400	0,122
47	10	0,034
47	50	0,04
47	100	0,049
47	150	0,062
47	200	0,08
47	300	0,124
48	50	0,042
48	100	0,047
48	150	0,053
48	200	0,062

48	300	0,084
48	400	0,112
48	500	0,147
48	600	0,189
48	700	0,228
49	50	0,043
49	100	0,051
49	150	0,063
49	200	0,076
49	300	0,113
49	400	0,164
50	10	0,034
50	50	0,039
50	100	0,045
50	150	0,053
50	200	0,064
50	300	0,088
50	400	0,121
50	500	0,164
50	600	0,219
51	50	0,041
51	100	0,047
51	150	0,055
51	200	0,065
51	300	0,089
51	400	0,118
51	500	0,155
51	600	0,201
52	50	0,039
52	100	0,045
52	150	0,052
52	200	0,063
52	300	0,088
52	400	0,121

52	500	0,162
53	10	0,032
53	50	0,037
53	100	0,045
53	150	0,055
53	200	0,069
53	300	0,104
53	400	0,153
54	10	0,031
54	50	0,036
54	100	0,041
54	150	0,049
54	200	0,057
54	300	0,078
54	400	0,104
54	500	0,138
55	50	0,042
55	100	0,054
55	150	0,068
55	170	0,074
56	50	0,043
56	100	0,053
56	150	0,066
56	200	0,082
56	300	0,124
57	50	0,041
57	100	0,048
57	150	0,058
57	200	0,068
57	300	0,097
57	400	0,134
57	500	0,183
57	600	0,248
58	10	0,031

58	50	0,035
58	100	0,04
58	150	0,047
58	200	0,054
58	300	0,072
58	400	0,096
58	500	0,12
58	600	0,162
59	50	0,039
59	100	0,044
59	150	0,051
59	200	0,058
59	300	0,076
59	400	0,098
59	500	0,123
59	600	0,154
59	650	0,172
60	50	0,041
60	100	0,047
60	150	0,054
60	200	0,063
60	300	0,084
60	400	0,11
60	500	0,143
60	600	0,182
61	50	0,04
61	100	0,047
61	150	0,057
61	200	0,067
61	300	0,094
61	400	0,13
61	500	0,173
61	550	0,185
62	50	0,04

62	100	0,041
62	200	0,05
62	300	0,069
62	400	0,096
62	500	0,13
62	600	0,169
62	650	0,201
63	50	0,039
63	100	0,045
63	200	0,062
63	300	0,084
63	400	0,112
63	500	0,146
63	600	0,192
64	50	0,041
64	200	0,065
64	300	0,09
64	400	0,124
64	500	0,167
64	600	0,217
65	50	0,04
65	100	0,046
65	150	0,052
65	200	0,061
65	300	0,083
65	400	0,11
65	500	0,145
65	600	0,19
66	50	0,039
66	100	0,045
66	200	0,061
66	300	0,081
66	400	0,106
66	500	0,137

66	600	0,175
66	650	0,197
67	50	0,041
67	100	0,047
67	150	0,054
67	200	0,063
67	300	0,082
67	400	0,107
67	500	0,135
67	600	0,171
67	650	0,192
68	50	0,04
68	100	0,045
68	150	0,051
68	200	0,058
68	300	0,076
68	400	0,098
68	500	0,124
68	600	0,156
68	650	0,174
69	10	0,033
69	50	0,037
69	100	0,045
69	200	0,063
69	300	0,088
69	400	0,122
69	500	0,163
70	50	0,038
70	100	0,045
70	150	0,052
70	200	0,062
70	300	0,083
71	50	0,04
71	100	0,047

71	150	0,055
71	200	0,065
71	300	0,09
71	400	0,124
71	500	0,167
71	600	0,217
72	-120	0,017
72	-80	0,022
72	-30	0,027
72	0	0,031
72	50	0,038
72	100	0,045
72	150	0,052
72	200	0,062
72	300	0,083
73	50	0,041
73	100	0,046
73	150	0,054
73	200	0,063
73	300	0,073
73	400	0,082
74	50	0,039
74	100	0,046
74	150	0,054
74	200	0,064
74	250	0,077
74	300	0,091
75	50	0,042
75	100	0,047
75	150	0,054
75	200	0,063
75	300	0,087
75	350	0,102
76	40	0,038

76	50	0,039
76	100	0,045
76	150	0,053
76	200	0,062
76	300	0,087
76	350	0,102
77	50	0,044
77	100	0,054
77	150	0,067
77	200	0,083
77	300	0,13
77	400	0,202
77	450	0,25
78	50	0,043
78	100	0,052
78	200	0,076
78	300	0,109
78	400	0,154
78	500	0,211
78	550	0,256
79	50	0,044
79	100	0,05
79	200	0,068
79	300	0,096
79	400	0,134
79	500	0,182
79	600	0,238
80	50	0,044
80	100	0,05
80	200	0,068
80	300	0,096
80	400	0,134
80	500	0,182
80	600	0,238

80	700	0,304
81	10	0,034
81	50	0,042
81	100	0,054
81	150	0,067
82	50	0,041
82	100	0,05
82	150	0,062
82	200	0,076
82	250	0,094
82	300	0,113
82	350	0,136
83	10	0,037
83	50	0,041
83	100	0,048
83	200	0,071
83	300	0,108
83	400	0,157
83	450	0,186
84	50	0,04
84	100	0,046
84	200	0,067
84	300	0,094
84	400	0,13
84	500	0,176
84	550	0,204
85	50	0,039
85	100	0,046
85	200	0,065
85	300	0,089
85	400	0,12
85	500	0,16
85	600	0,209
86	50	0,04

86	100	0,049
86	200	0,067
86	300	0,092
86	400	0,123
86	500	0,163
86	600	0,215
87	50	0,039
87	100	0,044
87	200	0,06
87	300	0,078
87	400	0,102
87	500	0,132
87	600	0,169
88	50	0,04
88	100	0,045
88	200	0,059
88	300	0,075
88	400	0,096
88	500	0,121
88	600	0,153
88	650	0,18
89	50	0,041
89	100	0,045
89	200	0,059
89	300	0,075
89	400	0,095
89	500	0,119
89	600	0,147
89	700	0,178
90	50	0,042
90	100	0,046
90	150	0,051
90	200	0,058
90	300	0,076

90	400	0,099
90	450	0,112
91	50	0,043
91	100	0,052
91	200	0,075
91	300	0,107
91	400	0,15
91	500	0,2
91	600	0,253
91	620	0,265
92	50	0,04
92	100	0,047
92	200	0,067
92	300	0,094
92	400	0,13
92	500	0,173
92	600	0,228
92	620	0,239
93	50	0,04
93	100	0,046
93	200	0,062
93	300	0,084
93	400	0,112
93	500	0,146
93	600	0,19
94	50	0,04
94	100	0,046
94	200	0,06
94	300	0,079
94	400	0,102
94	500	0,131
94	600	0,166
94	650	0,186
95	50	0,04

95	100	0,047
95	200	0,061
95	300	0,078
95	400	0,098
95	500	0,125
95	600	0,159
95	650	0,179
96	10	0,038
97	-180	0,014
97	-100	0,021
97	-50	0,026
97	0	0,033
97	50	0,041
98	50	0,041
98	100	0,049
98	200	0,067
98	300	0,09
98	400	0,12
98	500	0,156
98	600	0,205

Tabla 8. Conductividades térmicas de cada material en función de la temperatura.

ANEXO III. Código de programación del software de cálculo online

Fórmulas

Este archivo es el que contiene todas las fórmulas extraídas de las normas ISO 12241 y ASTM C-680. Cada fórmula se ha introducido en una función y, en cada función, se ha añadido un registro de la numeración de la fórmula en la propia norma y de los cálculos realizados, para mostrarlo en el procedimiento de cálculo posteriormente.

Las funciones están agrupadas en distintos apartados según a lo que corresponda cada norma. Dichos apartados son:

- Normativa ISO 12241
 - Radiación
 - Convección
 - Coeficiente superficial de transferencia de calor
 - Resistencias térmicas
 - Flujo de calor
 - Temperatura de la superficie exterior
 - Variación longitudinal de la temperatura (tubería y conducto)
- Normativa ASTM C-680

Propiedades del aire

- Radiación
- Convección
- Coeficiente superficial de transferencia de calor
- Resistencias térmicas
- Flujo de calor
- Temperatura de la superficie exterior

```
<?php

//NORMATIVA ISO 12241

//RADIACIÓN

function calc_hr($T_1,$T_2,$epsilon,&$reg){

    $T_1+=273.15; //Temperatura superficie exterior [K]
    $T_2+=273.15; //Temperatura ambiente [K]
    define("SIGMA",5.67*pow(10,-8)); //Constante de Stefan-
    Boltzmann [W/m2·K4]
```

```

        //Fórmula 19: Factor de temperatura
        $a_r = (pow($T_1,4) - pow($T_2,4))/($T_1-$T_2); //[K^3]
        $reg = $reg . "Fórmula 19:  $a_r = (T_1^4 - T_2^4)/(T_1 - T_2) =$ 
$a_r [K^3] <br>";

        //Fórmula 21: Coeficiente de radiación
        $C_r = $epsilon * SIGMA; //[W/m^2.K^4]
        $reg = $reg . "Fórmula 21:  $C_r = \epsilon * \sigma =$  $C_r [W/m^2.K^4]
<br>";

        //Fórmula 18: Coeficiente transferencia de calor por
radiación
        $h_r = $a_r * $C_r; //[W/m^2.K]
        $reg = $reg . "Fórmula 18:  $h_r = a_r * C_r =$  $h_r [W/m^2.K]
<br>";

        return $h_r;
    }

    //CONVECCIÓN

    //Fórmula 22: Paredes y tuberías verticales en interior, flujo
laminar
    function calc_h_cv22($dtheta,$H,&$reg){
        $h_cv = 1.32 * pow(($dtheta/$H),1/4);
        $reg = $reg . "Fórmula 22:  $h_{cv} = 1,32 * (\Delta\theta/H)^{(1/4)} =$  $h_cv
[W/m^2.K] <br>";
        return $h_cv;
    }

    //Fórmula 23: Paredes y tuberías verticales en interior, flujo
turbulento
    function calc_h_cv23($dtheta,&$reg){
        $h_cv = 1.74 * pow($dtheta,1/3);
        $reg = $reg . "Fórmula 23:  $h_{cv} = 1,74 * (\Delta\theta)^{(1/3)} =$  $h_cv
[W/m^2.K] <br>";
        return $h_cv;
    }

    //Comprobación tipo de flujo: fórmulas 22 y 23
    function calc_check1($H,$dtheta,&$reg){
        $check1 = pow($H,3) * $dtheta;
        if ($check1 <= 10) {
            $reg = $reg . "Fórmula 22 verificación:  $(H^3)*(\Delta\theta) \leq 10$ 
[m^3.K] → Flujo laminar <br>";

```

```

        return 0; //Laminar
    } else {
        $reg = $reg . "Fórmula 23 verificación:  $(H^3) \cdot (\Delta\theta) > 10$   

[m^3·K] → Flujo turbulento <br>";
        return 1; //Turbulento
    }
}

//Fórmula 24: Tuberías horizontales en interior, flujo laminar
function calc_h_cv24($dtheta,$D_e,&$reg){
    $h_cv = 1.25 * pow(($dtheta/$D_e),1/4);
    $reg = $reg . "Fórmula 24:  $h_{cv} = 1,25 * (\Delta\theta/D_e)^{(1/4)} =$   

$h_cv [W/m^2·K] <br>";
    //escribe_fichero("Fórmula 24:  $h_{cv} = 1,25 * (\Delta\theta/D_e)^{(1/4)} =$   

$h_cv [W/m^2·K]\n");
    return $h_cv;
}

//Fórmula 25: Tuberías horizontales en interior, flujo turbulento
function calc_h_cv25($dtheta,&$reg){
    $h_cv = 1.21 * pow($dtheta,1/3);
    $reg = $reg . "Fórmula 25:  $h_{cv} = 1,21 * (\Delta\theta)^{(1/3)} =$  $h_cv  

[W/m^2·K] <br>";
    return $h_cv;
}

//Comprobación tipo de flujo: fórmulas 24 y 25
function calc_check2($D_e,$dtheta,&$reg){
    $check2 = pow($D_e,3) * $dtheta;
    if ($check2 <= 10) {
        $reg = $reg . "Fórmula 24 verificación:  $(D_e^3) \cdot (\Delta\theta) \leq 10$   

[m^3·K] → Flujo laminar <br>";
        return 0; //Laminar
    } else {
        $reg = $reg . "Fórmula 25 verificación:  $(D_e^3) \cdot (\Delta\theta) > 10$   

[m^3·K] → Flujo turbulento <br>";
        return 1; //Turbulento
    }
}

//Fórmula 26: Paredes verticales y esferas en exterior, flujo laminar
function calc_h_cv26($v,$H,&$reg){
    $h_cv = 3.96 * sqrt($v/$H);
    $reg = $reg . "Fórmula 26:  $h_{cv} = 3,96 * (v/H)^{(1/2)} =$  $h_cv  

[W/m^2·K] <br>";

```

```

        return $h_cv;
    }

    //Fórmula 27: Paredes verticales y esferas en exterior, flujo
    turbulento
    function calc_h_cv27($v,$H,&$reg){
        $h_cv = 5.76 * pow((pow($v,4)/$H),1/5);
        $reg = $reg . "Fórmula 27:  $h_{cv} = 5,76 * ((v^4)/H)^{(1/5)} =$ 
        $h_cv [W/m^2·K] <br>";
        return $h_cv;
    }

    //Comprobación tipo de flujo: fórmulas 26 y 27
    function calc_check3($H,$v,&$reg){
        $check3 = $v * $H;
        if ($check3 <= 8) {
            $reg = $reg . "Fórmula 26 verificación:  $v \cdot H \leq 8$ 
            [m^2/s] → Flujo laminar <br>";
            return 0; //Laminar
        } else {
            $reg = $reg . "Fórmula 27 verificación:  $v \cdot H > 8$ 
            [m^2/s] → Flujo turbulento <br>";
            return 1; //Turbulento
        }
    }

    //Fórmula 28: Tuberías en exterior, flujo laminar
    function calc_h_cv28($v,$D_e,&$reg){
        $h_cv = (8.1 * pow(10,-3))/ $D_e + 3.14 * sqrt($v/$D_e);
        $reg = $reg . "Fórmula 28:  $h_{cv} = 8,1E-3/D_e + 3,14 *$ 
        ( $v/D_e$ )^(1/2) = $h_cv [W/m^2·K] <br>";
        return $h_cv;
    }

    //Fórmula 29: Tuberías en exterior, flujo turbulento
    function calc_h_cv29($v,$D_e,&$reg){
        $h_cv = 8.9 * pow($v,0.9) / pow($D_e,0.1);
        $reg = $reg . "Fórmula 29:  $h_{cv} = 8,9 * (v^{0,9})/(D_e^{0,1}) =$ 
        $h_cv [W/m^2·K] <br>";
        return $h_cv;
    }

    //Comprobación tipo de flujo: fórmulas 28 y 29
    function calc_check4($D_e,$v,&$reg){
        $check4 = $v * $D_e;
        if ($check4 <= (8.55*pow(10,-3))) {

```

```

        $reg = $reg . "Fórmula 28 verificación:  $v \cdot D_e \leq 8,55E-3$ 
[m^2/s] → Flujo laminar <br>";
        return 0; //Laminar
    } else {
        $reg = $reg . "Fórmula 29 verificación:  $v \cdot D_e > 8,55E-3$ 
[m^2/s] → Flujo turbulento <br>";
        return 1; //Turbulento
    }
}

//COEFICIENTE SUPERFICIAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

function calc_h($h_r,$h_cv,&$reg) {
    $h = $h_r + $h_cv;
    $reg = $reg . "Fórmula 17:  $h = h_r + h_{cv} = \$h$  [W/m^2.K]
<br>";
    return $h;
}

//RESISTENCIAS

//Pared

//Fórmula 3: Resistencia térmica del aislamiento
function calc_RS($d,$lambda,&$reg){
    $R_s = $d/$lambda;
    $reg = $reg . "Fórmula 5:  $R_s = d/\lambda = \$R_s$  [m^2.K/W]
<br>";
    return $R_s;
}

//Fórmula 32: Resistencia térmica de la superficie exterior
function calc_Rse($h_se,&$reg){
    $R_se = 1/$h_se;
    $reg = $reg . "Fórmula 32:  $R_{se} = 1/h = \$R_{se}$  [m^2.K/W]
<br>";
    return $R_se;
}

//Tubería

//Fórmula 7: Resistencia térmica del aislamiento
function calc_Rl($D_e,$D_i,$lambda,&$reg){

```

```

        $R_l = (log($D_e/$D_i))/(2*pi()*$lambda);
        $reg = $reg . "Fórmula 7:  $R_l = \ln(D_e/D_i)/(2*\pi*\lambda) =$   

$R_l [m·K/W] <br>";
        return $R_l;
    }

    //Fórmula 33: Resistencia térmica de la superficie exterior
    function calc_Rle($D_e,$h_se,&$reg){
        $R_le = 1/($h_se*pi()*$D_e);
        $reg = $reg . "Fórmula 33:  $R_{le} = 1/(h*\pi*D_e) =$  $R_le  

[m·K/W] <br>";
        return $R_le;
    }

    //Tanque esférico

    //Fórmula 11: Resistencia térmica del aislamiento
    function calc_Rsph($D_e,$D_i,$lambda,&$reg){
        $R_sph = 1/(2*pi()*$lambda)*(1/$D_i - 1/$D_e);
        $reg = $reg . "Fórmula 11:  $R_{sph} = 1/(2*\pi*\lambda) * ((1/D_i)-$   

 $(1/D_e)) =$  $R_sph [K/W] <br>";
        return $R_sph;
    }

    //Fórmula 34: Resistencia térmica de la superficie exterior
    function calc_Rsphe($D_e,$h_se,&$reg){
        $R_sphe = 1/($h_se*pi()*pow($D_e,2));
        $reg = $reg . "Fórmula 34:  $R_{sphe} = 1/(h*\pi*(D_e^2)) =$   

$R_sphe [K/W] <br>";
        return $R_sphe;
    }

    //Conducto

    //Fórmula 15: Resistencia térmica del aislamiento
    function calc_Rd($P_e,$P_i,$lambda,$d,&$reg){
        $R_d = 2*$d/($lambda*($P_e + $P_i));
        $reg = $reg . "Fórmula 15:  $R_d = (2*d)/(\lambda*(P_e + P_i)) =$   

$R_d [m·K/W] <br>";
        return $R_d;
    }

    //Fórmula : Resistencia térmica de la superficie exterior
    function calc_Rde($P_e,$h_se,&$reg){

```

```

        $R_de = 1/($h_se*$P_e);
        $reg = $reg . "R_de = 1/(h_se*P_e) = $R_de [m·K/W] <br>";
        return $R_de;
    }

//FLUJO DE CALOR

function calc_q($theta_si,$theta_se,$Rt,$tipo,&$reg){
    $q = ($theta_si - $theta_se)/$Rt;

    if ($tipo == "pared" OR $tipo == "tapa") {
        $reg = $reg . "Fórmula 3:  $q_s = (\theta_{si} - \theta_{se})/R_T = \$q$  [W/m^2] <br>";
    }
    if ($tipo == "tuberia" OR $tipo == "cil_body") {
        $reg = $reg . "Fórmula 6:  $q_l = (\theta_{si} - \theta_{se})/R_T = \$q$  [W/m] <br>";
    }
    if ($tipo == "tanque_esferico") {
        $reg = $reg . "Fórmula 10:  $\Phi_{sph} = (\theta_{si} - \theta_{se})/R_T = \$q$  [W] <br>";
    }
    if ($tipo == "conducto" OR $tipo == "cub_body") {
        $reg = $reg . "Fórmula 14:  $q_d = (\theta_{si} - \theta_{se})/R_T = \$q$  [W/m] <br>";
    }

    return $q;
}

//TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE

function calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R1,$Rt,$tipo,&$reg){
    $theta_se = $theta_a + $R1*($theta_i - $theta_a)/$Rt; //R1
    distinta para cada elemento

    if ($tipo == "pared" OR $tipo == "tapa") {
        $reg = $reg . "Fórmula 48:  $\theta_{se} = \theta_a + R_{se}*(\theta_i - \theta_a)/R_T = \$theta_{se}$  [°C] <br>";
    }
    if ($tipo == "tuberia" OR $tipo == "cil_body") {
        $reg = $reg . "Fórmula 48:  $\theta_{se} = \theta_a + R_{le}*(\theta_i - \theta_a)/R_T = \$theta_{se}$  [°C] <br>";
    }
}

```

```

        if ($tipo == "tanque_esferico") {
            $reg = $reg . "Fórmula 48:  $\theta_{se} = \theta_a + R_{sphe}(\theta_i - \theta_a)/R_T$   

            = $theta_se [°C] <br>";
        }
        if ($tipo == "conducto" OR $tipo == "cub_body") {
            $reg = $reg . "Fórmula 48:  $\theta_{se} = \theta_a + R_{de}(\theta_i - \theta_a)/R_T$  =  

            $theta_se [°C] <br>";
        }

        return $theta_se;
    }

    //VARIACIÓN DE TEMPERATURA (tubería y conducto)

    function calc_alpha($Rt,$m_dot,$c_p,&$reg){
        //m_dot flujo másico del fluido [kg/h] y c_p calor específico  

        del fluido [kJ/kg·K]

        //Fórmula 37: Transmitancia térmica total
        $U_Tl = 1/$Rt; //[W/m·K]
        $reg = $reg . "Fórmula 37:  $U_{T,l} = 1/R_T = \$U\_Tl$  [W/m·K]  

        <br>";

        //Fórmula 55: Coeficiente de caída de temperatura  

        longitudinal
        $alpha = 3.6 * $U_Tl / ($m_dot * $c_p); //[m^-1]
        $reg = $reg . "Fórmula 55:  $\alpha = (U_{Tl} * 3,6)/(m\_dot * c\_p)$  =  

        $alpha [m^-1] <br>";

        return $alpha;
    }

    //Fórmula 54: Variación longitudinal de la temperatura
    function calc_dtheta_fma($theta_im,$theta_a,$alpha,$l,&$reg){
        $dtheta_fma = abs($theta_im - $theta_a) * exp(-$alpha*$l);
        // [°C]
        $reg = $reg . "Fórmula 54:  $|\theta_{fm} - \theta_a| = |\theta_{im} - \theta_a| * e^{(-$   

         $\alpha * l) = \$dtheta\_fma$  [°C] <br>";
        return $dtheta_fma;
    }

```

```

//NORMATIVA ASTM C-680

//PROPIEDADES AIRE (válidas entre -100°F y 1300°F - -73.3°C y
704.44°C)

//g=gravedad [m/s^2], V=velocidad [m/s]
//https://converter.eu/thermal_conductivity/#1_BTU/Hour-Foot-
%C2%B0F_in_Watt/Meter-K

//Cálculo Tk
function calc_Tk($T_o,$T_s) {
    $T_k = ($T_s + $T_o)/2 + 273.15; //[K]
    return $T_k;
}

//Cálculo Tf
function calc_Tf($T_o,$T_s) {
    $T_f = (($T_s + $T_o)/2) * 9/5 + 32; //[°F]
    return $T_f;
}

//Conductividad térmica
function calc_kf($T_k) {
    $k_f = 241.77 * 6.325*pow(10,-6) * sqrt($T_k) / (1 +
245.4*pow(10,-12/$T_k)/$T_k); //[Btu/(hr·ft·°F)]
    $k_f = $k_f * 1.7295772056; //[W/m·K]
    return $k_f;
}

//Densidad
function calc_rho($T_k) {
    $rho = 22.0493/$T_k; //[lb/ft^3]
    $rho = $rho * 16.018463521793803; //[kg/m^3]
    return $rho;
}

//Viscosidad dinámica
function calc_mu($T_k) {
    $mu = 241.9*pow(10,-7) * 145.8 * $T_k * sqrt($T_k)/($T_k +
110.4); //[lb/(h·ft)]
    $mu = $mu/2419.0881537; //[N·s/m^2]
    return $mu;
}

//Viscosidad cinemática
function calc_nu($rho,$mu) {

```

```

        $nu = $mu/$rho; //[m^2/s]
        return $nu;
    }

    //Calor específico
    function calc_cp($T_f) {
        $c_p = 0.24008 - $T_f * (1.2477*pow(10,-6) -
$T_f*(4.0489*pow(10,-8) - 1.6088*pow(10,-11)*$T_f)); //[Btu/(lb·°R)]
        $c_p = $c_p * 4186.8; //[J/kg·K]
        return $c_p;
    }

    //Coeficiente de expansión térmica volumétrico
    function calc_beta($T_k) {
        $beta = 1/(1.8*$T_k); //[1/°Rankine]
        $beta = $beta * 1.8; //[1/K]
        return $beta;
    }

    //RADIACIÓN

    function calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,&$reg) {
        $T_s+=273.15; //Temperatura superficie exterior [K]
        $T_o+=273.15; //Temperatura ambiente [K]
        define("SIGMA",5.67*pow(10,-8)); //Constante de Stefan-
Boltzmann [W/m2·K4]
        $h_r = SIGMA * $epsilon * (pow($T_s,4) - pow($T_o,4))/($T_s -
$T_o);
        $reg = $reg . "Fórmula 23:  $h_r = \sigma * \epsilon * (T_s^4 - T_o^4)/(T_s - T_o)$  [W/m^2·K] <br>";
        return $h_r;
    }

    //CONVECCIÓN

    //Coeficiente superficial de transferencia de calor debido a
convección

    function calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,&$reg) {
        $h_c = $Nu * $k_f / $L;
        $reg = $reg . "Fórmula 29:  $h_c = Nu_L * k_f / L$  = $h_c
[W/m^2·K] <br>";
        return $h_c;
    }

```

```

        function calc_hc_D($Nu,$k_f,$D_e,&$reg) {
            $h_c = $Nu * $k_f / $D_e;
            $reg = $reg . "Fórmula 29:  $h_c = Nu_D * k_f / D_e = h_c$   

[W/m^2.K] <br>";
            return $h_c;
        }

//Números adimensionales

//Fórmula 25: Número de Rayleigh

        function calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,&$reg)
{
            $Ra_L = $g * $beta * $rho * $c_p * $dT * pow($L,3) / ($nu
* $k_f);
            $reg = $reg . "Fórmula 25:  $Ra_L = (g*\beta*\rho*c_p*\Delta T*(L^3))$   

/  $(\nu*k_f) = Ra_L$  <br>";
            return $Ra_L;
        }

        function
calc_Ra_D($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$D_e,&$reg) {
            $Ra_D = $g * $beta * $rho * $c_p * $dT * pow($D_e,3) /
($nu * $k_f);
            $reg = $reg . "Fórmula 25:  $Ra_D =$   

 $(g*\beta*\rho*c_p*\Delta T*(D_e^3)) / (\nu*k_f) = Ra_D$  <br>";
            return $Ra_D;
        }

//Fórmula 26: Número de Reynolds

        function calc_Re_L($V,$nu,$L,&$reg) {
            $Re_L = $V * $L / $nu;
            $reg = $reg . "Fórmula 26:  $Re_L = V*L/\nu = Re_L$  <br>";
            return $Re_L;
        }

        function calc_Re_D($V,$nu,$D_e,&$reg) {
            $Re_D = $V * $D_e / $nu;
            $reg = $reg . "Fórmula 26:  $Re_D = V*D_e/\nu = Re_D$  <br>";
            return $Re_D;
        }

//Fórmula 27: Número de Prandtl
function calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,&$reg) {

```

```

        $Pr = $nu * $rho * $c_p / $k_f;
        $reg = $reg . "Fórmula 27: Pr = nu*rho*c_p/k_f = $Pr <br>";
        return $Pr;
    }

    //Fórmula 30: Nusselt --> Superficies planas, convección forzada,
    flujo laminar
    function calc_Nu_30($Re_L,$Pr,&$reg) {
        $Nu_fL = 0.6774 * sqrt($Re_L) * pow($Pr,1/3) / pow((1 +
        pow(0.0468/$Pr,2/3)),1/4);
        $reg = $reg . "Fórmula 30: Nu_fL = {0,6774 * Re_L^(1/2) *
        Pr^(1/3)} / {[1 + (0,0468/Pr)^(2/3)]^(1/4)} = $Nu_fL <br>";
        return $Nu_fL;
    }

    //Fórmula 30: Verificación --> Superficies planas, convección
    forzada, flujo laminar
    function calc_check_30($Re_L,&$reg) {
        if ($Re_L < 500000) {
            $reg = $reg . "Fórmula 30 verificación: Re_L <
5*10^5 → Flujo laminar <br>";
            return 1;
        } else {
            return 0;
        }
    }

    //Fórmula 31: Nusselt --> Superficies planas, convección forzada,
    flujo turbulento
    function calc_Nu_31($Re_L,$Pr,&$reg) {
        $Nu_fL = (0.037 * pow($Re_L,4/5) - 871) * pow($Pr,1/3);
        $reg = $reg . "Fórmula 31: Nu_fL = (0,037*Re_L^(4/5) - 871) *
        Pr^(1/3) = $Nu_fL <br>";
        return $Nu_fL;
    }

    //Fórmula 31: Verificación --> Superficies planas, convección
    forzada, flujo turbulento
    function calc_check_31($Re_L,&$reg) {
        if ((500000 < $Re_L) && ($Re_L < pow(10,8))) {
            $reg = $reg . "Fórmula 31 verificación: 5*10^5 < Re_L <
10^8 → Flujo turbulento <br>";
            return 1;
        } else {
            return 0;
        }
    }

```

```

    }

    //Fórmula 32: Nusselt --> Superficies planas verticales y
cilindros verticales, convección natural
    function calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,&$reg) {
        $Nu_nL = pow( (0.825 + (0.387 * pow($Ra_L,1/6)))/pow( (1 +
pow(0.492/$Pr,9/16)),8/27)) ,2);
        $reg = $reg . "Fórmula 32: Nu_nL = {0,825 +
[0,387*Ra_L^(1/6)] / [(1 + (0,492/Pr)^(9/16))^(8/27))]^2 = $Nu_nL <br>";
        return $Nu_nL;
    }

    //La fórmula 32 es válida para todo número Ra

    //Fórmula 33: Nusselt --> Superficies planas verticales y
cilindros verticales, convección natural, flujo laminar
    function calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,&$reg) {
        $Nu_nL = 0.68 + (0.670 * pow($Ra_L,1/4)) / pow( (1 +
pow(0.492/$Pr,9/16)),4/9);
        $reg = $reg . "Fórmula 33: Nu_nL = 0,68 + [0,670*Ra_L^(1/4)]
/ {[1 + (0,492/Pr)^(9/16)]^(4/9)} = $Nu_nL <br>";
        return $Nu_nL;
    }

    //Fórmula 33: Verificación --> Superficies planas verticales y
cilindros verticales, convección natural, flujo laminar
    function calc_check_33($Ra_L,&$reg) {
        if ($Ra_L < pow(10,9)) {
            $reg = $reg . "Fórmula 33 verificación: Ra_L <
10^9 → Flujo laminar <br>";
            return 1;
        } else {
            return 0;
        }
    }

    //Fórmula 34.1.1: Nusselt --> Superficies planas horizontales,
convección natural, calor fluyendo hacia arriba
    function calc_Nu_3411($Ra_L,&$reg) {
        $Nu_nL = 0.54 * pow($Ra_L,1/4);
        $reg = $reg . "Fórmula 34: Nu_nL = 0,54*Ra_L^(1/4) = $Nu_nL
<br>";
        return $Nu_nL;
    }

```

```

//Fórmula 34.1.1: Verificación --> Superficies planas
horizontales, convección natural, calor fluyendo hacia arriba
function calc_check_3411($Ra_L,&$reg) {
    if ((10000 < $Ra_L) && ($Ra_L < pow(10,7))) {
        $reg = $reg . "Fórmula 34 verificación:  $10^4 < Ra_L < 10^7$  <br>";
        return 1;
    } else {
        return 0;
    }
}

//Fórmula 34.1.2: Nusselt --> Superficies planas horizontales,
convección natural, calor fluyendo hacia arriba
function calc_Nu_3412($Ra_L,&$reg) {
    $Nu_nL = 0.15 * pow($Ra_L,1/3);
    $reg = $reg . "Fórmula 34:  $Nu_{nL} = 0,14 * Ra_L^{(1/3)} = $Nu_nL$ 
<br>";
    return $Nu_nL;
}

//Fórmula 34.1.2: Verificación --> Superficies planas
horizontales, convección natural, calor fluyendo hacia arriba
function calc_check_3412($Ra_L,&$reg) {
    if ((pow(10,7) < $Ra_L) && ($Ra_L < pow(10,11))) {
        $reg = $reg . "Fórmula 34 verificación:  $10^7 < Ra_L < 10^{11}$  <br>";
        return 1;
    } else {
        return 0;
    }
}

//Fórmula 34.2: Nusselt --> Superficies planas horizontales,
convección natural, calor fluyendo hacia abajo
function calc_Nu_342($Ra_L,&$reg) {
    $Nu_nL = 0.27 * pow($Ra_L,1/4);
    $reg = $reg . "Fórmula 34:  $Nu_{nL} = 0,27 * Ra_L^{(1/4)} = $Nu_nL$ 
<br>";
    return $Nu_nL;
}

//Fórmula 34.2: Verificación --> Superficies planas horizontales,
convección natural, calor fluyendo hacia abajo
function calc_check_342($Ra_L,&$reg) {
    if ((pow(10,5) < $Ra_L) && ($Ra_L < pow(10,10))) {

```

```

        $reg = $reg . "Fórmula 34 verificación:  $10^5 < Ra_L < 10^{10}$  <br>";
        return 1;
    } else {
        return 0;
    }
}

//Fórmula 35: Nusselt --> Cilindros horizontales y verticales,
convección forzada
function calc_Nu_35($Re_D,$Pr,&$reg) {
    $Nu_fD = 0.3 + (0.62 * sqrt($Re_D) * pow($Pr,1/3)) / pow((1 +
pow(0.4/$Pr,2/3)),1/4) * pow((1 + pow($Re_D/282000,5/8)),4/5);
    $reg = $reg . "Fórmula 35:  $Nu_{fD} = 0,3 + \frac{0,62 \cdot [Re_D^{(1/2)}] \cdot [Pr^{(1/3)}]}{[1 + (0,4/Pr)^{(2/3)}]^{(1/4)}} \cdot \{[1 + (Re_D/282000)^{(5/8)}]^{(4/5)}\} = Nu_{fD}$  <br>";
    return $Nu_fD;
}

//Fórmula 35: Verificación --> Cilindros horizontales y
verticales, convección forzada
function calc_check_35($Re_D,$Pr,&$reg) {
    if (($Re_D * $Pr) > 0.2) {
        $reg = $reg . "Fórmula 35 verificación:  $Re_D \cdot Pr > 0,2$ 
<br>";
        return 1;
    } else {
        return 0;
    }
}

//Fórmula 36: Nusselt --> Cilindros horizontales, convección
natural
function calc_Nu_36($Ra_D,$Pr,&$reg) {
    $Nu_nD = pow( (0.60 + (0.387 * pow($Ra_D,1/6)) / pow( (1 +
pow(0.559/$Pr,9/16)),8/27)) ,2);
    $reg = $reg . "Fórmula 36:  $Nu_{nD} = \{0,60 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{(1/6)}}{[(1 + (0,559/Pr)^{(9/16)})^{(8/27)}]^{(1/4)}}\}^2 = Nu_{nD}$  <br>";
    return $Nu_nD;
}

//Fórmula 36: Verificación --> Cilindros horizontales, convección
natural
function calc_check_36($Ra_D,&$reg) {
    if (($Ra_D) < pow(10,12)) {

```

```

        $reg = $reg . "Fórmula 36 verificación: Ra_D < 10^12
<br>";
        return 1;
    } else {
        return 0;
    }
}

//Fórmula 37: Nusselt --> Esferas, convección forzada
function calc_Nu_37($Re_D,$Pr,$mu,$mu_s,&$reg) {
    $Nu_fD = 2 + (0.4 * sqrt($Re_D) + 0.06 * pow($Re_D,2/3)) *
pow($Pr,0.4) * pow($mu/$mu_s,1/4);
    $reg = $reg . "Fórmula 37: Nu_fD = 2 + [0,4*Re_D^(1/2) +
0,06*Re_D^(2/3)] * Pr^0,4 * (μ/μ_s)^(1/4) = $Nu_fD <br>";
    return $Nu_fD;
}

//Fórmula 37: Verificación --> Esferas, convección forzada
function calc_check_37($Re_D,$Pr,$mu,$mu_s,&$reg) {
    if ((0.71 < $Pr) && ($Pr < 380) && (3.5 < $Re_D) && ($Re_D <
76000) && (1 < ($mu/$mu_s)) && (($mu/$mu_s) < 3.2)) {
        $reg = $reg . "Fórmula 37 verificación: 0,71 < Pr <
380 // 3,5 < Re_D < 7,6*10^4 // 1,0 < (μ/μ_s) < 3,2 <br>";
        return 1;
    } else {
        return 0;
    }
}

//Fórmula 38: Nusselt --> Esferas, convección natural
function calc_Nu_38($Ra_D,$Pr,&$reg) {
    $Nu_nD = 2 + (0.589 * pow($Ra_D,1/4)) / pow((1 +
pow(0.469/$Pr,9/16)),4/9);
    $reg = $reg . "Fórmula 38: Nu_nD = 2 + 0,589*Ra_D^(1/4) / [1
+ (0,469/Pr)^(9/16)]^(4/9) = $Nu_nD <br>";
    return $Nu_nD;
}

//Fórmula 38: Verificación --> Esferas, convección natural
function calc_check_38($Ra_D,$Pr,&$reg) {
    if ((0.7 <= $Pr) && ($Ra_D < pow(10,11))) {
        $reg = $reg . "Fórmula 38 verificación: 0,7 <
Pr // Ra_D < 10^11 <br>";
        return 1;
    } else {
        return 0;
    }
}

```

```

    }
}

//COEFICIENTE SUPERFICIAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

function calc_h_ASTM($h_r,$h_c,&$reg) {
    $h = $h_r + $h_c;
    $reg = $reg . "Fórmula 22:  $h = h_r + h_c = \$h$  [W/m2·K]
<br>";
    return $h;
}

//RESISTENCIAS

//Pared

function calc_Rm_pared($d,$k,&$reg) {
    $R_m = $d / $k;
    $reg = $reg . "Fórmula 8:  $R_m = d/k = \$R_m$  [m2·K/W]
<br>";
    return $R_m;
}

//Tubería

function calc_Rm_tuberia($D_e,$D_i,$k,&$reg) {
    $R_m = ($D_e/2) * log(($D_e/2)/($D_i/2)) / $k;
    $reg = $reg . "Fórmula 14:  $R_m = (D_e/2) * \ln((D_e/2)/(D_i/2)) / k = \$R_m$  [m2·K/W] <br>";
    return $R_m;
}

//Tanque esférico

function calc_Rm_tanquesf($D_e,$D_i,$k,&$reg) {
    $R_m = pow($D_e/2,2) * (($D_e/2) - ($D_i/2)) / ($k * ($D_i/2) * ($D_e/2));
    $reg = $reg . "Fórmula 17:  $R_m = (D_e/2)^2 * [(D_e/2) - (D_i/2)] / [k * (D_i/2) * (D_e/2)] = \$R_m$  [m2·K/W] <br>";
    return $R_m;
}

//Resistencia de la superficie exterior para los 3 elementos

function calc_Ro($h_o,&$reg) {

```

```

        $R_o = 1/$h_o;
        $reg = $reg . "Fórmula 10:  $R_o = 1/h = R_o$  [m^2·K/W]
<br>";
        return $R_o;
    }

    //FLUJO DE CALOR

    function calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$Rt,&$reg) {
        $q = ($T_i - $T_o)/$Rt;
        $reg = $reg . "Fórmula 11:  $q = (T_i - T_o)/R_T = q$  [W/m^2]
<br>";
        return $q;
    }

    //TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE

    function calc_T_s($T_o,$q,$R_o,&$reg) {
        $T_s = $T_o + $R_o * $q;
        $reg = $reg . "Fórmula 10:  $T_s = T_o + q \cdot R_o = T_s$  [°C]
<br>";
        return $T_s;
    }

?>

```

Casos de cálculo

En este segundo archivo, se ha desarrollado una función para cada elemento, tipo de cálculo y norma en la que se basa. En ellas se llama a las funciones de las fórmulas y se hace uso de ellas, de esta forma queda un lenguaje más limpio.

```

<?php

include ("formulas.php");

//NORMATIVA ISO 12241

    //FLUJO DE CALOR Y TEMPERATURA SUPERFICIAL

        //Pared

```

```

function
pared_qT_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$H,$L,$d,$lambda,$epsilon
,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
    $i = 0;
    $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura
    $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo temperatura
vieja

    while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i < 1000)
{

    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

    $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
    $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

    if ($localizacion == "interior") {
        $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
        if ($check1 == 0) {
            $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
        } else {
            $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
        }
    }

    if ($localizacion == "exterior") {
        $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
        if ($check3 == 0) {
            $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg); //Laminar
        } else {
            $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg); //Turbulento
        }
    }
}
}

```

```

    }

    $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

    $R_s = calc_Rs($d,$lambda,$reg);
    $R_se = calc_Rse($h,$reg);
    $R = $R_s + $R_se; //Resistencia total [m2.K/W]

    $q_s = calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"pared",$reg);
//Flujo de calor [W/m2]
    $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

    $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_se,$R,"pared",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
    $i++;
}

    $theta_se = round($theta_se,2);
    $q_s = round($q_s,2);
    $Q = $q_s * $L * $H; //[W]

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del flujo de
calor y la temperatura superficial</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";

    echo "<div style='margin-left:auto; margin-right:auto;
text-align:center; border-style:double; border-color:red; width:350px;'>
    <p style='font-weight:bold;'>PARED</p>
    <p>Temperatura superficial ( $\theta_{se}$ ) = $theta_se °C</p>
    <p>Flujo de calor ( $q_s$ ) = $q_s W/m^2</p>
    <p>Calor total (Q) = $Q W</p></div>";
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Tubería

function
tuberia_qT_ISO($localizacion,$orientacion,$theta_i,$theta_a,$v,$D_e,$l,$d
,$lambda,$epsilon,$proc) {

```

```

$reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

$theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido
$D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tubería
$D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

//Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
$i = 0;
$theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura
$theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo temperatura
vieja
$H = $D_e; //En algunas fórmulas H=De en una tubería

while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i < 1000)
{
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

    $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
$dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

    if ($localizacion == "interior" && $orientacion ==
"vertical") {
        $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
        if ($check1 == 0) {
            $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
        } else {
            $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
        }
    }

    if ($localizacion == "interior" && $orientacion ==
"horizontal") {
        $check2 = calc_check2($D_e,$dtheta,$reg);
        if ($check2 == 0) {
            $h_cv = calc_h_cv24($dtheta,$D_e,$reg);
//Laminar

```

```

        } else {
            $h_cv = calc_h_cv25($dtheta,$reg);
//Turbulento
        }
    }

    if ($localizacion == "exterior") {
        $check4 = calc_check4($D_e,$dtheta,$reg);
        if ($check4 == 0) {
            $h_cv = calc_h_cv28($v,$D_e,$reg); //Laminar
        } else {
            $h_cv = calc_h_cv29($v,$D_e,$reg);
//Turbulento
        }
    }

    $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

    $R_l = calc_Rl($D_e,$D_i,$lambda,$reg);
    $R_le = calc_Rle($D_e,$h,$reg);
    $R = $R_l + $R_le; //Resistencia total [m.K/W]

    $q_l = calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"tuberia",$reg);
//Flujo de calor [W/m]
    $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

    $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_le,$R,"tuberia",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
    $i++;
}

    $theta_se = round($theta_se,2);
    $q_l = round($q_l,2);
    $Q = $q_l * $l; //[W]

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del flujo de
calor y la temperatura superficial</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";
    echo "<div style='margin-left:auto; margin-right:auto;
text-align:center; border-style:double; border-color:red; width:350px;'>
    <p style='font-weight:bold;'>TUBERÍA</p>
    <p>Temperatura superficial ( $\theta_{se}$ ) = $theta_se °C</p>
    <p>Flujo de calor ( $q_l$ ) = $q_l W/m</p>

```

```

        <p>Calor total (Q) = $Q W</p></div>";
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Tanque esférico

function
tanque_esf_qT_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$D_e,$d,$lambda,$eps
ilon,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tanque esférico
    $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

    //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
    $i = 0;
    $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura
    $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo temperatura
vieja
    $H = $D_e; //En algunas fórmulas H=De en un tanque
esférico

    while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i < 1000)
{
        $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

        $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
        $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

        if ($localizacion == "interior") {
            $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
        }
    }
}

```

```

        if ($localizacion == "exterior") {
            $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
            if ($check3 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg); //Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg); //Turbulento
            }
        }

        $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

        $R_sph = calc_Rsph($D_e,$D_i,$lambda,$reg);
        $R_sphe = calc_Rsphe($D_e,$h,$reg);
        $R = $R_sph + $R_sphe; //Resistencia total [K/W]

        $phi_sph =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"tanque_esferico",$reg); //Flujo de calor
[W]

        $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_sphe,$R,"tanque_esferico",$reg);
//Cálculo temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    $theta_se = round($theta_se,2);
    $phi_sph = round($phi_sph,2);

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del flujo de
calor y la temperatura superficial</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";

    echo "<div style='margin-left:auto; margin-right:auto;
text-align:center; border-style:double; border-color:red; width:350px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE ESFÉRICO</p>
        <p>Temperatura superficial ( $\theta_{se}$ ) = $theta_se °C</p>
        <p>Flujo de calor ( $\Phi_{sph}$ ) = $phi_sph W</p></div>";
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

```

```

//Conducto

function
conducto_qT_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$a,$b,$l,$d,$lambda,$e
psilon,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    $P_e = 2*$a + 2*$b;
    $P_i = $P_e; //Para el aislamiento: Pi aislamiento=Pe
conducto
    $P_e = $P_i + 8 * $d; //Para el aislamiento

    //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
    $i = 0;
    $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura
    $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo temperatura
vieja
    $H = $P_e; //En algunas fórmulas H=Pe en un conducto

    while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i < 1000)
{
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

    $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
    $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

    if ($localizacion == "interior") {
        $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
        if ($check1 == 0) {
            $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
        } else {
            $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
        }
    }
}

```

```

        if ($localizacion == "exterior") {
            $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
            if ($check3 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg); //Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg); //Turbulento
            }
        }

        $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

        $R_d = calc_Rd($P_e,$P_i,$lambda,$d,$reg);
        $R_de = calc_Rde($P_e,$h,$reg);
        $R = $R_d + $R_de; //Resistencia total [m.K/W]

        $q_d =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"conductor",$reg); //Flujo de calor [W/m]
        $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_de,$R,"conductor",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    $theta_se = round($theta_se,2);
    $q_d = round($q_d,2);
    $Q = $q_d * $l; //[W]

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del flujo de
calor y la temperatura superficial</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";

    echo "<div style='margin-left:auto; margin-right:auto;
text-align:center; border-style:double; border-color:red; width:350px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>CONDUCTO</p>
        <p>Temperatura superficial ( $\theta_{se}$ ) = $theta_se °C</p>
        <p>Flujo de calor ( $q_d$ ) = $q_d W/m</p>
        <p>Calor total (Q) = $Q W</p></div>";
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

```

```

//Tanque cúbico

function
tanque_cub_qT_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$a,$b,$l,$d,$lambda,
$epsilon,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    //CUERPO
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>CUERPO</div>";
    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    $P_e = 2*$a + 2*$b;
    $P_i = $P_e; //Para el aislamiento: Pi aislamiento=Pe
conducto
    $P_e = $P_i + 8 * $d; //Para el aislamiento

    //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
    $i = 0;
    $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura
    $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo temperatura
vieja
    $H = $P_e; //En algunas fórmulas H=Pe en un conducto

    while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i < 1000)
{

    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

    $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
    $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

    if ($localizacion == "interior") {
        $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
        if ($check1 == 0) {
            $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
        } else {

```

```

        $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
    }
}

if ($localizacion == "exterior") {
    $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
    if ($check3 == 0) {
        $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg); //Laminar
    } else {
        $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg); //Turbulento
    }
}

$h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

$R_d = calc_Rd($P_e,$P_i,$lambda,$d,$reg);
$R_de = calc_Rde($P_e,$h,$reg);
$R = $R_d + $R_de; //Resistencia total [m.K/W]

$q_d =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"cub_body",$reg); //Flujo de calor [W/m]
$theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

$theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_de,$R,"cub_body",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
$i++;
}

$theta_se_body = round($theta_se,2);
$q_body = round($q_d,2);
$Q_body = $q_body * $l; //[W]

//TAPAS
$reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>TAPAS</div>";
$theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

//Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
$i = 0;
$theta_se = $theta_a + 50; //Inicializo temperatura

```

```

        $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo temperatura
vieja

        while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i < 1000)
{
            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

            $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
            $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

            if ($localizacion == "interior") {
                $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
                if ($check1 == 0) {
                    $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
                } else {
                    $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
                }
            }

            if ($localizacion == "exterior") {
                $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
                if ($check3 == 0) {
                    $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg); //Laminar
                } else {
                    $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg); //Turbulento
                }
            }

            $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

            $R_s = calc_Rs($d,$lambda,$reg);
            $R_se = calc_Rse($h,$reg);
            $R = $R_s + $R_se; //Resistencia total [m2.K/W]

            $q_s = calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"tapa",$reg);
//Flujo de calor [W/m2]
            $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

```

```

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_se,$R,"tapa",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    $theta_se_tapa = round($theta_se,2);
    $q_tapa = round($q_s,2);
    $Q_tapa = $q_tapa * $a * $b; //[W]
    $Q = $Q_body + 2*$Q_tapa;
    $Q = round($Q,2);

    echo "<div style='margin-left:auto; margin-right:auto;
text-align:center; border-style:double; border-color:red; width:450px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CÚBICO</p>
        <p>Temperatura superficial del cuerpo ( $\theta_{se\_cuerpo}$ ) =
$theta_se_body °C</p>
        <p>Temperatura superficial de cada tapa ( $\theta_{se\_tapa}$ ) =
$theta_se_tapa °C</p>
        <p>Flujo de calor en el cuerpo ( $q_{cuerpo}$ ) =  $q_{body}$ 
W/m</p>
        <p>Flujo de calor en las tapas ( $q_{tapa}$ ) =  $q_{tapa}$ 
W/m^2</p>
        <p>Calor total (Q) =  $Q$  W</p></div>";
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Tanque cilíndrico

function
tanque_cil_qT_ISO($localizacion,$orientacion,$theta_i,$theta_a,$v,$D_e,$l
,$d,$lambda,$epsilon,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    //CUERPO
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>CUERPO</div>";
    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

```

```

        $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tubería
        $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
        $i = 0;
        $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura
        $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo temperatura
vieja
        $H = $D_e; //En algunas fórmulas H=De en una tubería

        while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i < 1000)
{
            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

            $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
            $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

            if ($localizacion == "interior" && $orientacion ==
"vertical") {
                $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
                if ($check1 == 0) {
                    $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
                } else {
                    $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
                }
            }

            if ($localizacion == "interior" && $orientacion ==
"horizontal") {
                $check2 = calc_check2($D_e,$dtheta,$reg);
                if ($check2 == 0) {
                    $h_cv = calc_h_cv24($dtheta,$D_e,$reg);
//Laminar
                } else {
                    $h_cv = calc_h_cv25($dtheta,$reg);
//Turbulento
                }
            }
}

```

```

        if ($localizacion == "exterior") {
            $check4 = calc_check4($D_e,$dtheta,$reg);
            if ($check4 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv28($v,$D_e,$reg); //Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv29($v,$D_e,$reg);
//Turbulento
            }
        }

        $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

        $R_l = calc_Rl($D_e,$D_i,$lambda,$reg);
        $R_le = calc_Rle($D_e,$h,$reg);
        $R = $R_l + $R_le; //Resistencia total [m.K/W]

        $q_l =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"cil_body",$reg); //Flujo de calor [W/m]
        $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_le,$R,"cil_body",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    $theta_se_body = round($theta_se,2);
    $q_body = round($q_l,2);
    $Q_body = $q_body * $l; //[W]

    //TAPAS
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>TAPAS</div>";
    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
    $i = 0;
    $theta_se = $theta_a + 50; //Inicializo temperatura
    $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo temperatura
vieja

    $H = $D_e;

```

```

        while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i < 1000)
    {

        $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

        $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
        $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

        if ($localizacion == "interior") {
            $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
            if ($check1 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
            }
        }

        if ($localizacion == "exterior") {
            $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
            if ($check3 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg); //Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg); //Turbulento
            }
        }

        $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

        $R_s = calc_Rs($d,$lambda,$reg);
        $R_se = calc_Rse($h,$reg);
        $R = $R_s + $R_se; //Resistencia total [m2·K/W]

        $q_s = calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"tapa",$reg);
//Flujo de calor [W/m2]
        $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_se,$R,"tapa",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

```

```

        $theta_se_tapa = round($theta_se,2);
        $q_tapa = round($q_s,2);
        $Q_tapa = $q_tapa * pi() * pow($D_e/2,2); //[W]
        $Q = $Q_body + 2*$Q_tapa;
        $Q = round($Q,2);

        echo "<div style='margin-left:auto; margin-right:auto;
text-align:center; border-style:double; border-color:red; width:450px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CILÍNDRICO</p>
        <p>Temperatura superficial del cuerpo ( $\theta_{se\_cuerpo}$ ) =
$theta_se_body °C</p>
        <p>Temperatura superficial de cada tapa ( $\theta_{se\_tapa}$ ) =
$theta_se_tapa °C</p>
        <p>Flujo de calor en el cuerpo ( $q_{cuerpo}$ ) =  $q_{body}$ 
W/m</p>
        <p>Flujo de calor en las tapas ( $q_{tapa}$ ) =  $q_{tapa}$ 
W/m^2</p>
        <p>Calor total (Q) =  $Q$  W</p></div>";
        if ($proc == true) {
            echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
        }
    }

    //ESPESOR DE AISLAMIENTO CON FLUJO DE CALOR LIMITADO

    //Pared - qlim en W/m^2

    function
pared_qlim_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$H,$L,$lambda,$epsilon,
$q_lim,$proc) {

        $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

        $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

        //Bucle para probar con distintos espesores
        for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evaluan 11
espesores de aislamiento

```

```

$reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

//Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
$i = 0;
$theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura
$theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

$reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN N° $i</div>";

$h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
$dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

if ($localizacion == "interior") {
$check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
if ($check1 == 0) {
$h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
} else {
$h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
}
}

if ($localizacion == "exterior") {
$check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
if ($check3 == 0) {
$h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg);
//Laminar
} else {
$h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg);
//Turbulento
}
}

$h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

```

```

        $R_s = calc_Rs($d,$lambda,$reg);
        $R_se = calc_Rse($h,$reg);
        $R = $R_s + $R_se; //Resistencia total [m2·K/W]

        $q_s =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"pared",$reg); //Flujo de calor [W/m2]
        $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_se,$R,"pared",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    if ($q_s < $q_lim) {
        break;
    }
}

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de flujo de calor</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";

    if ($q_s < $q_lim) {
        $d = round($d,2);
        $q_s = round($q_s,2);
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>

            <p style='font-weight:bold;'>PARED</p>
            <p>Espesor (d) = $d m</p>
            <p>Flujo de calor (q_s) = $q_s W/m^2</p>
            <p>Flujo de calor límite (q_lim) = $q_lim
W/m^2</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>

            <p style='font-weight:bold;'>PARED</p>
            <p>Material no válido</p></div>";
    }

    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

```

```

    }

    //Tubería - qlim en W/m

    function
tuberia_qlim_ISO($localizacion,$orientacion,$theta_i,$theta_a,$v,$D_e,$l,
$lambda,$epsilon,$q_lim,$proc) {

        $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

        $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

        $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tubería

        //Bucle para probar con distintos espesores
        for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores

            $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

            $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento
            $H = $D_e; //En algunas fórmulas H=De en una tubería

            //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

            $i = 0;
            $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura

            $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

            while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

                $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

                $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
                $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

```

```

        if ($localizacion == "interior" && $orientacion
== "vertical") {
            $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
            if ($check1 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
            }
        }

        if ($localizacion == "interior" && $orientacion
== "horizontal") {
            $check2 = calc_check2($D_e,$dtheta,$reg);
            if ($check2 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv24($dtheta,$D_e,$reg);
//Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv25($dtheta,$reg);
//Turbulento
            }
        }

        if ($localizacion == "exterior") {
            $check4 = calc_check4($D_e,$dtheta,$reg);
            if ($check4 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv28($v,$D_e,$reg);
//Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv29($v,$D_e,$reg);
//Turbulento
            }
        }

        $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

        $R_l = calc_Rl($D_e,$D_i,$lambda,$reg);
        $R_le = calc_Rle($D_e,$h,$reg);
        $R = $R_l + $R_le; //Resistencia total [m.K/W]

        $q_l =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"tuberia",$reg); //Flujo de calor [W/m]
        $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

```

```

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_le,$R,"tuberia",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    if ($q_l < $q_lim) {
        break;
    }
}

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de flujo de calor</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";
    if ($q_l < $q_lim) {
        $d = round($d,2);
        $q_l = round($q_l,2);
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
            <p style='font-weight:bold;'>TUBERÍA</p>
            <p>Espesor (d) = $d m</p>
            <p>Flujo de calor (q_l) = $q_l W/m</p>
            <p>Flujo de calor límite (q_lim) = $q_lim
W/m</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
            <p style='font-weight:bold;'>TUBERÍA</p>
            <p>Material no válido</p></div>";
    }
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Tanque esférico - qlim en W

function
tanque_esf_qlim_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$D_e,$lambda,$epsi
lon,$q_lim,$proc) {

```

```

        $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

        $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

        $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tanque esférico

        //Bucle para probar con distintos espesores
        for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores de aislamiento

            $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

            $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

            //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

            $i = 0;
            $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura

            $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

            $H = $D_e; //En algunas fórmulas H=De en un tanque
esférico

            while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

                $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

                $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
                $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

                if ($localizacion == "interior") {
                    $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
                }

                if ($localizacion == "exterior") {
                    $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
                    if ($check3 == 0) {

```

```

                                $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg);
//Laminar
                                } else {
                                $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg);
//Turbulento
                                }
                                }

                                $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

                                $R_sph = calc_Rsph($D_e,$D_i,$lambda,$reg);
                                $R_sphe = calc_Rsphe($D_e,$h,$reg);
                                $R = $R_sph + $R_sphe; //Resistencia total [K/W]

                                $phi_sph =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"tanque_esferico",$reg); //Flujo de calor
[W]
                                $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior
                                $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_sphe,$R,"tanque_esferico",$reg);
//Cálculo temperatura superficie exterior
                                $i++;
                                }

                                $Q = $phi_sph / (4 * PI() * pow($D_e/2,2)); //Flujo
de calor [W/m2]

                                if ($Q < $q_lim) {
                                break;
                                }
                                }

                                echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de flujo de calor</h1>";
                                echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";
                                if ($Q < $q_lim) {
                                $d = round($d,2);
                                $Q = round($Q,2);
                                echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
                                <p style='font-weight:bold;'>TANQUE ESFÉRICO</p>
                                <p>Espesor (d) = $d m</p>

```

```

        <p>Flujo de calor ( $\Phi_{sph}$ ) =  $\$Q$  W/m^2</p>
        <p>Flujo de calor límite ( $q_{lim}$ ) =  $\$q_{lim}$ 
W/m^2</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE ESFÉRICO</p>
        <p>Material no válido</p></div>";
    }
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Conducto - qlim en W/m

function
conducto_qlim_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$a,$b,$l,$lambda,$sep
silon,$q_lim,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    $P_e = 2*$a + 2*$b;
    $P_i = $P_e; //Para el aislamiento: Pi aislamiento=Pe
conducto

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

        $P_e = $P_i + 8 * $d; //Para el aislamiento
        $H = $P_e; //En algunas fórmulas H=Pe en una conducto

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
        $i = 0;

```

```

        $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura
        $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

        while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

                $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

                $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
                $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

                if ($localizacion == "interior") {
                        $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
                        if ($check1 == 0) {
                                $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
                        } else {
                                $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
                        }
                }

                if ($localizacion == "exterior") {
                        $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
                        if ($check3 == 0) {
                                $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg);
//Laminar
                        } else {
                                $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg);
//Turbulento
                        }
                }

                $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m²·K]

                $R_d = calc_Rd($P_e,$P_i,$lambda,$d,$reg);
                $R_de = calc_Rde($P_e,$h,$reg);
                $R = $R_d + $R_de; //Resistencia total [m·K/W]

                $q_d =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"conducto",$reg); //Flujo de calor [W/m]

```

```

        $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_de,$R,"conductor",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    if ($q_d < $q_lim) {
        break;
    }
}

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de flujo de calor</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";

    if ($q_d < $q_lim) {
        $d = round($d,2);
        $q_d = round($q_d,2);
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>

            <p style='font-weight:bold;'>CONDUCTO</p>
            <p>Espesor (d) = $d m</p>
            <p>Flujo de calor (q_d) = $q_d W/m</p>
            <p>Flujo de calor límite (q_lim) = $q_lim
W/m</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>

            <p style='font-weight:bold;'>CONDUCTO</p>
            <p>Material no válido</p></div>";
    }

    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Tanque cúbico - qlim en W/m^2

function
tanque_cub_qlim_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$a,$b,$l,$lambda,$
epsilon,$q_lim,$proc) {

```

```

        $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

        //CUERPO
        $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>CUERPO</div>";
        $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

        $P_e = 2*$a + 2*$b;
        $P_i = $P_e; //Para el aislamiento: Pi aislamiento=Pe
conducto

        //Bucle para probar con distintos espesores
        for ($d1=0.1; $d1<=0.6; $d1+=0.05) { //Se evaluan 11
espesores

            $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d1
m</div>";

            $P_e = $P_i + 8 * $d1; //Para el aislamiento
            $H = $P_e; //En algunas fórmulas H=Pe en una conducto

            //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

            $i = 0;
            $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura

            $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

            while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

                $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

                $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
                $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

                if ($localizacion == "interior") {
                    $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
                    if ($check1 == 0) {

```

```

        $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
    } else {
        $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
    }
}

if ($localizacion == "exterior") {
    $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
    if ($check3 == 0) {
        $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg);
//Laminar
    } else {
        $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg);
//Turbulento
    }
}

$h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

$R_d = calc_Rd($P_e,$P_i,$lambda,$d1,$reg);
$R_de = calc_Rde($P_e,$h,$reg);
$R = $R_d + $R_de; //Resistencia total [m.K/W]

$q_d =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"cub_body",$reg); //Flujo de calor [W/m]
$q_body = $q_d / $P_e; //Flujo de calor [W/m2]
$theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

$theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_de,$R,"cub_body",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
    $i++;
}

if ($q_body < $q_lim) {
    break;
}

}

echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de flujo de calor</h1>";
echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";

```

```

        if ($q_body < $q_lim) {
            $d1 = round($d1,2);
            $q_body = round($q_body,2);
            echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>

                <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CÚBICO</p>
                <p>Espesor del cuerpo (d) = $d1 m</p>
                <p>Flujo de calor en el cuerpo (q_cuerpo) = $q_body
W/m^2</p>

                <p>Flujo de calor límite (q_lim) = $q_lim
W/m^2</p></div>";
        } else {
            echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>

                <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CÚBICO</p>
                <p>Material no válido para el cuerpo</p></div>";
        }

        //TAPAS
        $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>TAPAS</div>";
        $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

        //Bucle para probar con distintos espesores
        for ($d2=0.1; $d2<=0.6; $d2+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores de aislamiento

            $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d2
m</div>";

            //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

            $i = 0;
            $theta_se = $theta_a + 50; //Inicializo temperatura
            $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

            while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

                $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

```

```

        $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
        $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

        if ($localizacion == "interior") {
            $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
            if ($check1 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
            }
        }

        if ($localizacion == "exterior") {
            $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
            if ($check3 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg);
//Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg);
//Turbulento
            }
        }

        $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

        $R_s = calc_Rs($d2,$lambda,$reg);
        $R_se = calc_Rse($h,$reg);
        $R = $R_s + $R_se; //Resistencia total [m2.K/W]

        $q_s =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"tapa",$reg); //Flujo de calor [W/m2]
        $q_tapa = $q_s;
        $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_se,$R,"tapa",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    if ($q_tapa < $q_lim) {

```

```

        break;
    }
}

if ($q_tapa < $q_lim) {
    $d2 = round($d2,2);
    $q_tapa = round($q_tapa,2);
    echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>

        <p>Espesor de las tapas (d) = $d2 m</p>
        <p>Flujo de calor en las tapas (q_tapa) = $q_tapa
W/m^2</p>
        <p>Flujo de calor límite (q_lim) = $q_lim
W/m^2</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>

        <p>Material no válido para las tapas</p></div>";
    }
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Tanque cilíndrico - qlim en W/m^2

function
tanque_cil_qlim_ISO($localizacion,$orientacion,$theta_i,$theta_a,$v,$D_e,
$l,$lambda,$epsilon,$q_lim,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    //CUERPO
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>CUERPO</div>";
    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tubería

    //Bucle para probar con distintos espesores

```

```

        for ($d1=0.1; $d1<=0.6; $d1+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores

            $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d1
m</div>";

            $D_e = $D_i + 2 * $d1; //Para el aislamiento
            $H = $D_e; //En algunas fórmulas H=De en una tubería

            //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

            $i = 0;
            $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura

            $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

            while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

                $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

                $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
                $dtheta = $theta_se - $theta_a; //[°C]

                if ($localizacion == "interior" && $orientacion
== "vertical") {

                    $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
                    if ($check1 == 0) { //Laminar
                        $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
                    } else
{
                        //Turbulento
                        $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
                    }
                }

                if ($localizacion == "interior" && $orientacion
== "horizontal") {

                    $check2 = calc_check2($D_e,$dtheta,$reg);
                    if ($check2 == 0) { //Laminar
                        $h_cv = calc_h_cv24($dtheta,$D_e,$reg);
                    } else
{
                        //Turbulento

```

```

        $h_cv = calc_h_cv25($dtheta,$reg);
    }
}

if ($localizacion == "exterior") {
    $check4 = calc_check4($D_e,$dtheta,$reg);
    if ($check4 == 0) { //Laminar
        $h_cv = calc_h_cv28($v,$D_e,$reg);
    } else
    //Turbulento
        $h_cv = calc_h_cv29($v,$D_e,$reg);
    }
}

$h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

$R_l = calc_Rl($D_e,$D_i,$lambda,$reg);
$R_le = calc_Rle($D_e,$h,$reg);
$R = $R_l + $R_le; //Resistencia total [m·K/W]

$q_l =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"cil_body",$reg); //Flujo de calor [W/m]
$q_body = $q_l / (2 * pi() * ($D_e/2)); //Flujo
de calor [W/m2]

$theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

$theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_le,$R,"cil_body",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
$i++;
}

if ($q_body < $q_lim) {
    break;
}
}

echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de flujo de calor</h1>";
echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";

if ($q_body < $q_lim) {
    $d1 = round($d1,2);
    $q_body = round($q_body,2);
}

```

```

        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CILÍNDRICO</p>
        <p>Espesor del cuerpo (d) = $d1 m</p>
        <p>Flujo de calor en el cuerpo (q_cuerpo) = $q_body
W/m^2</p>
        <p>Flujo de calor límite (q_lim) = $q_lim
W/m^2</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CILÍNDRICO</p>
        <p>Material no válido para el cuerpo</p></div>";
    }

    //TAPAS
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>TAPAS</div>";
    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d2=0.1; $d2<=0.6; $d2+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores de aislamiento

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d2
m</div>";

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
        $i = 0;
        $theta_se = $theta_a + 50; //Inicializo temperatura
        $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

        while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

            $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación

```

```

        $dtheta = $theta_se - $theta_a; //[°C]

        if ($localizacion == "interior") {
            $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
            if ($check1 == 0) { //Laminar
                $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
            } else
            //Turbulento
                $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
        }

        if ($localizacion == "exterior") {
            $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
            if ($check3 == 0) { //Laminar
                $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg);
            } else
            //Turbulento
                $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg);
        }

        $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

        $R_s = calc_Rs($d2,$lambda,$reg);
        $R_se = calc_Rse($h,$reg);
        $R = $R_s + $R_se; //Resistencia total [m2·K/W]

        $q_s =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"tapa",$reg); //Flujo de calor [W/m2]
        $q_tapa = $q_s;
        $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_se,$R,"tapa",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    if ($q_tapa < $q_lim) {
        break;
    }
}

if ($q_tapa < $q_lim) {

```

```

        $d2 = round($d2,2);
        $q_tapa = round($q_tapa,2);
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>

        <p>Espesor de las tapas (d) = $d2 m</p>
        <p>Flujo de calor en las tapas (q_tapa) = $q_tapa
W/m^2</p>
        <p>Flujo de calor límite (q_lim) = $q_lim
W/m^2</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>

        <p>Material no válido para las tapas</p></div>";
    }
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//ESPESOR DE AISLAMIENTO CON TEMPERATURA SUPERFICIAL LIMITADA - Tlim
en °C

//Pared

function
pared_Tlim_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$H,$L,$lambda,$epsilon,
$theta_lim,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores de aislamiento

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

```

```

//Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
    $i = 0;
    $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura
    $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

    while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

        $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

        $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
        $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

        if ($localizacion == "interior") {
            $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
            if ($check1 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
            }
        }

        if ($localizacion == "exterior") {
            $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
            if ($check3 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg);
//Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg);
//Turbulento
            }
        }

        $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m²·K]

        $R_s = calc_Rs($d,$lambda,$reg);
        $R_se = calc_Rse($h,$reg);
        $R = $R_s + $R_se; //Resistencia total [m²·K/W]

```

```

        $q_s =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"pared",$reg); //Flujo de calor [W/m2]
        $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_se,$R,"pared",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    if ($theta_se < $theta_lim) {
        break;
    }
}

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de temperatura superficial
exterior</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";
    if ($theta_se < $theta_lim) {
        $d = round($d,2);
        $theta_se = round($theta_se,2);
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
            <p style='font-weight:bold;'>PARED</p>
            <p>Espesor (d) = $d m</p>
            <p>Temperatura superficial ( $\theta_{se}$ ) = $theta_se °C</p>
            <p>Temperatura superficial límite ( $\theta_{se\_lim}$ ) =
$theta_lim °C</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
            <p style='font-weight:bold;'>PARED</p>
            <p>Material no válido</p></div>";
    }
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Tubería

```

```

function
tuberia_Tlim_ISO($localizacion,$orientacion,$theta_i,$theta_a,$v,$D_e,$l,
$lambda,$epsilon,$theta_lim,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tubería

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evaluan 11
espesores

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

        $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento
        $H = $D_e; //En algunas fórmulas H=De en una tubería

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

        $i = 0;
        $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura

        $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

        while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

            $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
            $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

            if ($localizacion == "interior" && $orientacion
== "vertical") {

                $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);

```

```

        if ($check1 == 0) {
            $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
        } else {
            $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
        }
    }

    if ($localizacion == "interior" && $orientacion
== "horizontal") {
        $check2 = calc_check2($D_e,$dtheta,$reg);
        if ($check2 == 0) {
            $h_cv = calc_h_cv24($dtheta,$D_e,$reg);
//Laminar
        } else {
            $h_cv = calc_h_cv25($dtheta,$reg);
//Turbulento
        }
    }

    if ($localizacion == "exterior") {
        $check4 = calc_check4($D_e,$dtheta,$reg);
        if ($check4 == 0) {
            $h_cv = calc_h_cv28($v,$D_e,$reg);
//Laminar
        } else {
            $h_cv = calc_h_cv29($v,$D_e,$reg);
//Turbulento
        }
    }

    $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

    $R_l = calc_Rl($D_e,$D_i,$lambda,$reg);
    $R_le = calc_Rle($D_e,$h,$reg);
    $R = $R_l + $R_le; //Resistencia total [m·K/W]

    $q_l =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"tuberia",$reg); //Flujo de calor [W/m]
    $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

    $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_le,$R,"tuberia",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior

```

```

        $i++;
    }

    if ($theta_se < $theta_lim) {
        break;
    }
}

echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de temperatura superficial
exterior</h1>";
echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";
if ($theta_se < $theta_lim) {
    $d = round($d,2);
    $theta_se = round($theta_se,2);
    echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TUBERÍA</p>
        <p>Espesor (d) = $d m</p>
        <p>Temperatura superficial ( $\theta_{se}$ ) = $theta_se °C</p>
        <p>Temperatura superficial límite ( $\theta_{se\_lim}$ ) =
$theta_lim °C</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TUBERÍA</p>
        <p>Material no válido</p></div>";
    }
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Tanque esférico

function
tanque_esf_Tlim_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$D_e,$lambda,$epsi
lon,$theta_lim,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

```

```

        $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

        $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tanque esférico

        //Bucle para probar con distintos espesores
        for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores de aislamiento

                $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

                $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

                //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

                $i = 0;
                $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura

                $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

                $H = $D_e; //En algunas fórmulas H=De en un tanque
esférico

                while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

                        $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

                        $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
                        $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

                        if ($localizacion == "interior") {
                                $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
                        }

                        if ($localizacion == "exterior") {
                                $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
                                if ($check3 == 0) {
                                        $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg);
//Laminar
                                } else {

```

```

                                $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg);
//Turbulento
                                }
                                }

                                $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

                                $R_sph = calc_Rsph($D_e,$D_i,$lambda,$reg);
                                $R_sphe = calc_Rsphe($D_e,$h,$reg);
                                $R = $R_sph + $R_sphe; //Resistencia total [K/W]

                                $phi_sph =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"tanque_esferico",$reg); //Flujo de calor
[W]

                                $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

                                $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_sphe,$R,"tanque_esferico",$reg);
//Cálculo temperatura superficie exterior
                                $i++;
                                }

                                if ($theta_se < $theta_lim) {
                                    break;
                                }
                                }

                                echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de temperatura superficial
exterior</h1>";

                                echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";

                                if ($theta_se < $theta_lim) {
                                    $d = round($d,2);
                                    $theta_se = round($theta_se,2);
                                    echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
                                        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE ESFÉRICO</p>
                                        <p>Espesor (d) = $d m</p>
                                        <p>Temperatura superficial ( $\theta_{se}$ ) = $theta_se °C</p>
                                        <p>Temperatura superficial límite ( $\theta_{se\_lim}$ ) =
$theta_lim °C</p></div>";
                                    } else {

```

```

        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
            <p style='font-weight:bold;'>TANQUE ESFÉRICO</p>
            <p>Material no válido</p></div>";
    }
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Conducto

function
conducto_Tlim_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$a,$b,$l,$lambda,$sep
silon,$theta_lim,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    $P_e = 2*$a + 2*$b;
    $P_i = $P_e; //Para el aislamiento: Pi aislamiento=Pe
conducto

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evaluan 11
espesores

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

        $P_e = $P_i + 8 * $d; //Para el aislamiento
        $H = $P_e; //En algunas fórmulas H=Pe en un conducto

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

        $i = 0;
        $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura

        $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

```

```

        while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

            $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
            $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

            if ($localizacion == "interior") {
                $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
                if ($check1 == 0) {
                    $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
                } else {
                    $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
                }
            }

            if ($localizacion == "exterior") {
                $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
                if ($check3 == 0) {
                    $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg);
//Laminar
                } else {
                    $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg);
//Turbulento
                }
            }

            $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m²·K]

            $R_d = calc_Rd($P_e,$P_i,$lambda,$d,$reg);
            $R_de = calc_Rde($P_e,$h,$reg);
            $R = $R_d + $R_de; //Resistencia total [m·K/W]

            $q_d =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"conducto",$reg); //Flujo de calor [W/m]
            $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

```

```

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_de,$R,"conducto",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    if ($theta_se < $theta_lim) {
        break;
    }
}

if ($theta_se < $theta_lim) {
    $d = round($d,2);
    echo "CONDUCTO: El espesor es $d m <br>";
} else {
    echo "Material no válido <br>";
}

echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de temperatura superficial
exterior</h1>";
echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";

if ($theta_se < $theta_lim) {
    $d = round($d,2);
    $theta_se = round($theta_se,2);
    echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>CONDUCTO</p>
        <p>Espesor (d) = $d m</p>
        <p>Temperatura superficial ( $\theta_{se}$ ) = $theta_se °C</p>
        <p>Temperatura superficial límite ( $\theta_{se\_lim}$ ) =
$theta_lim °C</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
            <p style='font-weight:bold;'>CONDUCTO</p>
            <p>Material no válido</p></div>";
        }
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

```

```

//Tanque cúbico

function
tanque_cub_Tlim_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$a,$b,$l,$lambda,$
epsilon,$theta_lim,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    //CUERPO
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>CUERPO</div>";
    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    $P_e = 2*$a + 2*$b;
    $P_i = $P_e; //Para el aislamiento: Pi aislamiento=Pe
conducto

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d1=0.1; $d1<=0.6; $d1+=0.05) { //Se evaluan 11
espesores

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d1
m</div>";

        $P_e = $P_i + 8 * $d1; //Para el aislamiento
        $H = $P_e; //En algunas fórmulas H=Pe en una conducto

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

        $i = 0;
        $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura

        $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

        while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

```

```

        $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
        $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

        if ($localizacion == "interior") {
            $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
            if ($check1 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
            }
        }

        if ($localizacion == "exterior") {
            $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
            if ($check3 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg);
//Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg);
//Turbulento
            }
        }

        $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

        $R_d = calc_Rd($P_e,$P_i,$lambda,$d1,$reg);
        $R_de = calc_Rde($P_e,$h,$reg);
        $R = $R_d + $R_de; //Resistencia total [m·K/W]

        $q_d =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"cub_body",$reg); //Flujo de calor [W/m]
        $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_de,$R,"cub_body",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    if ($theta_se < $theta_lim) {
        break;
    }

```

```

    }

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de temperatura superficial
exterior</h1>";

    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";

    if ($theta_se < $theta_lim) {
        $d1 = round($d1,2);
        $theta_se = round($theta_se,2);
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>

        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CÚBICO</p>
        <p>Espesor del cuerpo (d) = $d1 m</p>
        <p>Temperatura superficial del cuerpo ( $\theta_{se\_cuerpo}$ ) =
$theta_se °C</p>
        <p>Temperatura superficial límite ( $\theta_{se\_lim}$ ) =
$theta_lim °C</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>

        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CÚBICO</p>
        <p>Material no válido para el cuerpo</p></div>";
    }

    //TAPAS
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>TAPAS</div>";
    $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d2=0.1; $d2<=0.6; $d2+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores de aislamiento

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d2
m</div>";

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
        $i = 0;
        $theta_se = $theta_a + 50; //Inicializo temperatura

```

```

        $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo
temperatura vieja

        while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i <
1000) {

            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

            $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
            $dtheta = $theta_se - $theta_a; //[°C]

            if ($localizacion == "interior") {
                $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
                if ($check1 == 0) { //Laminar
                    $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
                } else
            {
                //Turbulento
                    $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
                }
            }

            if ($localizacion == "exterior") {
                $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
                if ($check3 == 0) { //Laminar
                    $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg);
                } else
            {
                //Turbulento
                    $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg);
                }
            }

            $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m²·K]

            $R_s = calc_Rs($d2,$lambda,$reg);
            $R_se = calc_Rse($h,$reg);
            $R = $R_s + $R_se; //Resistencia total [m²·K/W]

            $q_s =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"tapa",$reg); //Flujo de calor [W/m²]
            $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

```

```

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_se,$R,"tapa",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    if ($theta_se < $theta_lim) {
        break;
    }
}

if ($theta_se < $theta_lim) {
    $d2 = round($d2,2);
    $theta_se = round($theta_se,2);
    echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>
        <p>Espesor de las tapas (d) = $d2 m</p>
        <p>Temperatura superficial de las tapas ( $\theta_{se\_tapa}$ ) =
$theta_se °C</p>
        <p>Temperatura superficial límite ( $\theta_{se\_lim}$ ) =
$theta_lim °C</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>
        <p>Material no válido para las tapas</p></div>";
    }
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN UNA TUBERÍA O CONDUCTO

//Tubería

function
tuberia_dtheta_ISO($localizacion,$orientacion,$theta_i,$theta_a,$v,$D_e,$
l,$d,$lambda,$epsilon,$c_p,$m_dot,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

```

```

        $theta_im = $theta_i; //Temperatura inicial del fluido
[°C]
        $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

        $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tubería
        $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
        $i = 0;
        $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura
        $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo temperatura
vieja
        $H = $D_e; //En algunas fórmulas H=De en una tubería

        while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i < 1000)
{
            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

            $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
            $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

            if ($localizacion == "interior" && $orientacion ==
"vertical") {
                $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
                if ($check1 == 0) {
                    $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
                } else {
                    $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
                }
            }

            if ($localizacion == "interior" && $orientacion ==
"horizontal") {
                $check2 = calc_check2($D_e,$dtheta,$reg);
                if ($check2 == 0) {
                    $h_cv = calc_h_cv24($dtheta,$D_e,$reg);
//Laminar

```

```

        } else {
            $h_cv = calc_h_cv25($dtheta,$reg);
//Turbulento
        }
    }

    if ($localizacion == "exterior") {
        $check4 = calc_check4($D_e,$dtheta,$reg);
        if ($check4 == 0) {
            $h_cv = calc_h_cv28($v,$D_e,$reg); //Laminar
        } else {
            $h_cv = calc_h_cv29($v,$D_e,$reg);
//Turbulento
        }
    }

    $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

    $R_l = calc_Rl($D_e,$D_i,$lambda,$reg);
    $R_le = calc_Rle($D_e,$h,$reg);
    $R = $R_l + $R_le; //Resistencia total [m.K/W]

    $q_l = calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"tuberia",$reg);
//Flujo de calor [W/m]
    $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

    $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_le,$R,"tuberia",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior

    $alpha = calc_alpha($R,$m_dot,$c_p,$reg); //m_dot
[kg/h]  c_p [kJ/kg.K]  alpha [m^-1]
    $dtheta_fma =
calc_dtheta_fma($theta_im,$theta_a,$alpha,$l,$reg); //Variación
longitudinal de la temperatura [°C]

    $i++;
}

$dtheta_fma = round($dtheta_fma,2);

echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo de la
variación longitudinal de temperatura</h1>";
echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";

```

```

        echo "<div style='margin-left:auto; margin-right:auto;
text-align:center; border-style:double; border-color:red; width:450px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TUBERÍA</p>
        <p>Variación longitudinal de la temperatura:  $|\theta_{fm} - \theta_a| = \frac{d\theta_{fma}}{dx}$  °C</p></div>";
        if ($proc == true) {
            echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
        }
    }

    //Conducto

    function
conducto_dtheta_ISO($localizacion,$theta_i,$theta_a,$v,$a,$b,$l,$d,$lambd
a,$epsilon,$c_p,$m_dot,$proc) {

        $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

        $theta_im = $theta_i; //Temperatura inicial del fluido
[°C]
        $theta_si = $theta_i; //Se supone temperatura de la
superficie interior igual a la del fluido

        $P_e = 2*$a + 2*$b;
        $P_i = $P_e; //Para el aislamiento: Pi aislamiento=Pe
conducto
        $P_e = $P_i + 8 * $d; //Para el aislamiento

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
        $i = 0;
        $theta_se = ($theta_i + $theta_a) / 2; //Inicializo
temperatura
        $theta_seold = $theta_se * 2; //Inicializo temperatura
vieja
        $H = $P_e;

        while (abs($theta_se - $theta_seold) > 0.01 && $i < 1000)
{
            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

```

```

        $h_r = calc_hr($theta_se,$theta_a,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
        $dtheta = abs($theta_se - $theta_a); //[°C]

        if ($localizacion == "interior") {
            $check1 = calc_check1($H,$dtheta,$reg);
            if ($check1 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv22($dtheta,$H,$reg);
//Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv23($dtheta,$reg);
//Turbulento
            }
        }

        if ($localizacion == "exterior") {
            $check3 = calc_check3($H,$v,$reg);
            if ($check3 == 0) {
                $h_cv = calc_h_cv26($v,$H,$reg); //Laminar
            } else {
                $h_cv = calc_h_cv27($v,$H,$reg); //Turbulento
            }
        }

        $h = calc_h($h_r,$h_cv,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m²·K]

        $R_d = calc_Rd($P_e,$P_i,$lambda,$d,$reg);
        $R_de = calc_Rde($P_e,$h,$reg);
        $R = $R_d + $R_de; //Resistencia total [m·K/W]

        $q_d =
calc_q($theta_si,$theta_se,$R,"conducto",$reg); //Flujo de calor [W/m]
        $theta_seold = $theta_se; //Actualizo temperatura
anterior

        $theta_se =
calc_theta_se($theta_a,$theta_i,$R_de,$R,"conducto",$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior

        $alpha = calc_alpha($R,$m_dot,$c_p,$reg); //m_dot
[kg/h]  c_p [kJ/kg·K]  alpha [m⁻¹]
        $dtheta_fma =
calc_dtheta_fma($theta_im,$theta_a,$alpha,$l,$reg); //Variación
longitudinal de la temperatura [°C]

        $i++;

```

```

    }

    $dtheta_fma = round($dtheta_fma,2);

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo de la
variación longitudinal de temperatura</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ISO
12241</h2>";
    echo "<div style='margin-left:auto; margin-right:auto;
text-align:center; border-style:double; border-color:red; width:450px;'>
    <p style='font-weight:bold;'>CONDUCTO</p>
    <p>Variación longitudinal de la temperatura:  $|\theta_{fm} - \theta_a| = \theta_{dtheta\_fma} \text{ }^{\circ}\text{C}$ </p></div>";
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//NORMATIVA ASTM C-680

//FLUJO DE CALOR Y TEMPERATURA SUPERFICIAL

//Pared

function
pared_qT_ASTM($conveccion,$orientacion,$flujo,$T_i,$T_o,$V,$L,$H,$d,$k,$e
psilon,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $area = $L * $H; //[m^2]
    $g = 9.81; //Gravedad [m2/s]

    //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
    $i = 0;
    $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
    $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

    while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

        $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";
    }
}

```

```

//Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
(aire) en función de la temperatura
$T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]
$T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature [°F]
$k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]
$rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del aire
[kg/m^3]
$mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del aire
[N·s/m^2]
$nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática del
aire [m^2/s]
$c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]
$beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de expansión
térmica volumétrico del aire [1/K]

$h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
$dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]
$Pr = calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
    $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
    $check33 = calc_check_33($Ra_L,$reg);
    if ($check33 == 1) {
        $Nu = calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,$reg);
    } else {
        $Nu = calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,$reg);
    }
    $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg); //Coeficiente
de convección
}

if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"horizontal") {
    $L2 = $L * $H / (2*$L + 2*$H); //En pared
horizontal la dimensión característica es el area dividida por el
perímetro
    $reg = $reg . "L = Área/Perímetro =
(L*H)/(2*L+2*H) = $L2 [m] <br>";
    $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L2,$reg);

```

```

        if ($flujo == "arriba") { //Calor fluyendo hacia
arriba
            $check3411 = calc_check_3411($Ra_L,$reg);
            $check3412 = calc_check_3412($Ra_L,$reg);
            if ($check3411 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_3411($Ra_L,$reg);
            } elseif ($check3412 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_3412($Ra_L,$reg);
            } else {
                $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
            }
        } elseif ($flujo == "abajo") { //Calor fluyendo
hacia abajo
            $check342 = calc_check_342($Ra_L,$reg);
            if ($check342 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_342($Ra_L,$reg);
            } else {
                $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
            }
        }
        $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L2,$reg);
//Coeficiente de convección
    }

    if ($conveccion == "forzada") {
        $Re_L = calc_Re_L($V,$nu,$L,$reg);
        $check30 = calc_check_30($Re_L,$reg);
        $check31 = calc_check_31($Re_L,$reg);
        if ($check30 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_30($Re_L,$Pr,$reg); //Laminar
        } elseif ($check31 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_31($Re_L,$Pr,$reg);
//Turbulento
        } else {
            $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        }
        $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg); //Coeficiente
de convección
    }

    $h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

    $R_m = calc_Rm_pared($d,$k,$reg);
    $R_o = calc_Ro($h,$reg);
    $R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2.K/W]

```

```

        $q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de calor
[W/m2]
        $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
        $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    $T_s = round($T_s,2);
    $q = round($q,2);
    $Q = $q * $area; //[W]
    $Q = round($Q,2);

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del flujo de
calor y la temperatura superficial</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ASTM
C-680</h2>";
    echo "<div style='margin-left:auto; margin-right:auto;
text-align:center; border-style:double; border-color:red; width:350px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>PARED</p>
        <p>Temperatura superficial (T_s) = $T_s °C</p>
        <p>Flujo de calor (q) = $q W/m^2</p>
        <p>Calor total (Q) = $Q W</p></div>";
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Tubería

function
tuberia_qT_ASTM($conveccion,$orientacion,$T_i,$T_o,$V,$D_e,$L,$d,$k,$epsi
lon,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $g = 9.81; //Gravedad [m2/s]

    $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tubería
    $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

```

```

//Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
    $i = 0;
    $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
    $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

    while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

        $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

        //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
(aire) en función de la temperatura
        $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]
        $T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature [°F]
        $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]

        $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del aire
[kg/m^3]

        $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del aire
[N·s/m^2]

        $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática del
aire [m^2/s]

        $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]

        $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de expansión
térmica volumétrico del aire [1/K]

        $h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
        $dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]

        $Pr =
calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
            $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
            $check33 = calc_check_33($Ra_L,$reg);
            if ($check33 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,$reg);
            } else {
                $Nu = calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,$reg);
            }
        }
    }

```

```

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"horizontal"){
            $Ra_D =
calc_Ra_D($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$D_e,$reg);
            $check36 = calc_check_36($Ra_D,$reg);
            if ($check36 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_36($Ra_D,$Pr,$reg);
            } else {
                $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
            }
        }

        if ($conveccion == "forzada") {
            $Re_D = calc_Re_D($V,$nu,$D_e,$reg);
            $check35 = calc_check_35($Re_D,$Pr,$reg);
            if ($check35 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_35($Re_D,$Pr,$reg);
            } else {
                $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
            }
        }

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
            $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg); //Coeficiente
de convección - dimensión característica L
        } else {
            $h_c = calc_hc_D($Nu,$k_f,$D_e,$reg);
//Coeficiente de convección - dimensión característica D
        }
        $h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

        $R_m = calc_Rm_tuberia($D_e,$D_i,$k,$reg);
        $R_o = calc_Ro($h,$reg);
        $R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2·K/W]

        $q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de calor
[W/m2]

        $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
        $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }
}

```

```

        $T_s = round($T_s,2);
        $q = round($q,2);

        $q_l = $q * 2 * pi() * ($D_e/2); //[W/m]
        $reg = $reg . "Fórmula 15:  $q_l = 2 \cdot \pi \cdot (D_e/2) \cdot q = q_l$ 
[W/m] <br>";

        $q_l = round($q_l,2);

        $Q = $q_l * $L; //[W]
        $Q = round($Q,2);

        echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del flujo de
calor y la temperatura superficial</h1>";
        echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ASTM
C-680</h2>";

        echo "<div style='margin-left:auto; margin-right:auto;
text-align:center; border-style:double; border-color:red; width:350px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TUBERÍA</p>
        <p>Temperatura superficial (T_s) = $T_s °C</p>
        <p>Flujo de calor (q_l) = $q_l W/m</p>
        <p>Calor total (Q) = $Q W</p></div>";
        if ($proc == true) {
            echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
        }
    }

    //Tanque esférico

    function
tanque_esf_qT_ASTM($conveccion,$T_i,$T_o,$V,$D_e,$d,$k,$epsilon,$proc) {

        $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

        $g = 9.81; //Gravedad [m2/s]

        $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tanque esférico
        $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
        $i = 0;
        $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
        $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

```

```

while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

    //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
    (aire) en función de la temperatura
    if ($conveccion == "natural") {
        $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]
        $T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature
[°F]
        $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]
        $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del
aire [kg/m^3]
        $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del
aire [N·s/m^2]
        $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática
del aire [m^2/s]
        $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]
        $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]
    } elseif ($conveccion == "forzada") {
        $T_k = $T_o + 273.15; //[K]
        $T_f = $T_o * 9/5 + 32; //[°F]
        $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]
        $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del
aire [kg/m^3]
        $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del
aire [N·s/m^2]
        $mu_s = calc_mu($T_s+273.15); //Viscosidad
dinámica del aire [N·s/m^2]
        $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática
del aire [m^2/s]
        $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]
        $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]
    }

    $h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
    $dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]

```

```

$Pr = calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

if ($conveccion == "natural") {
    $Ra_D =
calc_Ra_D($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$D_e,$reg);
    $check38 = calc_check_38($Ra_D,$Pr,$reg);
    if ($check38 == 1) {
        $Nu = calc_Nu_38($Ra_D,$Pr,$reg);
    } else {
        $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        $Nu = calc_Nu_38($Ra_D,$Pr,$reg);
    }
}

if ($conveccion == "forzada") {
    $Re_D = calc_Re_D($V,$nu,$D_e,$reg);
    $check37 =
calc_check_37($Re_D,$Pr,$mu,$mu_s,$reg);
    if ($check37 == 1) {
        $Nu = calc_Nu_37($Re_D,$Pr,$mu,$mu_s,$reg);
    } else {
        $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        $Nu = calc_Nu_37($Re_D,$Pr,$mu,$mu_s,$reg);
    }
}

$h_c = calc_hc_D($Nu,$k_f,$D_e,$reg); //Coeficiente
de convección

$h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

$R_m = calc_Rm_tanqueesf($D_e,$D_i,$k,$reg);
$R_o = calc_Ro($h,$reg);
$R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2·K/W]

$q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de calor
[W/m2]

$T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
$T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
$i++;
}

$T_s = round($T_s,2);
$q = round($q,2);

```

```

$Q = $q * 4 * pi() * pow($D_e/2,2);
$Q = round($Q,2);

echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del flujo de
calor y la temperatura superficial</h1>";
echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ASTM
C-680</h2>";
echo "<div style='margin-left:auto; margin-right:auto;
text-align:center; border-style:double; border-color:red; width:350px;'>
  <p style='font-weight:bold;'>TANQUE ESFÉRICO</p>
  <p>Temperatura superficial (T_s) = $T_s °C</p>
  <p>Flujo de calor (q) = $q W/m^2</p>
  <p>Calor total (Q) = $Q W</p></div>";
if ($proc == true) {
  echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
}
}

//Tanque cilíndrico

function
tanque_cil_qT_ASTM($conveccion,$orientacion,$flujo,$T_i,$T_o,$V,$D_e,$L,$
d,$k,$epsilon,$proc) {

  $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

  $g = 9.81; //Gravedad [m2/s]

  //CUERPO
  $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>CUERPO</div>";
  $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tubería
  $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

  //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
  $i = 0;
  $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
  $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

  while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

```

```

        $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

        //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
(aire) en función de la temperatura
        $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]
        $T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature [°F]
        $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]

        $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del aire
[kg/m^3]

        $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del aire
[N·s/m^2]

        $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática del
aire [m^2/s]

        $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]

        $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de expansión
térmica volumétrico del aire [1/K]

        $h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
        $dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]

        $Pr =
calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
            $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
            $check33 = calc_check_33($Ra_L,$reg);
            if ($check33 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,$reg);
            } else {
                $Nu = calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,$reg);
            }
        }

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"horizontal"){
            $Ra_D =
calc_Ra_D($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$D_e,$reg);
            $check36 = calc_check_36($Ra_D,$reg);
            if ($check36 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_36($Ra_D,$Pr,$reg);
            }
        }

```

```

    } else {
        $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
    }
}

if ($conveccion == "forzada") {
    $Re_D = calc_Re_D($V,$nu,$D_e,$reg);
    $check35 = calc_check_35($Re_D,$Pr,$reg);
    if ($check35 == 1) {
        $Nu = calc_Nu_35($Re_D,$Pr,$reg);
    } else {
        $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
    }
}

if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
    $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg); //Coeficiente
de convección - dimensión característica L
    } else {
        $h_c = calc_hc_D($Nu,$k_f,$D_e,$reg);
//Coeficiente de convección - dimensión característica D
    }
    $h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

    $R_m = calc_Rm_tuberia($D_e,$D_i,$k,$reg);
    $R_o = calc_Ro($h,$reg);
    $R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2·K/W]

    $q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de calor
[W/m2]

    $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
    $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
    $i++;
}

$T_s_body = round($T_s,2);
$q_body = round($q,2);
$Q_body = $q * 2 * pi() * ($D_e/2) * $L; //[W]

//TAPAS
$reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>TAPAS</div>";

```

```

//Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
    $i = 0;
    $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
    $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

    while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

        $reg = $reg . "<br> ITERACIÓN Nº $i (TAPAS) <br>";

        //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
        (aire) en función de la temperatura
        $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]
        $T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature [°F]
        $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]
        $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del aire
[kg/m^3]
        $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del aire
[N·s/m^2]
        $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática del
aire [m^2/s]
        $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]
        $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de expansión
térmica volumétrico del aire [1/K]

        $h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
        $dT = $T_s - $T_o; //[°C]
        $Pr = calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
            $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
            $check33 = calc_check_33($Ra_L,$reg);
            if ($check33 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,$reg);
            } else {
                $Nu = calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,$reg);
            }
            $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg); //Coeficiente
de convección
        }
    }

```

```

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"horizontal") {
            $L2 = $L * $H / (2*$L + 2*$H); //En pared
horizontal la dimensión característica es el area dividida por el
perímetro
            $reg = $reg . "L = Área/Perímetro =
(L*H)/(2*L+2*H) = $L2 [m] <br>";
            $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L2,$reg);
            if ($flujo == "arriba") { //Calor fluyendo hacia
arriba
                $check3411 = calc_check_3411($Ra_L,$reg);
                $check3412 = calc_check_3412($Ra_L,$reg);
                if ($check3411 == 1) {
                    $Nu = calc_Nu_3411($Ra_L,$reg);
                } elseif ($check3412 == 1) {
                    $Nu = calc_Nu_3412($Ra_L,$reg);
                } else {
                    $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
                }
            } elseif ($flujo == "abajo") { //Calor fluyendo
hacia abajo
                $check342 = calc_check_342($Ra_L,$reg);
                if ($check342 == 1) {
                    $Nu = calc_Nu_342($Ra_L,$reg);
                } else {
                    $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
                }
            }
            $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L2,$reg);
//Coeficiente de convección
        }

        if ($conveccion == "forzada") {
            $Re_L = calc_Re_L($V,$nu,$L,$reg);
            $check30 = calc_check_30($Re_L,$reg);
            $check31 = calc_check_31($Re_L,$reg);
            if (check30 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_30($Re_L,$Pr,$reg); //Laminar
            } elseif ($check31 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_31($Re_L,$Pr,$reg);
//Turbulento
            } else {
                $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
            }
        }

```

```

        $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg); //Coeficiente
de convección
    }

    $h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

    $R_m = calc_Rm_pared($d,$k,$reg);
    $R_o = calc_Ro($h,$reg);
    $R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2·K/W]

    $q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de calor
[W/m2]

    $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
    $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
    $i++;
}

$T_s_tapa = round($T_s,2);
$q_tapa = round($q,2);
$Q_tapa = $q_tapa * pi() * pow($D_e/2,2); //[W]
$Q = $Q_body + 2*$Q_tapa; //[W]
$Q = round($Q,2);

echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del flujo de
calor y la temperatura superficial</h1>";
echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ASTM
C-680</h2>";

echo "<div style='margin-left:auto; margin-right:auto;
text-align:center; border-style:double; border-color:red; width:450px;'>
    <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CILÍNDRICO</p>
    <p>Temperatura superficial del cuerpo (T_s_cuerpo) =
$T_s_body °C</p>
    <p>Temperatura superficial de cada tapa (T_s_tapa) =
$T_s_tapa °C</p>
    <p>Flujo de calor en el cuerpo (q_cuerpo) = $q_body
W/m^2</p>
    <p>Flujo de calor en las tapas (q_tapa) = $q_tapa
W/m^2</p>
    <p>Calor total (Q) = $Q W</p></div>";
if ($proc == true) {
    echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
}
}

```

```

//ESPESOR DE AISLAMIENTO CON FLUJO DE CALOR LIMITADO

//Pared - qlim en W/m^2

function
pared_qlim_ASTM($conveccion,$orientacion,$flujo,$T_i,$T_o,$V,$L,$H,$k,$ep
silon,$q_lim,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $g = 9.81; //Gravedad [m2/s]

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evaluan 11
espesores de aislamiento

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

        $i = 0;
        $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
        $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

        while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

            //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
(aire) en función de la temperatura
            $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]
            $T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature
[°F]

            $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]

            $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del
aire [kg/m^3]

            $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del
aire [N·s/m^2]

```

```

        $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática
del aire [m^2/s]

        $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]

        $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]

        $h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
        $dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]
        $Pr = calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
                $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
                $check33 = calc_check_33($Ra_L,$reg);
                if ($check33 == 1) {
                        $Nu = calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,$reg);
                } else {
                        $Nu = calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,$reg);
                }
                $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg);
//Coeficiente de convección
        }

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"horizontal") {
                $L2 = $L * $H / (2*$L + 2*$H); //En pared
horizontal la dimensión característica es el area dividida por el
perímetro
                $reg = $reg . "L = Área/Perímetro =
(L*H)/(2*L+2*H) = $L2 [m] <br>";
                $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L2,$reg);
                if ($flujo == "arriba") { //Calor fluyendo
hacia arriba
                        $check3411 = calc_check_3411($Ra_L,$reg);
                        $check3412 = calc_check_3412($Ra_L,$reg);
                        if ($check3411 == 1) {
                                $Nu = calc_Nu_3411($Ra_L,$reg);
                        } elseif ($check3412 == 1) {
                                $Nu = calc_Nu_3412($Ra_L,$reg);
                        } else {
                                $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
                        }
                }
        }

```

```

    } elseif ($flujo == "abajo") { //Calor
fluyendo hacia abajo
        $check342 = calc_check_342($Ra_L,$reg);
        if ($check342 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_342($Ra_L,$reg);
        } else {
            $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        }
    }
    $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L2,$reg);
//Coeficiente de convección
    }

    if ($conveccion == "forzada") {
        $Re_L = calc_Re_L($V,$nu,$L,$reg);
        $check30 = calc_check_30($Re_L,$reg);
        $check31 = calc_check_31($Re_L,$reg);
        if ($check30 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_30($Re_L,$Pr,$reg);
//Laminar
        } elseif ($check31 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_31($Re_L,$Pr,$reg);
//Turbulento
        } else {
            $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        }
        $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg);
//Coeficiente de convección
    }

    $h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

    $R_m = calc_Rm_pared($d,$k,$reg);
    $R_o = calc_Ro($h,$reg);
    $R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2·K/W]

    $q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de
calor [W/m2]

    $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
    $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
    $i++;
}

if ($q < $q_lim) {

```

```

        break;
    }
}

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de flujo de calor</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ASTM
C-680</h2>";

    if ($q < $q_lim) {
        $d = round($d,2);
        $q = round($q,2);
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>

            <p style='font-weight:bold;'>PARED</p>
            <p>Espesor (d) = $d m</p>
            <p>Flujo de calor (q) = $q W/m^2</p>
            <p>Flujo de calor límite (q_lim) = $q_lim
W/m^2</p></div>";
        } else {
            echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>

                <p style='font-weight:bold;'>PARED</p>
                <p>Material no válido</p></div>";
            }
        if ($proc == true) {
            echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
        }
    }

    //Tubería - qlim en W/m

    function
tuberia_qlim_ASTM($conveccion,$orientacion,$T_i,$T_o,$V,$D_e,$L,$k,$sepsil
on,$q_lim,$proc) {

        $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

        $g = 9.81; //Gravedad [m2/s]

        $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tubería

```

```

        //Bucle para probar con distintos espesores
        for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores

            $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

            $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

            //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

            $i = 0;
            $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
            $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

            while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

                $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

                //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
(aire) en función de la temperatura
                $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]
                $T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature
[°F]

                $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]

                $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del
aire [kg/m^3]

                $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del
aire [N·s/m^2]

                $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática
del aire [m^2/s]

                $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]

                $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]

                $h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
                $dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]

                $Pr =
calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

```

```

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
            $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
            $check33 = calc_check_33($Ra_L,$reg);
            if ($check33 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,$reg);
            } else {
                $Nu = calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,$reg);
            }
        }

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"horizontal"){
            $Ra_D =
calc_Ra_D($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$D_e,$reg);
            $check36 = calc_check_36($Ra_D,$reg);
            if ($check36 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_36($Ra_D,$Pr,$reg);
            } else {
                $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
            }
        }

        if ($conveccion == "forzada") {
            $Re_D = calc_Re_D($V,$nu,$D_e,$reg);
            $check35 = calc_check_35($Re_D,$Pr,$reg);
            if ($check35 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_35($Re_D,$Pr,$reg);
            } else {
                $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
            }
        }

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
            $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg);
//Coeficiente de convección - dimensión característica L
        } else {
            $h_c = calc_hc_D($Nu,$k_f,$D_e,$reg);
//Coeficiente de convección - dimensión característica D
        }
        $h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

        $R_m = calc_Rm_tuberia($D_e,$D_i,$k,$reg);

```

```

        $R_o = calc_Ro($h,$reg);
        $R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2.K/W]

        $q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de
calor [W/m2]

        $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
        $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    $q_l = $q * 2 * pi() * ($D_e/2); //[W/m]

    if ($q_l < $q_lim) {
        break;
    }
}

echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de flujo de calor</h1>";
echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ASTM
C-680</h2>";

    if ($q_l < $q_lim) {
        $d = round($d,2);
        $q_l = round($q_l,2);
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>

            <p style='font-weight:bold;'>TUBERÍA</p>
            <p>Espesor (d) = $d m</p>
            <p>Flujo de calor (q_l) = $q_l W/m</p>
            <p>Flujo de calor límite (q_lim) = $q_lim
W/m</p></div>";

        } else {
            echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>

                <p style='font-weight:bold;'>TUBERÍA</p>
                <p>Material no válido</p></div>";

            }
        if ($proc == true) {
            echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
        }
    }
}

```

```

//Tanque esférico - qlim en W/m2

function
tanque_esf_qlim_ASTM($conveccion,$T_i,$T_o,$V,$D_e,$k,$epsilon,$q_lim,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $g = 9.81; //Gravedad [m2/s]

    $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tanque esférico

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evaluan 11
espesores

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

        $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

        $i = 0;
        $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
        $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

        while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

            //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
(aire) en función de la temperatura
            if ($conveccion == "natural") {
                $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature
[K]

                $T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature
[°F]

                $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica
del aire [W/m·K]

                $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido
del aire [kg/m^3]

```

```

        $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica
del aire [N·s/m^2]
        $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad
cinemática del aire [m^2/s]
        $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del
aire [J/kg·K]
        $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]
    } elseif ($conveccion == "forzada") {
        $T_k = $T_o + 273.15; //[K]
        $T_f = $T_o * 9/5 + 32; //[°F]
        $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica
del aire [W/m·K]
        $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido
del aire [kg/m^3]
        $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica
del aire [N·s/m^2]
        $mu_s = calc_mu($T_s+273.15); //Viscosidad
dinámica del aire [N·s/m^2]
        $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad
cinemática del aire [m^2/s]
        $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del
aire [J/kg·K]
        $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]
    }

    $h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
    $dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]

    $Pr = calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

    if ($conveccion == "natural") {
        $Ra_D =
calc_Ra_D($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$D_e,$reg);
        $check38 = calc_check_38($Ra_D,$Pr,$reg);
        if ($check38 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_38($Ra_D,$Pr,$reg);
        } else {
            $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        }
    }

    if ($conveccion == "forzada") {
        $Re_D = calc_Re_D($V,$nu,$D_e,$reg);

```

```

        $check37 =
calc_check_37($Re_D,$Pr,$mu,$mu_s,$reg);
        if ($check37 == 1) {
            $Nu =
calc_Nu_37($Re_D,$Pr,$mu,$mu_s,$reg);
        } else {
            $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        }
    }

    $h_c = calc_hc_D($Nu,$k_f,$D_e,$reg);
//Coeficiente de convección
    $h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

    $R_m = calc_Rm_tanqueesf($D_e,$D_i,$k,$reg);
    $R_o = calc_Ro($h,$reg);
    $R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2.K/W]

    $q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de
calor [W/m2]

    $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
    $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
    $i++;
}

if ($q < $q_lim) {
    break;
}
}

echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de flujo de calor</h1>";
echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ASTM
C-680</h2>";

if ($q < $q_lim) {
    $d = round($d,2);
    $q = round($q,2);
    echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE ESFÉRICO</p>
        <p>Espesor (d) = $d m</p>
        <p>Flujo de calor (q) = $q W/m^2</p>
    </div>";
}

```

```

        <p>Flujo de calor límite (q_lim) = $q_lim
W/m^2</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE ESFÉRICO</p>
        <p>Material no válido</p></div>";
    }
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Tanque cilíndrico - qlim en W/m^2

function
tanque_cil_qlim_ASTM($conveccion,$orientacion,$T_i,$T_o,$V,$D_e,$L,$k,$sep
silon,$q_lim,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $g = 9.81; //Gravedad [m2/s]

    //CUERPO
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>CUERPO</div>";
    $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tubería

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d1=0.1; $d1<=0.6; $d1+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d1
m</div>";

        $D_e = $D_i + 2 * $d1; //Para el aislamiento

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
        $i = 0;
        $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura

```

```

    $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

    while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

        $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

        //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
        (aire) en función de la temperatura
        $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]
        $T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature
        [°F]

        $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
        aire [W/m·K]

        $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del
        aire [kg/m^3]

        $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del
        aire [N·s/m^2]

        $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática
        del aire [m^2/s]

        $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
        [J/kg·K]

        $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
        expansión térmica volumétrico del aire [1/K]

        $h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
        //Coeficiente de radiación
        $dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]

        $Pr =
        calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
        "vertical"){

            $Ra_L =
            calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
            $check33 = calc_check_33($Ra_L,$reg);
            if ($check33 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,$reg);
            } else {
                $Nu = calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,$reg);
            }
        }

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
        "horizontal"){

```

```

        $Ra_D =
calc_Ra_D($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$D_e,$reg);
        $check36 = calc_check_36($Ra_D,$reg);
        if ($check36 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_36($Ra_D,$Pr,$reg);
        } else {
            $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        }
    }

    if ($conveccion == "forzada") {
        $Re_D = calc_Re_D($V,$nu,$D_e,$reg);
        $check35 = calc_check_35($Re_D,$Pr,$reg);
        if ($check35 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_35($Re_D,$Pr,$reg);
        } else {
            $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        }
    }

    if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
        $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg);
//Coeficiente de convección - dimensión característica L
    } else {
        $h_c = calc_hc_D($Nu,$k_f,$D_e,$reg);
//Coeficiente de convección - dimensión característica D
    }
    $h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

    $R_m = calc_Rm_tuberia($D_e,$D_i,$k,$reg);
    $R_o = calc_Ro($h,$reg);
    $R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2·K/W]

    $q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de
calor [W/m2]

    $q_body = $q;
    $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
    $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
    $i++;
}

if ($q_body < $q_lim) {
    break;
}

```

```

    }
}

echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de flujo de calor</h1>";
echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ASTM
C-680</h2>";

if ($q_body < $q_lim) {
    $d1 = round($d1,2);
    $q_body = round($q_body,2);
    echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>

        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CILÍNDRICO</p>
        <p>Espesor del cuerpo (d) = $d1 m</p>
        <p>Flujo de calor en el cuerpo (q_cuerpo) = $q_body
W/m^2</p>
        <p>Flujo de calor límite (q_lim) = $q_lim
W/m^2</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>

        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CILÍNDRICO</p>
        <p>Material no válido para el cuerpo</p></div>";
    }

    //TAPAS
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>TAPAS</div>";

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d2=0.1; $d2<=0.6; $d2+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores de aislamiento

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d2
m</div>";

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

        $i = 0;
        $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
        $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

        while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

```

```

$reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

//Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
(aire) en función de la temperatura
$T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]
$T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature
[°F]
$k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]
$rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del
aire [kg/m^3]
$mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del
aire [N·s/m^2]
$nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática
del aire [m^2/s]
$c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]
$beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]

$h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
$dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]
$Pr = calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
    $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
    $check33 = calc_check_33($Ra_L,$reg);
    if ($check33 == 1) {
        $Nu = calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,$reg);
    } else {
        $Nu = calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,$reg);
    }
}

if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"horizontal") {
    $L = $L * $H / (2*$L + 2*$H); //En pared
horizontal la dimensión característica es el area dividida por el
perímetro
    $reg = $reg . "L = Área/Perímetro =
(L*H)/(2*L+2*H) = $L [m] <br>";

```

```

$Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
$check3411 = calc_check_3411($Ra_L,$reg);
$check3412 = calc_check_3412($Ra_L,$reg);
$check342 = calc_check_342($Ra_L,$reg);
if ($check3411 == 1) {
    $Nu = calc_Nu_3411($Ra_L,$reg); //Calor
fluyendo hacia arriba
} elseif ($check3412 == 1) {
    $Nu = calc_Nu_3412($Ra_L,$reg); //Calor
fluyendo hacia arriba
} elseif ($check342 == 1) {
    $Nu = calc_Nu_342($Ra_L,$reg); //Calor
fluyendo hacia abajo
} else {
    $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
}
}

if ($conveccion == "forzada") {
    $Re_L = calc_Re_L($V,$nu,$L,$reg);
    $check30 = calc_check_30($Re_L,$reg);
    $check31 = calc_check_31($Re_L,$reg);
    if (check30 == 1) {
        $Nu = calc_Nu_30($Re_L,$Pr,$reg);
//Laminar
    } elseif ($check31 == 1) {
        $Nu = calc_Nu_31($Re_L,$Pr,$reg);
//Turbulento
    } else {
        $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
    }
}

$h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg); //Coeficiente
de convección
$h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

$R_m = calc_Rm_pared($d2,$k,$reg);
$R_o = calc_Ro($h,$reg);
$R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2·K/W]

$q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de
calor [W/m2]
$q_tapa = $q;

```

```

        $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
        $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    if ($q_tapa < $q_lim) {
        break;
    }
}

if ($q_tapa < $q_lim) {
    $d2 = round($d2,2);
    $q_tapa = round($q_tapa,2);
    echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>
        <p>Espesor de las tapas (d) = $d2 m</p>
        <p>Flujo de calor en las tapas (q_tapa) = $q_tapa
W/m^2</p>
        <p>Flujo de calor límite (q_lim) = $q_lim
W/m^2</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CILÍNDRICO</p>
        <p>Material no válido para las tapas</p></div>";
    }
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//ESPESOR DE AISLAMIENTO CON TEMPERATURA SUPERFICIAL LIMITADA - Tlim
en °C

//Pared

function
pared_Tlim_ASTM($conveccion,$orientacion,$flujo,$T_i,$T_o,$V,$L,$H,$k,$ep
silon,$T_lim,$proc) {

```

```

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $g = 9.81; //Gravedad [m2/s]

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores de aislamiento

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

        $i = 0;
        $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
        $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

        while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

            //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
(aire) en función de la temperatura
            $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]
            $T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature
[°F]

            $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]

            $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del
aire [kg/m^3]

            $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del
aire [N·s/m^2]

            $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática
del aire [m^2/s]

            $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]

            $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]

            $h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
            $dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]
            $Pr = calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

```

```

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
            $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
            $check33 = calc_check_33($Ra_L,$reg);
            if ($check33 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,$reg);
            } else {
                $Nu = calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,$reg);
            }
            $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg);
//Coeficiente de convección
        }

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"horizontal") {
            $L2 = $L * $H / (2*$L + 2*$H); //En pared
horizontal la dimensión característica es el area dividida por el
perímetro
            $reg = $reg . "L = Área/Perímetro =
(L*H)/(2*L+2*H) = $L2 [m] <br>";
            $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L2,$reg);
            if ($flujo == "arriba") { //Calor fluyendo
hacia arriba
                $check3411 = calc_check_3411($Ra_L,$reg);
                $check3412 = calc_check_3412($Ra_L,$reg);
                if ($check3411 == 1) {
                    $Nu = calc_Nu_3411($Ra_L,$reg);
                } elseif ($check3412 == 1) {
                    $Nu = calc_Nu_3412($Ra_L,$reg);
                } else {
                    $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
                }
            } elseif ($flujo == "abajo") { //Calor
fluyendo hacia abajo
                $check342 = calc_check_342($Ra_L,$reg);
                if ($check342 == 1) {
                    $Nu = calc_Nu_342($Ra_L,$reg);
                } else {
                    $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
                }
            }
            $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L2,$reg);
//Coeficiente de convección

```

```

    }

    if ($conveccion == "forzada") {
        $Re_L = calc_Re_L($V,$nu,$L,$reg);
        $check30 = calc_check_30($Re_L,$reg);
        $check31 = calc_check_31($Re_L,$reg);
        if (check30 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_30($Re_L,$Pr,$reg);
//Laminar

        } elseif ($check31 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_31($Re_L,$Pr,$reg);
//Turbulento

        } else {
            $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        }
        $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg);
//Coeficiente de convección
    }

    $h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

    $R_m = calc_Rm_pared($d,$k,$reg);
    $R_o = calc_Ro($h,$reg);
    $R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2·K/W]

    $q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de
calor [W/m2]

    $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
    $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
    $i++;
}

if ($T_s < $T_lim) {
    break;
}

echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de temperatura superficial
exterior</h1>";
echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ASTM
C-680</h2>";
if ($T_s < $T_lim) {
    $d = round($d,2);

```

```

        $T_s = round($T_s,2);
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>PARED</p>
        <p>Espesor (d) = $d m</p>
        <p>Temperatura superficial (T_s) = $T_s °C</p>
        <p>Temperatura superficial límite (T_s_lim) = $T_lim
°C</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>PARED</p>
        <p>Material no válido</p></div>";
    }
    if ($proc == true) {
        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Tubería

function
tuberia_Tlim_ASTM($conveccion,$orientacion,$T_i,$T_o,$V,$D_e,$L,$k,$epsil
on,$T_lim,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $g = 9.81; //Gravedad [m2/s]

    $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tubería

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evaluan 11
espesores

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

        $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

```

```

//Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
    $i = 0;
    $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
    $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

    while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

        $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

        //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
(aire) en función de la temperatura
        $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]
        $T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature
[°F]

        $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]

        $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del
aire [kg/m^3]

        $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del
aire [N·s/m^2]

        $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática
del aire [m^2/s]

        $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]

        $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]

        $h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
        $dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]

        $Pr =
calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
            $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
            $check33 = calc_check_33($Ra_L,$reg);
            if ($check33 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,$reg);
            } else {
                $Nu = calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,$reg);
            }
        }
    }

```

```

    }

    if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"horizontal"){
        $Ra_D =
calc_Ra_D($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$D_e,$reg);
        $check36 = calc_check_36($Ra_D,$reg);
        if ($check36 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_36($Ra_D,$Pr,$reg);
        } else {
            $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        }
    }

    if ($conveccion == "forzada") {
        $Re_D = calc_Re_D($V,$nu,$D_e,$reg);
        $check35 = calc_check_35($Re_D,$Pr,$reg);
        if ($check35 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_35($Re_D,$Pr,$reg);
        } else {
            $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        }
    }

    if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
        $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg);
//Coeficiente de convección - dimensión característica L
    } else {
        $h_c = calc_hc_D($Nu,$k_f,$D_e,$reg);
//Coeficiente de convección - dimensión característica D
    }
    $h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2.K]

    $R_m = calc_Rm_tuberia($D_e,$D_i,$k,$reg);
    $R_o = calc_Ro($h,$reg);
    $R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2.K/W]

    $q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de
calor [W/m2]

    $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
    $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
    $i++;
}

```

```

        if ($T_s < $T_lim) {
            break;
        }
    }

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de temperatura superficial
exterior</h1>";

    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ASTM
C-680</h2>";

    if ($T_s < $T_lim) {
        $d = round($d,2);
        $T_s = round($T_s,2);
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>

            <p style='font-weight:bold;'>TUBERÍA</p>
            <p>Espesor (d) = $d m</p>
            <p>Temperatura superficial (T_s) = $T_s °C</p>
            <p>Temperatura superficial límite (T_s_lim) = $T_lim
°C</p></div>";

        } else {
            echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>

                <p style='font-weight:bold;'>TUBERÍA</p>
                <p>Material no válido</p></div>";

            }

            if ($proc == true) {
                echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
            }
        }

        //Tanque esférico

        function
tanque_esf_Tlim_ASTM($conveccion,$T_i,$T_o,$V,$D_e,$k,$epsilon,$T_lim,$pr
oc) {

            $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

            $g = 9.81; //Gravedad [m2/s]

```

```

        $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tanque esférico

        //Bucle para probar con distintos espesores
        for ($d=0.1; $d<=0.6; $d+=0.05) { //Se evaluan 11
espesores de aislamiento

                $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d
m</div>";

                $D_e = $D_i + 2 * $d; //Para el aislamiento

                //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

                $i = 0;
                $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
                $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

                while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

                        $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

                                //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
(aire) en función de la temperatura
                                if ($conveccion == "natural") {
                                        $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature
[K]

                                        $T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature
[°F]

                                        $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica
del aire [W/m·K]

                                        $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido
del aire [kg/m^3]

                                        $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica
del aire [N·s/m^2]

                                        $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad
cinemática del aire [m^2/s]

                                        $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del
aire [J/kg·K]

                                        $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]
                                } elseif ($conveccion == "forzada") {
                                        $T_k = $T_o + 273.15; //[K]
                                        $T_f = $T_o * 9/5 + 32; //[°F]

```

```

        $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica
del aire [W/m·K]
        $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido
del aire [kg/m^3]
        $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica
del aire [N·s/m^2]
        $mu_s = calc_mu($T_s+273.15); //Viscosidad
dinámica del aire [N·s/m^2]
        $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad
cinemática del aire [m^2/s]
        $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del
aire [J/kg·K]
        $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]
    }

    $h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
    $dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]

    $Pr = calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

    if ($conveccion == "natural") {
        $Ra_D =
calc_Ra_D($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$D_e,$reg);
        $check38 = calc_check_38($Ra_D,$Pr,$reg);
        if ($check38 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_38($Ra_D,$Pr,$reg);
        } else {
            $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        }
    }

    if ($conveccion == "forzada") {
        $Re_D = calc_Re_D($V,$nu,$D_e,$reg);
        $check37 =
calc_check_37($Re_D,$Pr,$mu,$mu_s,$reg);
        if ($check37 == 1) {
            $Nu =
calc_Nu_37($Re_D,$Pr,$mu,$mu_s,$reg);
        } else {
            $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
        }
    }
}

```

```

        $h_c = calc_hc_D($Nu,$k_f,$D_e,$reg);
//Coeficiente de convección
        $h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

        $R_m = calc_Rm_tanqueesf($D_e,$D_i,$k,$reg);
        $R_o = calc_Ro($h,$reg);
        $R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2·K/W]

        $q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de
calor [W/m2]

        $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
        $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    if ($T_s < $T_lim) {
        break;
    }
}

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de temperatura superficial
exterior</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ASTM
C-680</h2>";
    if ($T_s < $T_lim) {
        $d = round($d,2);
        $T_s = round($T_s,2);
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
            <p style='font-weight:bold;'>TANQUE ESFÉRICO</p>
            <p>Espesor (d) = $d m</p>
            <p>Temperatura superficial (T_s) = $T_s °C</p>
            <p>Temperatura superficial límite (T_s_lim) = $T_lim
°C</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:350px;'>
            <p style='font-weight:bold;'>TANQUE ESFÉRICO</p>
            <p>Material no válido</p></div>";
    }
    if ($proc == true) {

```

```

        echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
    }
}

//Tanque cilíndrico

function
tanque_cil_Tlim_ASTM($conveccion,$orientacion,$T_i,$T_o,$V,$D_e,$L,$k,$sep
silon,$T_lim,$proc) {

    $reg = $reg . "<div style='text-decoration:underline grey
solid 3px; font-weight:bold;'>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO</div>";

    $g = 9.81; //Gravedad [m2/s]

    //CUERPO
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>CUERPO</div>";
    $D_i = $D_e; //Para el aislamiento: Di aislamiento=De
tubería

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d1=0.1; $d1<=0.6; $d1+=0.05) { //Se evaluan 11
espesores

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d1
m</div>";

        $D_e = $D_i + 2 * $d1; //Para el aislamiento

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor

        $i = 0;
        $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
        $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

        while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

            //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
(aire) en función de la temperatura
            $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]

```

```

$T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature
[°F]
$k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]
$rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del
aire [kg/m^3]
$mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del
aire [N·s/m^2]
$nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática
del aire [m^2/s]
$c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]
$beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]

$h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
$dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]

$Pr =
calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
    $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
    $check33 = calc_check_33($Ra_L,$reg);
    if ($check33 == 1) {
        $Nu = calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,$reg);
    } else {
        $Nu = calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,$reg);
    }
}

if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"horizontal"){
    $Ra_D =
calc_Ra_D($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$D_e,$reg);
    $check36 = calc_check_36($Ra_D,$reg);
    if ($check36 == 1) {
        $Nu = calc_Nu_36($Ra_D,$Pr,$reg);
    } else {
        $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
    }
}

```

```

        if ($conveccion == "forzada") {
            $Re_D = calc_Re_D($V,$nu,$D_e,$reg);
            $check35 = calc_check_35($Re_D,$Pr,$reg);
            if ($check35 == 1) {
                $Nu = calc_Nu_35($Re_D,$Pr,$reg);
            } else {
                $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
            }
        }

        if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
            $h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg);
//Coeficiente de convección - dimensión característica L
        } else {
            $h_c = calc_hc_D($Nu,$k_f,$D_e,$reg);
//Coeficiente de convección - dimensión característica D
        }
        $h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

        $R_m = calc_Rm_tuberia($D_e,$D_i,$k,$reg);
        $R_o = calc_Ro($h,$reg);
        $R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2·K/W]

        $q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de
calor [W/m2]

        $T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
        $T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
        $i++;
    }

    if ($T_s < $T_lim) {
        break;
    }
}

    echo "<h1 style='text-align:center;'>Cálculo del espesor
de aislamiento para un valor límite de temperatura superficial
exterior</h1>";
    echo "<h2 style='text-align:center;'>Según la norma ASTM
C-680</h2>";
    if ($T_s < $T_lim) {
        $d1 = round($d1,2);
        $T_s = round($T_s,2);
    }

```

```

        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CILÍNDRICO</p>
        <p>Espesor del cuerpo (d) = $d1 m</p>
        <p>Temperatura superficial del cuerpo (T_s_cuerpo) =
$T_s °C</p>
        <p>Temperatura superficial límite (T_s_lim) = $T_lim
°C</p></div>";
    } else {
        echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>
        <p style='font-weight:bold;'>TANQUE CILÍNDRICO</p>
        <p>Material no válido para el cuerpo</p></div>";
    }

    //TAPAS
    $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:40px; font-
weight:bold; background-color:lightblue;'>TAPAS</div>";

    //Bucle para probar con distintos espesores
    for ($d2=0.1; $d2<=0.6; $d2+=0.05) { //Se evalúan 11
espesores de aislamiento

        $reg = $reg . "<br><div style='padding:5px 40px;
border:ridge medium lightblue; width:250px;'>Cálculo para espesor d = $d2
m</div>";

        //Bucle para obtener la temperatura superficial y el
flujo de calor
        $i = 0;
        $T_s = ($T_i + $T_o) / 2; //Inicializo temperatura
        $T_sold = $T_s * 2; //Inicializo temperatura vieja

        while (abs($T_s - $T_sold) > 0.01 && $i < 1000) {

            $reg = $reg . "<br><div style='padding-left:20px;
font-weight:bold;'>ITERACIÓN Nº $i</div>";

            //Cálculo de las propiedades del fluido ambiente
(aire) en función de la temperatura
            $T_k = calc_Tk($T_o,$T_s); //Film temperature [K]
            $T_f = calc_Tf($T_o,$T_s); //Film temperature
[°F]

```

```

    $k_f = calc_kf($T_k); //Conductividad térmica del
aire [W/m·K]
    $rho = calc_rho($T_k); //Densidad del fluido del
aire [kg/m^3]
    $mu = calc_mu($T_k); //Viscosidad dinámica del
aire [N·s/m^2]
    $nu = calc_nu($rho,$mu); //Viscosidad cinemática
del aire [m^2/s]
    $c_p = calc_cp($T_f); //Calor específico del aire
[J/kg·K]
    $beta = calc_beta($T_k); //Coeficiente de
expansión térmica volumétrico del aire [1/K]

    $h_r = calc_hr_ASTM($T_s,$T_o,$epsilon,$reg);
//Coeficiente de radiación
    $dT = abs($T_s - $T_o); //[°C]
    $Pr = calc_Pr($nu,$rho,$c_p,$k_f,$reg);

    if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"vertical"){
        $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
        $check33 = calc_check_33($Ra_L,$reg);
        if ($check33 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_33($Ra_L,$Pr,$reg);
        } else {
            $Nu = calc_Nu_32($Ra_L,$Pr,$reg);
        }
    }

    if ($conveccion == "natural" && $orientacion ==
"horizontal") {
        $L = $L * $H / (2*$L + 2*$H); //En pared
horizontal la dimensión característica es el area dividida por el
perímetro
        $reg = $reg . "L = Área/Perímetro =
(L*H)/(2*L+2*H) = $L [m] <br>";
        $Ra_L =
calc_Ra_L($g,$beta,$rho,$c_p,$dT,$nu,$k_f,$L,$reg);
        $check3411 = calc_check_3411($Ra_L,$reg);
        $check3412 = calc_check_3412($Ra_L,$reg);
        $check342 = calc_check_342($Ra_L,$reg);
        if ($check3411 == 1) {
            $Nu = calc_Nu_3411($Ra_L,$reg); //Calor
fluyendo hacia arriba
        } elseif ($check3412 == 1) {

```

```

        $Nu = calc_Nu_3412($Ra_L,$reg); //Calor
fluyendo hacia arriba
    } elseif ($check342 == 1) {
        $Nu = calc_Nu_342($Ra_L,$reg); //Calor
fluyendo hacia abajo
    } else {
        $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
    }
}

if ($conveccion == "forzada") {
    $Re_L = calc_Re_L($V,$nu,$L,$reg);
    $check30 = calc_check_30($Re_L,$reg);
    $check31 = calc_check_31($Re_L,$reg);
    if (check30 == 1) {
        $Nu = calc_Nu_30($Re_L,$Pr,$reg);
//Laminar
    } elseif ($check31 == 1) {
        $Nu = calc_Nu_31($Re_L,$Pr,$reg);
//Turbulento
    } else {
        $reg = $reg . "Fuera de rango <br>";
    }
}

$h_c = calc_hc_L($Nu,$k_f,$L,$reg); //Coeficiente
de convección
$h = calc_h_ASTM($h_r,$h_c,$reg); //Coeficiente
superficial de transferencia de calor [W/m2·K]

$R_m = calc_Rm_pared($d2,$k,$reg);
$R_o = calc_Ro($h,$reg);
$R = $R_m + $R_o; //Resistencia total [m2·K/W]

$q = calc_q_ASTM($T_i,$T_o,$R,$reg); //Flujo de
calor [W/m2]
$T_sold = $T_s; //Actualizo temperatura anterior
$T_s = calc_T_s($T_o,$q,$R_o,$reg); //Cálculo
temperatura superficie exterior
    $i++;
}

if ($T_s < $T_lim) {
    break;
}
}

```

```

        if ($T_s < $T_lim) {
            $d2 = round($d2,2);
            $T_s = round($T_s,2);
            echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>
                <p>Espesor de las tapas (d) = $d2 m</p>
                <p>Temperatura superficial de las tapas (T_s_tapa) =
$T_s °C</p>
                <p>Temperatura superficial límite (T_s_lim) = $T_lim
°C</p></div>";
        } else {
            echo "<div style='margin-left:auto; margin-
right:auto; text-align:center; border-style:double; border-color:red;
width:450px;'>
                <p>Material no válido para las tapas</p></div>";
        }
        if ($proc == true) {
            echo "<div style='margin:15px; padding:30px; border-
style:inset; border-width:4px;'>$reg</div>";
        }
    }

?>

```

Formularios y recogida de datos

Con respecto a la interfaz gráfica, se han creado diversos formularios en los que el usuario debe introducir los datos y, otros tantos archivos que recogen estos datos y llaman a las funciones del apartado anterior para realizar los cálculos.

Se va a mostrar las líneas de código para el cálculo del flujo de calor y la temperatura superficial exterior con la norma ISO 12241. El resto tienen una programación prácticamente idéntica.

- Formulario

```

<!DOCTYPE html>
<html>

<head>

    <meta charset="UTF-8"/>

```

```

<title>Cálculo del flujo de calor y la temperatura superficial</title>

<script>

    function selectElemento(){

        var elemento = document.getElementById("elemento");
        var orientacion = document.getElementById("orientacion");
        var pared = document.getElementById("pared");
        var tuberia = document.getElementById("tuberia");

        var tanque_esferico =
document.getElementById("tanque_esferico");

        var conducto = document.getElementById("conducto");
        var tanque_cubico = document.getElementById("tanque_cubico");

        var tanque_cilindrico =
document.getElementById("tanque_cilindrico");

        if (elemento.value == "pared"){
            orientacion.style.display = "none";
            pared.style.display = "block";
            tuberia.style.display = "none";
            tanque_esferico.style.display = "none";
            conducto.style.display = "none";
            tanque_cubico.style.display = "none";
            tanque_cilindrico.style.display = "none";
        } else if (elemento.value == "tuberia"){
            orientacion.style.display = "block";
            pared.style.display = "none";
            tuberia.style.display = "block";
            tanque_esferico.style.display = "none";
            conducto.style.display = "none";
        }
    }

```

```
        tanque_cubico.style.display = "none";
        tanque_cilindrico.style.display = "none";
    } else if (elemento.value == "tanque_esferico"){
        orientacion.style.display = "none";
        pared.style.display = "none";
        tuberia.style.display = "none";
        tanque_esferico.style.display = "block";
        conducto.style.display = "none";
        tanque_cubico.style.display = "none";
        tanque_cilindrico.style.display = "none";
    } else if (elemento.value == "conducto"){
        orientacion.style.display = "none";
        pared.style.display = "none";
        tuberia.style.display = "none";
        tanque_esferico.style.display = "none";
        conducto.style.display = "block";
        tanque_cubico.style.display = "none";
        tanque_cilindrico.style.display = "none";
    } else if (elemento.value == "tanque_cubico"){
        orientacion.style.display = "none";
        pared.style.display = "none";
        tuberia.style.display = "none";
        tanque_esferico.style.display = "none";
        conducto.style.display = "none";
        tanque_cubico.style.display = "block";
        tanque_cilindrico.style.display = "none";
    } else if (elemento.value == "tanque_cilindrico"){
        orientacion.style.display = "block";
        pared.style.display = "none";
```

```

        tuberia.style.display = "none";
        tanque_esferico.style.display = "none";
        conducto.style.display = "none";
        tanque_cubico.style.display = "none";
        tanque_cilindrico.style.display = "block";
    }
}

</script>

<style>
    legend{
        font-weight: bold;
        font-size: 20px;
    }

    fieldset{
        margin-left: 15px;
        margin-right: 15px;
        padding-left: 20px;
        padding-right: 20px;
    }
</style>

</head>

<body>

<header>

```

```

    <h1 style="text-align:center;">Cálculo del flujo de calor y la
temperatura superficial</h1>

    <h2 style="text-align:center;">Según la norma ISO 12241</h2>
</header>

<form      action="calc_ISO_qT.php"      target="_self"      method="get"
autocomplete="off">

    <fieldset>

        <legend>Datos del elemento</legend>

        <br>Elemento de cálculo

        <select name="elemento" id="elemento" onchange="selectElemento()";>
            <option value="pared">Pared</option>
            <option value="tuberia" selected>Tubería</option>
            <option value="tanque_esferico">Tanque esférico</option>
            <option value="conducto">Conducto</option>
            <option value="tanque_cubico">Tanque cúbico</option>
            <option value="tanque_cilindrico">Tanque cilíndrico</option>
        </select><br>

        <div id="orientacion"><br>Orientación

            <input type="radio" name="orientacion" id="horizontal"
value="horizontal">

            <label for="horizontal">Horizontal</label>

            <input type="radio" name="orientacion" id="vertical"
value="vertical">

            <label for="vertical">Vertical</label></div><br>

        <table id="pared" style="display:none;">

```

```

        <tr><td>Altura (H)</td> <td><input type="text" name="H">
m</td></tr>

        <tr><td>Anchura (L)</td> <td><input type="text" name="L">
m</td></tr></table>

        <table id="tuberia">

            <tr><td>Diámetro exterior (D_e)</td> <td><input type="text"
name="De_tub"> m</td></tr>

            <tr><td>Longitud (l)</td> <td><input type="text" name="l_tub">
m</td></tr></table>

        <p id="tanque_esferico" style="display:none;">

        Diámetro exterior (D_e)</td> <td><input type="text" name="De_tesf">
m<br>

        </p>

        <table id="conducto" style="display:none;">

            <tr><td>Lado 1 (a)</td> <td><input type="text" name="a1">
m</td></tr>

            <tr><td>Lado 2 (b)</td> <td><input type="text" name="b1">
m</td></tr>

            <tr><td>Longitud (l)</td> <td><input type="text" name="l1">
m</td></tr></table>

        <table id="tanque_cubico" style="display:none;">

            <tr><td>Lado 1 (a)</td> <td><input type="text" name="a2">
m</td></tr>

            <tr><td>Lado 2 (b)</td> <td><input type="text" name="b2">
m</td></tr>

            <tr><td>Altura (l)</td> <td><input type="text" name="l2">
m</td></tr></table>

        <table id="tanque_cilindrico" style="display:none;">

```

```

        <tr><td>Diámetro exterior (D_e)</td> <td><input type="text"
name="De_tcil"> m</td></tr>

        <tr><td>Altura (l)</td> <td><input type="text" name="l_tcil">
m</td></tr></table>

    </fieldset>

    <br>

    <fieldset>

        <legend>Condiciones del ambiente y del fluido</legend>

        <br><div>Localización

            <input type="radio" name="localizacion" id="interior"
value="interior">

            <label for="interior">Interior</label>

            <input type="radio" name="localizacion" id="exterior"
value="exterior">

            <label for="exterior">Exterior</label></div><br>

        <table>

            <tr><td>Temperatura del fluido ( $\theta_i$ )</td> <td><input type="text"
name="T_fluido"> °C</td></tr>

            <tr><td>Temperatura ambiente ( $\theta_a$ )</td> <td><input type="text"
name="T_ambiente"> °C</td></tr>

            <tr><td>Velocidad del aire (v)</td> <td><input type="text"
name="v_aire"> m/s</td> <td style="color:red;">&nbsp; * Dato necesario solo
si se encuentra en el exterior</td></tr>

        </table>

    </fieldset>

    <br>

    <fieldset>

        <legend>Datos del aislamiento</legend>

```

```

        <table>
            <tr><td>Espesor (d)</td> <td><input type="text" name="espesor">
m</td></tr>
            <tr><td>Conductividad térmica ( $\lambda$ )</td> <td><input type="text"
name="conductividad"> W/m·K</td></tr>
            <tr><td>Coeficiente de emisividad del revestimiento ( $\epsilon$ )</td>
<td><input type="text" name="emisividad"></td></tr>
        </table>
    </fieldset>
    <br>
    <input type="checkbox" name="procedimiento" id="procedimiento"
style="margin-left:30px;">
    <label for="procedimiento">Sí quiero ver el procedimiento de
cálculo</label>
    <br><br>
    <input type="submit" name="submit" value="Enviar" style="margin-
left:30px;">
    <input type="reset" name="reset" value="Restablecer">

</form>
</body>
</html>

```

- Recogida de datos, ejecución de los cálculos y muestra de resultados

```
<?php

include("funciones.php");

//Almaceno en variables todos los datos introducidos en el formulario

$elemento = $_REQUEST["elemento"];

$orientacion = $_REQUEST["orientacion"];

$H = $_REQUEST["H"]; //Altura pared
$L = $_REQUEST["L"]; //Anchura pared
$De_tub = $_REQUEST["De_tub"]; //Diámetro exterior tubería
$l_tub = $_REQUEST["l_tub"]; //Longitud tubería
$De_tesf = $_REQUEST["De_tesf"]; //Diámetro exterior tanque esférico
$a1 = $_REQUEST["a1"]; //Lado conducto
$b1 = $_REQUEST["b1"]; //Lado conducto
$l1 = $_REQUEST["l1"]; //Longitud conducto
$a2 = $_REQUEST["a2"]; //Lado tanque cúbico
$b2 = $_REQUEST["b2"]; //Lado tanque cúbico
$l2 = $_REQUEST["l2"]; //Longitud tanque cúbico
$De_tcil = $_REQUEST["De_tcil"]; //Diámetro exterior tanque cilíndrico
$l_tcil = $_REQUEST["l_tcil"]; //Altura tanque cilíndrico

$localizacion = $_REQUEST["localizacion"];

$T_fluido = $_REQUEST["T_fluido"];

$T_ambiente = $_REQUEST["T_ambiente"];

$v = $_REQUEST["v_aire"];
```

```

$d = $_REQUEST["espesor"];

$lambda = $_REQUEST["conductividad"];

$epsilon = $_REQUEST["emisividad"];


$procedimiento = $_REQUEST["procedimiento"];


//Cálculo del flujo de calor y la temperatura superficial

if ($elemento == "pared") {

    pared_qT_ISO($localizacion,$T_fluido,$T_ambiente,$v,$H,$L,$d,$lambda,
$epsilon,$procedimiento);

}

if ($elemento == "tuberia") {

    tuberia_qT_ISO($localizacion,$orientacion,$T_fluido,$T_ambiente,$v,$D
e_tub,$l_tub,$d,$lambda,$epsilon,$procedimiento);

}

if ($elemento == "tanque_esferico") {

    tanque_esf_qT_ISO($localizacion,$T_fluido,$T_ambiente,$v,$De_tesf,$d,
$lambda,$epsilon,$procedimiento);

}

if ($elemento == "conducto") {

    conducto_qT_ISO($localizacion,$T_fluido,$T_ambiente,$v,$a1,$b1,$l1,$d
,$lambda,$epsilon,$procedimiento);

}

if ($elemento == "tanque_cubico") {

    tanque_cub_qT_ISO($localizacion,$T_fluido,$T_ambiente,$v,$a2,$b2,$l2,
$d,$lambda,$epsilon,$procedimiento);

```

```

}

if ($elemento == "tanque_cilindrico") {
    tanque_cil_qT_ISO($localizacion,$orientacion,$T_fluido,$T_ambiente,$v
,$De_tcil,$l_tcil,$d,$lambda,$epsilon,$procedimiento);
}

?>

```

Página principal

Por último, se ha programado la página principal a la que acceder a cada cálculo:

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <meta charset="UTF-8"/>
    <title>Cálculos aislamiento térmico</title>

    <style>

        h1 {
            text-align:center;
        }

        #ISO {
            margin:40px;
            padding:30px;
            border-style:solid;
            border-color:lightblue;
            padding:20px;
        }
    </style>

```

```

    #ASTM {
        margin:40px;
        padding:30px;
        border-style:solid;
        border-color:lightgreen;
        padding:20px;
    }

    .boton {
        padding:4px;
        color: #666666;
    }

    .boton:hover {
        border-bottom: 1px solid #cccccc;
        border-top: 2px solid #666666;
        border-right: 1px solid #cccccc;
        border-left: 2px solid #666666;
    }

</style>

</head>
<body>

<header>
    <h1>Cálculos sobre aislamiento térmico</h1>
</header>

```

```

<div id="ISO">Norma ISO 12241<br>
<ul>
  <li><a href="form_ISO_qT.php" class="boton">Cálculo del flujo de calor
y la temperatura superficial exterior</a></li><br>
  <li><a href="form_ISO_qlim.php" class="boton">Cálculo del espesor de
aislamiento para un valor límite de flujo de calor</a></li><br>
  <li><a href="form_ISO_Tlim.php" class="boton">Cálculo del espesor de
aislamiento para un valor límite de temperatura superficial
exterior</a></li><br>
  <li><a href="form_ISO_varT.php" class="boton">Cálculo de la variación
longitudinal de temperatura en una tubería o un conducto</a></li>
</ul></div>

<div id="ASTM">Norma ASTM C-680<br>
<ul>
  <li><a href="form_ASTM_qT.php" class="boton">Cálculo del flujo de calor
y la temperatura superficial exterior</a></li><br>
  <li><a href="form_ASTM_qlim.php" class="boton">Cálculo del espesor de
aislamiento para un valor límite de flujo de calor</a></li><br>
  <li><a href="form_ASTM_Tlim.php" class="boton">Cálculo del espesor de
aislamiento para un valor límite de temperatura superficial
exterior</a></li>
</ul></div>

</body>
</html>

```

ANEXO IV. Procedimiento de cálculo del flujo de calor y la temperatura superficial

En el apartado 7.1 se ha realizado una comparación de resultados entre CINICalc y el programa de cálculo desarrollado en el presente proyecto. A continuación, se muestra el procedimiento de cálculo que muestra por pantalla el software al ejecutar el cálculo con ambas normas:

Cálculo del flujo de calor y la temperatura superficial según la norma ISO 12241

ITERACIÓN N° 0

Fórmula 19: $a_r = (T_1^4 - T_2^4)/(T_1 - T_2) = 198683610.2235 \text{ [K}^3\text{]}$

Fórmula 21: $C_r = \varepsilon \cdot \sigma = 2.4948\text{E-}8 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K}^4\text{]}$

Fórmula 18: $h_r = a_r \cdot C_r = 4.9567587078559 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 25 verificación: $(D_e^3) \cdot (\Delta\theta) > 10 \text{ [m}^3\cdot\text{K]} \rightarrow \text{Flujo turbulento}$

Fórmula 25: $h_{cv} = 1,21 \cdot (\Delta\theta)^{(1/3)} = 6.2829178632398 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 17: $h = h_r + h_{cv} = 11.239676571096 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 7: $R_l = \ln(D_e/D_i)/(2 \cdot \pi \cdot \lambda) = 2.0640031297158 \text{ [m} \cdot \text{K/W]}$

Fórmula 33: $R_{le} = 1/(h \cdot \pi \cdot D_e) = 0.039116298066665 \text{ [m} \cdot \text{K/W]}$

Fórmula 6: $q_l = (\theta_{si} - \theta_{se})/R_T = 66.567784097557 \text{ [W/m]}$

Fórmula 48: $\theta_{se} = \theta_a + R_{le} \cdot (\theta_i - \theta_a)/R_T = 25.207770568795 \text{ [}^\circ\text{C]}$

ITERACIÓN N° 1

Fórmula 19: $a_r = (T_1^4 - T_2^4)/(T_1 - T_2) = 103486817.1546 \text{ [K}^3\text{]}$

Fórmula 21: $C_r = \varepsilon \cdot \sigma = 2.4948\text{E-}8 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K}^4\text{]}$

Fórmula 18: $h_r = a_r \cdot C_r = 2.581789114373 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 24 verificación: $(D_e^3) \cdot (\Delta\theta) \leq 10 \text{ [m}^3\cdot\text{K]} \rightarrow \text{Flujo laminar}$

Fórmula 24: $h_{cv} = 1,25 \cdot (\Delta\theta/D_e)^{(1/4)} = 2.0470965774157 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 17: $h = h_r + h_{cv} = 4.6288856917887 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 7: $R_l = \ln(D_e/D_i)/(2 \cdot \pi \cdot \lambda) = 2.0640031297158 \text{ [m} \cdot \text{K/W]}$

Fórmula 33: $R_{le} = 1/(h \cdot \pi \cdot D_e) = 0.094980642902416 \text{ [m} \cdot \text{K/W]}$

Fórmula 6: $q_l = (\theta_{si} - \theta_{se})/R_T = 127.27850617328 \text{ [W/m]}$

Fórmula 48: $\theta_{se} = \theta_a + R_{le} \cdot (\theta_i - \theta_a)/R_T = 32.318100927838 \text{ [}^\circ\text{C]}$

ITERACIÓN N° 2

Fórmula 19: $a_r = (T_1^4 - T_2^4)/(T_1 - T_2) = 107300907.7036 \text{ [K}^3\text{]}$

Fórmula 21: $C_r = \varepsilon \cdot \sigma = 2.4948\text{E-}8 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K}^4\text{]}$

Fórmula 18: $h_r = a_r \cdot C_r = 2.6769430453893 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 24 verificación: $(D_e^3) \cdot (\Delta\theta) \leq 10 \text{ [m}^3\cdot\text{K]} \rightarrow \text{Flujo laminar}$

Fórmula 24: $h_{cv} = 1,25 \cdot (\Delta\theta/D_e)^{(1/4)} = 2.5386995789959 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 17: $h = h_r + h_{cv} = 5.2156426243853 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 7: $R_l = \ln(D_e/D_i)/(2\pi\lambda) = 2.0640031297158 \text{ [m}\cdot\text{K/W]}$

Fórmula 33: $R_{le} = 1/(h\pi D_e) = 0.084295372706773 \text{ [m}\cdot\text{K/W]}$

Fórmula 6: $q_l = (\theta_{si} - \theta_{se})/R_T = 124.60181802962 \text{ [W/m]}$

Fórmula 48: $\theta_{se} = \theta_a + R_{le}(\theta_i - \theta_a)/R_T = 30.986696835324 \text{ [}^\circ\text{C]}$

ITERACIÓN N° 3

Fórmula 19: $a_r = (T_1^4 - T_2^4)/(T_1 - T_2) = 106577480.61022 \text{ [K}^3\text{]}$

Fórmula 21: $C_r = \varepsilon \cdot \sigma = 2.4948\text{E-}8 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K}^4\text{]}$

Fórmula 18: $h_r = a_r \cdot C_r = 2.6588949862637 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 24 verificación: $(D_e^3)(\Delta\theta) \leq 10 \text{ [m}^3\cdot\text{K}] \rightarrow \text{Flujo laminar}$

Fórmula 24: $h_{cv} = 1,25 \cdot (\Delta\theta/D_e)^{(1/4)} = 2.4671306952337 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 17: $h = h_r + h_{cv} = 5.1260256814974 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 7: $R_l = \ln(D_e/D_i)/(2\pi\lambda) = 2.0640031297158 \text{ [m}\cdot\text{K/W]}$

Fórmula 33: $R_{le} = 1/(h\pi D_e) = 0.085769086275716 \text{ [m}\cdot\text{K/W]}$

Fórmula 6: $q_l = (\theta_{si} - \theta_{se})/R_T = 125.13572422397 \text{ [W/m]}$

Fórmula 48: $\theta_{se} = \theta_a + R_{le}(\theta_i - \theta_a)/R_T = 31.171111050072 \text{ [}^\circ\text{C]}$

ITERACIÓN N° 4

Fórmula 19: $a_r = (T_1^4 - T_2^4)/(T_1 - T_2) = 106677427.95385 \text{ [K}^3\text{]}$

Fórmula 21: $C_r = \varepsilon \cdot \sigma = 2.4948\text{E-}8 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K}^4\text{]}$

Fórmula 18: $h_r = a_r \cdot C_r = 2.6613884725926 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 24 verificación: $(D_e^3)(\Delta\theta) \leq 10 \text{ [m}^3\cdot\text{K}] \rightarrow \text{Flujo laminar}$

Fórmula 24: $h_{cv} = 1,25 \cdot (\Delta\theta/D_e)^{(1/4)} = 2.4774189984889 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 17: $h = h_r + h_{cv} = 5.1388074710815 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 7: $R_l = \ln(D_e/D_i)/(2\pi\lambda) = 2.0640031297158 \text{ [m}\cdot\text{K/W]}$

Fórmula 33: $R_{le} = 1/(h\pi D_e) = 0.085555752263931 \text{ [m}\cdot\text{K/W]}$

Fórmula 6: $q_l = (\theta_{si} - \theta_{se})/R_T = 125.06235172415 \text{ [W/m]}$

Fórmula 48: $\theta_{se} = \theta_a + R_{le}(\theta_i - \theta_a)/R_T = 31.144430996855 \text{ [}^\circ\text{C]}$

ITERACIÓN N° 5

Fórmula 19: $a_r = (T_1^4 - T_2^4)/(T_1 - T_2) = 106662963.03677 \text{ [K}^3\text{]}$

Fórmula 21: $C_r = \varepsilon \cdot \sigma = 2.4948\text{E-}8 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K}^4\text{]}$

Fórmula 18: $h_r = a_r \cdot C_r = 2.6610276018413 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 24 verificación: $(D_e^3)(\Delta\theta) \leq 10 \text{ [m}^3\cdot\text{K}] \rightarrow \text{Flujo laminar}$

Fórmula 24: $h_{cv} = 1,25 \cdot (\Delta\theta/D_e)^{(1/4)} = 2.4759384619709 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 17: $h = h_r + h_{cv} = 5.1369660638122 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$

Fórmula 7: $R_l = \ln(D_e/D_i)/(2\pi\lambda) = 2.0640031297158 \text{ [m}\cdot\text{K/W]}$

Fórmula 33: $R_{le} = 1/(h\pi D_e) = 0.085586420752332 \text{ [m}\cdot\text{K/W]}$

Fórmula 6: $q_l = (\theta_{si} - \theta_{se})/R_T = 125.07297913901 \text{ [W/m]}$

Fórmula 48: $\theta_{se} = \theta_a + R_{le}(\theta_i - \theta_a)/R_T = 31.148266796065 \text{ [}^\circ\text{C]}$

Cálculo del flujo de calor y la temperatura superficial según la norma ASTM C-680

ITERACIÓN N° 0

Fórmula 23: $h_r = \sigma \cdot \epsilon \cdot (T_s^4 - T_o^4) / (T_s - T_o) = 4.9567587078559 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
 Fórmula 27: $Pr = \nu \cdot \rho \cdot c_p / k_f = 0.69435940855052$
 Fórmula 25: $Ra_D = (g \cdot \beta \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot (D_e^3)) / (\nu \cdot k_f) = 2076636044.8127$
 Fórmula 36 verificación: $Ra_D < 10^{12}$
 Fórmula 36: $Nu_{nD} = \{0,60 + [0,387 \cdot Ra_D^{(1/6)}] / [(1 + (0,559/Pr)^{(9/16)})^{(8/27)}]\}^2 = 145.33813110479$
 Fórmula 29: $h_c = Nu_D \cdot k_f / D_e = 6.2215834731908 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
 Fórmula 22: $h = h_r + h_c = 11.178342181047 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
 Fórmula 14: $R_m = (D_e/2) \cdot \ln((D_e/2)/(D_i/2)) / k = 4.6946021181743 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$
 Fórmula 10: $R_o = 1/h = 0.089458703607726 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$
 Fórmula 11: $q = (T_i - T_o)/R_T = 58.527683997066 \text{ [W/m}^2\text{]}$
 Fórmula 10: $T_s = T_o + q \cdot R_o = 25.23581073554 \text{ [}^\circ\text{C]}$

ITERACIÓN N° 1

Fórmula 23: $h_r = \sigma \cdot \epsilon \cdot (T_s^4 - T_o^4) / (T_s - T_o) = 2.5821584393621 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
 Fórmula 27: $Pr = \nu \cdot \rho \cdot c_p / k_f = 0.70873745970828$
 Fórmula 25: $Ra_D = (g \cdot \beta \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot (D_e^3)) / (\nu \cdot k_f) = 199805250.39382$
 Fórmula 36 verificación: $Ra_D < 10^{12}$
 Fórmula 36: $Nu_{nD} = \{0,60 + [0,387 \cdot Ra_D^{(1/6)}] / [(1 + (0,559/Pr)^{(9/16)})^{(8/27)}]\}^2 = 70.007009570161$
 Fórmula 29: $h_c = Nu_D \cdot k_f / D_e = 2.505130299827 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
 Fórmula 22: $h = h_r + h_c = 5.0872887391891 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
 Fórmula 14: $R_m = (D_e/2) \cdot \ln((D_e/2)/(D_i/2)) / k = 4.6946021181743 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$
 Fórmula 10: $R_o = 1/h = 0.19656835915301 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$
 Fórmula 11: $q = (T_i - T_o)/R_T = 57.246011215091 \text{ [W/m}^2\text{]}$
 Fórmula 10: $T_s = T_o + q \cdot R_o = 31.252754492605 \text{ [}^\circ\text{C]}$

ITERACIÓN N° 2

Fórmula 23: $h_r = \sigma \cdot \epsilon \cdot (T_s^4 - T_o^4) / (T_s - T_o) = 2.6624930367576 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
 Fórmula 27: $Pr = \nu \cdot \rho \cdot c_p / k_f = 0.70796053436519$
 Fórmula 25: $Ra_D = (g \cdot \beta \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot (D_e^3)) / (\nu \cdot k_f) = 409679367.77724$
 Fórmula 36 verificación: $Ra_D < 10^{12}$
 Fórmula 36: $Nu_{nD} = \{0,60 + [0,387 \cdot Ra_D^{(1/6)}] / [(1 + (0,559/Pr)^{(9/16)})^{(8/27)}]\}^2 = 87.491148777852$
 Fórmula 29: $h_c = Nu_D \cdot k_f / D_e = 3.1590900741608 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
 Fórmula 22: $h = h_r + h_c = 5.8215831109184 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
 Fórmula 14: $R_m = (D_e/2) \cdot \ln((D_e/2)/(D_i/2)) / k = 4.6946021181743 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$
 Fórmula 10: $R_o = 1/h = 0.17177458106275 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$
 Fórmula 11: $q = (T_i - T_o)/R_T = 57.537674805138 \text{ [W/m}^2\text{]}$
 Fórmula 10: $T_s = T_o + q \cdot R_o = 29.883509984977 \text{ [}^\circ\text{C]}$

ITERACIÓN N° 3

Fórmula 23: $h_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_s^4 - T_o^4) / (T_s - T_o) = 2.6440213566391 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
Fórmula 27: $Pr = \frac{\nu \cdot \rho \cdot c_p}{k_f} = 0.70813617346327$
Fórmula 25: $Ra_D = \frac{(g \cdot \beta \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot (D_e^3))}{(\nu \cdot k_f)} = 363686707.99591$
Fórmula 36: verificación: $Ra_D < 10^{12}$
Fórmula 36: $Nu_{nD} = \{0,60 + [0,387 \cdot Ra_D^{(1/6)}] / [(1 + (0,559/Pr)^{(9/16)})^{(8/27)}]\}^2 = 84.305718231459$
Fórmula 29: $h_c = Nu_D \cdot k_f / D_e = 3.0378718607602 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
Fórmula 22: $h = h_r + h_c = 5.6818932173994 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
Fórmula 14: $R_m = (D_e/2) \cdot \ln((D_e/2)/(D_i/2)) / k = 4.6946021181743 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$
Fórmula 10: $R_o = 1/h = 0.17599767572853 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$
Fórmula 11: $q = (T_i - T_o)/R_T = 57.487786278502 \text{ [W/m}^2\text{]}$
Fórmula 10: $T_s = T_o + q \cdot R_o = 30.117716767795 \text{ [}^\circ\text{C]}$

ITERACIÓN N° 4

Fórmula 23: $h_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_s^4 - T_o^4) / (T_s - T_o) = 2.6471729199517 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
Fórmula 27: $Pr = \frac{\nu \cdot \rho \cdot c_p}{k_f} = 0.70810608224796$
Fórmula 25: $Ra_D = \frac{(g \cdot \beta \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot (D_e^3))}{(\nu \cdot k_f)} = 371625745.64176$
Fórmula 36: verificación: $Ra_D < 10^{12}$
Fórmula 36: $Nu_{nD} = \{0,60 + [0,387 \cdot Ra_D^{(1/6)}] / [(1 + (0,559/Pr)^{(9/16)})^{(8/27)}]\}^2 = 84.874363743209$
Fórmula 29: $h_c = Nu_D \cdot k_f / D_e = 3.0594304070487 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
Fórmula 22: $h = h_r + h_c = 5.7066033270005 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
Fórmula 14: $R_m = (D_e/2) \cdot \ln((D_e/2)/(D_i/2)) / k = 4.6946021181743 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$
Fórmula 10: $R_o = 1/h = 0.17523558984178 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$
Fórmula 11: $q = (T_i - T_o)/R_T = 57.49678260101 \text{ [W/m}^2\text{]}$
Fórmula 10: $T_s = T_o + q \cdot R_o = 30.075482613093 \text{ [}^\circ\text{C]}$

ITERACIÓN N° 5

Fórmula 23: $h_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_s^4 - T_o^4) / (T_s - T_o) = 2.6466043600395 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
Fórmula 27: $Pr = \frac{\nu \cdot \rho \cdot c_p}{k_f} = 0.70811150707259$
Fórmula 25: $Ra_D = \frac{(g \cdot \beta \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot (D_e^3))}{(\nu \cdot k_f)} = 370196321.92482$
Fórmula 36: verificación: $Ra_D < 10^{12}$
Fórmula 36: $Nu_{nD} = \{0,60 + [0,387 \cdot Ra_D^{(1/6)}] / [(1 + (0,559/Pr)^{(9/16)})^{(8/27)}]\}^2 = 84.772592107559$
Fórmula 29: $h_c = Nu_D \cdot k_f / D_e = 3.0555695412167 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
Fórmula 22: $h = h_r + h_c = 5.7021739012562 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
Fórmula 14: $R_m = (D_e/2) \cdot \ln((D_e/2)/(D_i/2)) / k = 4.6946021181743 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$
Fórmula 10: $R_o = 1/h = 0.17537171214293 \text{ [m}^2\cdot\text{K/W]}$
Fórmula 11: $q = (T_i - T_o)/R_T = 57.49517548881 \text{ [W/m}^2\text{]}$
Fórmula 10: $T_s = T_o + q \cdot R_o = 30.083027365431 \text{ [}^\circ\text{C]}$
Fórmula 15: $q_l = 2 \cdot \pi \cdot (D_e/2) \cdot q = 130.78450216894 \text{ [W/m]}$

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente superficial de transferencia de calor por convección para distintos elementos y situaciones según la ISO 12241.	4
Tabla 2. Resistencias térmicas de cada elemento según la ISO 12241.	5
Tabla 3. Flujo de calor transferido y temperatura superficial exterior de cada elemento según la ISO 12241.	6
Tabla 4. Numero adimensional de Nusselt para distintos elementos y situaciones según la ASTM C-680.	7
Tabla 5. Resistencias térmicas de cada elemento según la ASTM C-680.....	10
Tabla 6. Nomenclatura usada por las normas ISO 12241 y ASTM C-680.	13
Tabla 7. Productos utilizados como aislantes en la industria y sus propiedades.....	18
Tabla 8. Conductividades térmicas de cada material en función de la temperatura.....	29