

**-. BLOQUE VI.-
MEMORIA DE CÁLCULO**

VI.I.-RESISTENCIA CALEFACTORA

Tabla 1: Propiedades de alambre de Kanthal A-1 de 1mm de diámetro

Propiedades	
Densidad	7,10 kg/ cm ³
Resistividad (20°C)	1,45 Ω mm ² /m
Expansión lineal con la temperatura máx.	15 x 10 ⁻⁶ /K
Conductividad térmica	11 W/mK
Calor específico	0,46 kJ/kgK
Punto de fusión	1500 °C

COEF. CAMBIO RESISTIVIDAD

El coeficiente de cambio de resistividad con la temperatura se ha tenido en cuenta sólo el de 1400 °C para hacer una estimación de máximo y mínimo.

Con lo que $C_t = 1,05$.

Esto significa que el valor de resistencia obtenido a 20°C habrá de multiplicarse por este factor para obtener el valor de resistencia a 1400°C

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Altura de calefacción útil,	$h = 38 \text{ mm}$
Paso de helicoide,	$P = 1 \text{ mm}$
Diámetro calefacción,	$d = 75,78 \text{ mm}$
Número de vueltas,	$n = h/P = 38 \text{ vueltas}$
Longitud por vuelta	$d = 238,06 \text{ mm}$
Longitud útil	$L_u = 238,06 \times 38 = 9,0463 \text{ mm} = 8,80822 \text{ m}$
Longitud de “patillas”	$L_p = 0,266 \text{ m}$
Longitud de cálculo	$L = 9,3123 \text{ m}$

Area de la sección transversal,	$q=0,785 \text{ mm}^2$
Resistividad (20°C),	$\Omega=1,45 \text{ } \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$
Resistencia (20°C)	$R_{20}=\rho \times L/q= 17,2 \Omega$
Resistencia (1400°C)	$R_{1400}=R_{20} \times C_t \text{ } 16,76 \times 1,05=18,06 \text{ } \Omega$

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Manteniendo una tensión constante de 230 VAC, monofásico.

$$I_{20} = U/R_{20} = 13,76 \text{ A}$$

$$I_{1400} = U/R_{1400} = 12,73 \text{ A}$$

$$P_{20} = (I_{20})^2 \times R_{20} = 3075 \text{ W}$$

$$P_{1400} = (I_{1400})^2 \times R_{1400} = 2929 \text{ W}$$

VI.II.-DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN (SEGÚN A.S.M.E.)

Al tratarse de vacío debemos utilizar la presión de trabajo como un recipiente sometido a presión externa.

El procedimiento es el siguiente extraído de A.S.M.E. Sección VIII División 1.

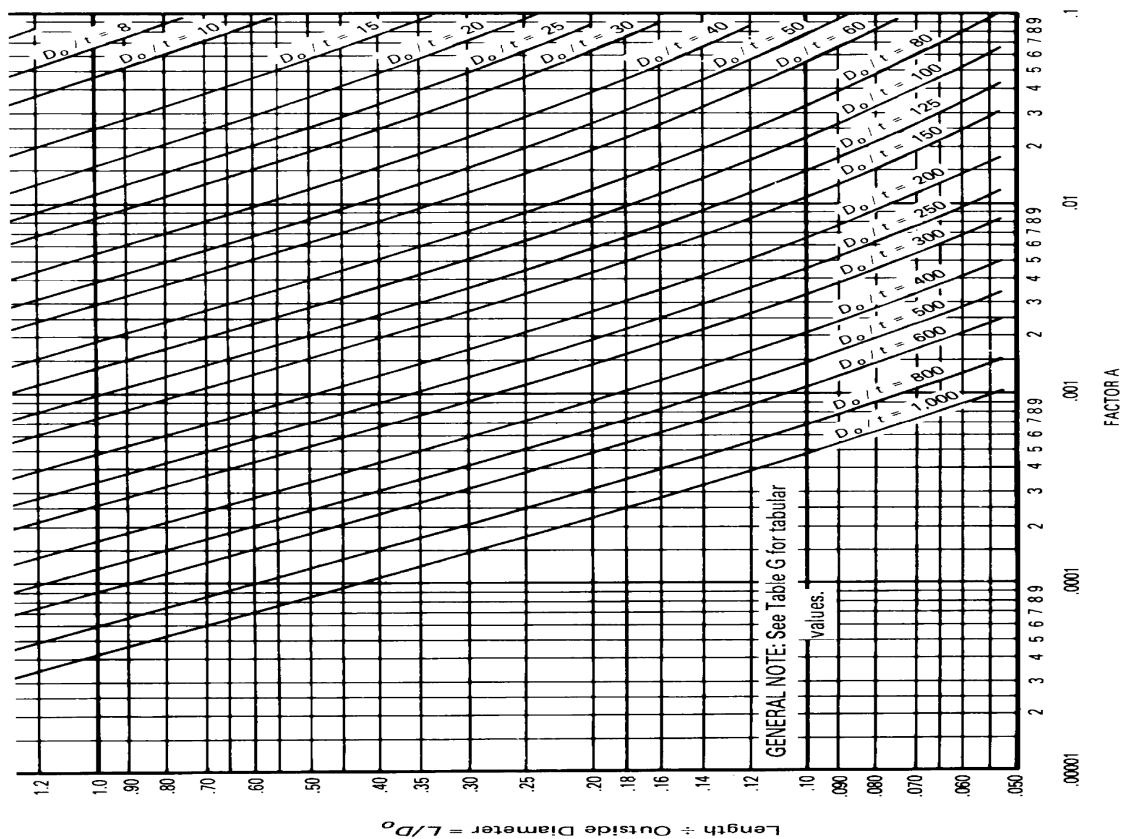


Figura 1: Gráfica para determinación de factor "A"

DETERMINACIÓN DEL ESPESOR

Paso 1. Asumir un valor para t y determinar las proporciones

Se ha utilizado como espesor estimado de cálculo

$$t=2,8 \text{ mm}=0,110236 \text{ “}$$

$$L / D_o = 0.91$$

$$D_o/t = 85,71 > 10$$

Paso 2. Introduzca la fig. G en la subparte 3 de la Sección II , Parte D en el valor de L / D_o determinado en el paso 1 . Para los valores de L / D_o mayor de 50 , introduzca el gráfico en un valor de L / D_o p 50 . Para valores de L / D_o menor de 0,05 , introduzca el gráfico en un valor de L / D_o p 0.05 .

Paso 3. Ir horizontalmente hacia la línea para el valor de D_o / t determinado en el paso 1.

Desde este punto de intersección moverse verticalmente hacia abajo para determinar el valor de factor de A.

Paso 4. Usando el valor de A calculado en el paso 3 , introduzca el gráfico de los materiales aplicables en la subparte 3 de la Sección II, Parte D

En los casos en que el valor de A cae a la derecha de la final de la línea de material / temperatura , suponga una intersección.

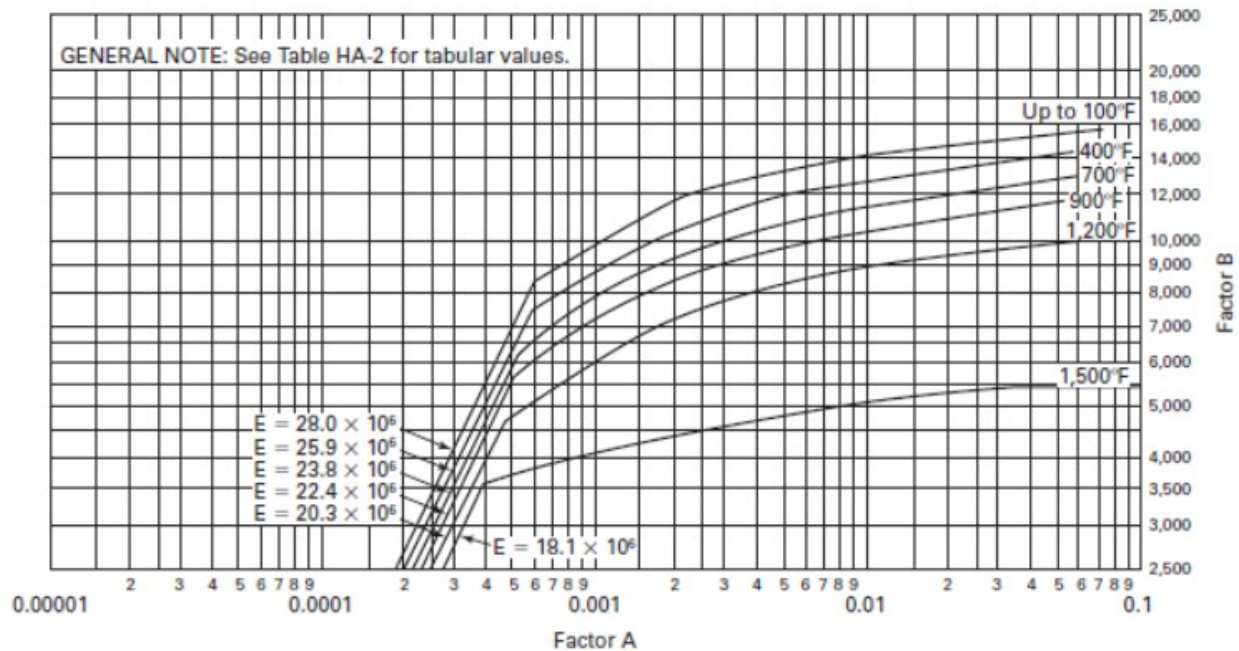


Figura 2: Tabla para la determinación del factor B para el espesor de la chapa de componentes bajo presión externa, para aceros inoxidables austeníticos del tipo 316, 321, 347, 309, 310 y el tipo 430B

Paso 5. Desde la intersección obtenida en el paso 4, se mueven horizontalmente hacia la derecha y leer el valor del factor B.

A 700°F implica unos 10000psi

Paso 6. El uso de este valor de B, calcular el valor de la máximo permisible de presión de trabajo externo P_a utilizando la siguiente fórmula:

$$P_a = 1,333 \times B / (D_0/t) = 155,51 \text{ psi}$$

Paso 8. Compare el valor calculado de P_a obtenido en el paso 7 con P (presión de trabajo). Si P_a es menor que P , seleccione una mayor valor de t y repita el procedimiento de diseño hasta un valor de P_a se obtiene que es igual o mayor que P .

$$P_a = 155,51 \text{ psi} = 1,0722 \text{ Mpa}; \quad P = 1,4504 \times 10^{-5} \text{ psi} \ll 1 \text{ Pa}; \quad P \ll P_a \text{ Es admisible.}$$

VI.III.-CÁLCULOS TÉRMICOS

Cálculos de aproximación teórica a las temperaturas estimadas en las distintas secciones de la máquina.

Cómo hipótesis inicial se ha partido del calor radiado por la resistencia de calefacción, obteniendo el calor radiante, la emisividad es igual a la absorptividad.

DATOS DE PARTIDA

$$\varepsilon_0=0,7 \text{ (emisividad foco rdte.)} \quad \varepsilon_{01}=0,25 \text{ (emisividad lam. Reflect. Cara int.)}$$

$$\varepsilon_1=0,3 \text{ (emisividad aislamiento)} \quad \varepsilon_{02}=0,15 \text{ (emisividad lam. Reflect. Cara ext.)}$$

$$T_0=1673 \text{ }^\circ\text{K (temperatura del foco radiante)}$$

$$k=0,2 \text{ W/mK (conductividad térmica media del aislamiento)}$$

$$A_0=0,01005 \text{ m}^2 \text{ (Superficie radiante)}$$

$$e=0,0375 \text{ m (espesor)}$$

$$A_1=0,07782 \text{ m}^2 \text{ (Superficie int. aislamiento)}$$

$$r_0=0,04 \text{ m (radio foco rdte.)}$$

$$A_2=0,1616 \text{ m}^2 \text{ (Superficie ext. aislamiento)}$$

$$r_1=0,0797 \text{ m (radio int. aislamiento)}$$

$$A_{01}=0,08434 \text{ m}^2 \text{ (Superficie lámina reflect.)}$$

$$r_2=0,1172 \text{ m (radio ext. aislamiento)}$$

$$r_{01}=0,0747 \text{ m (radio lámina reflectante)}$$

ECUACIONES USADAS

Para el cálculo de la temperatura en el exterior de aislamiento se han planteado los siguientes antecedentes.

- Sólo existe radiación, emitida por la resistencia, a alta temperatura, en vacío. Se ha tenido en cuenta la radiación absorbida como el balance de la radiación tanto emitida y reflejada mediante el uso de relaciones intercambio radiante entre superficies cilíndricas concéntricas.
- Sólo existe conducción a través de las caras del aislamiento térmico, que será consecuencia del calor absorbido de la radiación.
- No se ha tenido en cuenta la conducción térmica existente a través de los metales, siendo ésta despreciable.
- No se ha tenido en cuenta la convección del exterior con la cara externa recipiente.

Así pues se procede al cálculo de la forma que sigue:

1.-Radiación emitida por la resistencia de calefacción

$$Q_{\text{rad}} = \epsilon_0 \cdot A_0 \cdot \sigma \cdot T_0^4$$

2.- Radiación absorbida por el aislamiento térmico

$$Q_{\text{abs}} = \epsilon_1 \cdot A_1 \cdot \sigma \cdot T_1^4$$

3.- Radiación neta

$$Q_{\text{net}} = \left[\frac{A_0 \cdot 5.66961 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{-K}^4\text{]}}{\frac{1}{\epsilon_0} + \frac{r_0}{r_1} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right)} \right] \cdot (T_0^4 - T_1^4)$$

4.- Planteando el balance de la forma:

$$Q_{\text{abs}} = Q_{\text{rad}} - Q_{\text{net}}$$

Se obtiene T_1 , temperatura de la cara interna del aislamiento.

5.-Para obtener T_2 se ha planteado el balance de la siguiente forma:

$$Q_{\text{abs}} = Q_{\text{cd1}}$$

$$Q_{\text{cdnet}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{k_{\text{aisl}}}{e} \cdot \left[A_1 \cdot \frac{T_1}{\ln(r_1)} - A_2 \cdot \frac{T_2}{\ln(r_2)} \right]$$

$$Q_{\text{cd2}} = \epsilon_2 \cdot A_2 \cdot \sigma \cdot T_2^4$$

Con lo que:

$$Q_{\text{cd2}} = Q_{\text{cd1}} - Q_{\text{cdnet}}$$

Tabla de temperaturas: T_0 temperatura de resistencia, T_1 temperatura cara interna aislamiento y T_2 temperatura cara externa aislamiento.

T_0 (°K)	T_1 (°K)	T_2 (°K)
1006	612,2	356,5
1229	747,4	482,8
1451	882,6	621,8
1673	1018	762,7

A la vista de los datos obtenidos a la temperatura de trabajo máxima tendríamos en la parte externa del aislamiento (T_2) 762,7 °K unos 489,55 ° C, una temperatura excesiva para las condiciones de uso de laboratorio.

Para disminuir la temperatura T_2 se ha optado por colocar entre el foco radiante y el aislamiento una lámina de alta emisividad de acero inoxidable 310S, acabado BA (brillante espejo) por la cara interna, que está sometida a radiación directa de la resistencia. Por la otra cara la más cercana al aislamiento se procurará de baja emisividad.

Con el mismo razonamiento anterior se procede:

1.- Radiación emitida por la resistencia de calefacción:

$$Q_{\text{rad}} = \epsilon_0 \cdot A_0 \cdot \sigma \cdot T_0^4$$

2.- Radiación absorbida por la lámina reflectante:

$$Q'_{\text{abs}} = \epsilon_{01} \cdot A_{01} \cdot \sigma \cdot T_{01}^4$$

3.- Radiación neta

$$Q'_{\text{net}} = \left[\frac{A_0 \cdot 5.66961 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{-K}^4]}{\frac{1}{\epsilon_0} + \frac{r_0}{r_{01}} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_{01}} - 1 \right)} \right] \cdot (T_0^4 - T_{01}^4)$$

4.-Balance:

$$Q'_{\text{abs}} = Q_{\text{rad}} - Q'_{\text{net}}$$

De aquí saldrá la temperatura del reflectante, T_{01} .

5.- De nuevo, se calcula la radiación emitida por la lámina reflectante de modo que:

$$Q'_{\text{rad}} = \epsilon_{02} \cdot A_{01} \cdot \sigma \cdot T_{01}^4$$

6.- La nueva radiación neta será:

$$Q''_{\text{net}} = \left[\frac{A_{01} \cdot 5.66961 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{-K}^4\text{]}}{\frac{1}{E_{01}} + \frac{r_{01}}{r_1} \cdot \left(\frac{1}{E_1} - 1 \right)} \right] \cdot (T_{01}^4 - T'_{11}{}^4)$$

7.- Haciendo el balance:

$$Q''_{\text{abs}} = Q'_{\text{rad}} - Q''_{\text{net}}$$

Nuevamente se obtiene la temperatura en la cara interna del aislamiento T'_{11} , ahora disminuída respecto al primer cálculo.

8.- Planteando el balance en conducción:

$$Q''_{\text{abs}} = Q'_{\text{cd1}}$$

$$Q'_{\text{cdnet}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{k_{\text{aisl}}}{e} \cdot \left[A_1 \cdot \frac{T'_{11}}{\ln(r_1)} - A_2 \cdot \frac{T'_2}{\ln(r_2)} \right]$$

$$Q'_{\text{cd2}} = Q''_{\text{abs}} - Q'_{\text{cdnet}}$$

Tabla de temperaturas: T_0 temperatura de resistencia, T'_{11} temperatura de concentrador de calor, T'_{11} temperatura cara interna aislamiento y T'_2 temperatura cara externa aislamiento.

T_0 (°K)	T_{01} (°K)	T'_{11} (°K)	T'_2 (°K)
1006	680,8	442,7	213,7
1229	831,2	540,5	265,4
1451	981,5	638,3	320,2
1673	1132	736	378,7

Las temperaturas inferiores a 273 °K son debidas a la no consideración de la atmósfera exterior, se supondrá en estos casos que la parte más externa de la cámara estará como mínimo a temperatura ambiente, aproximadamente 293 °K.

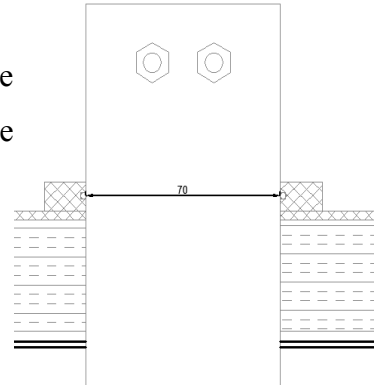
Para la temperatura máxima de operación se ha conseguido una temperatura de **378,7 °K** equivalentes a **105,55 °C**, una temperatura máxima de trabajo aceptable.

VI.IV.-AJUSTES

AJUSTE 1

Se ha usado el sistema ISO de eje base, con ajuste intermedio, de manera que no se produzcan filtraciones de oxígeno.

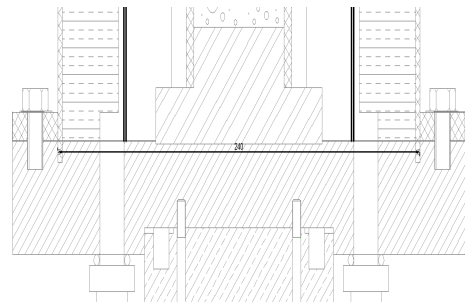
Se ha optado por un ajuste **ISO 70 h6J7**



AJUSTE 2

Para el ajuste entre la cámara exterior y la base principal se ha usado el criterio de agujero base, con apriete intermedio.

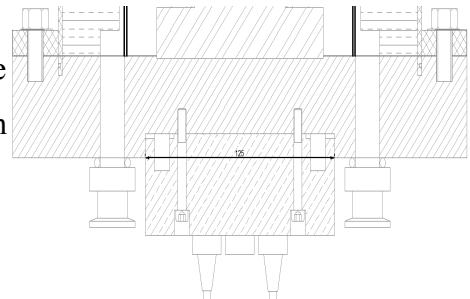
Se ha asignado un ajuste **ISO 240 H7k6**



AJUSTE 3

El ajuste entre la base refrigerada y la base principal se ha tomado como eje base, también con apriete intermedio.

Se ha optado por un ajuste **ISO 125 h6J7**



VI.V.-TIEMPOS DE OPERACIONES MECANIZADO Y SOLDADURA

TALADRADO

Tabla de valores usados en el cálculo (datos extraídos de “P. Coca Rebollero, J. Rosique. Tecnología Mecánica y Metrotecnica. Ed. Pirámide”)

$$t = \frac{\pi \cdot d_a \cdot (e + 0,3 \cdot d_b)}{a \cdot 1000 \cdot V_c}$$

e= longitud taladro

d_a= diametro taladro

d_b= diametro broca

Dureza Ac. Inoxidable 316	149 HRV			
Resistencia del Ac. Inoxidable 316	530-730 Mpa			
Diámetros de broca	5	8	10	15
Velocidad de corte	25	24	27	28
Avance	0,02	0,02	0,02	0,02

1 N/mm²= 10⁵ Pa

FRESADO

$$t = m \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v \cdot a}$$

m=número de pasadas

D=Diámetro fresa

L= Longitud

v= velocidad de corte

a = avance

Tabla: velocidades de corte y avances para operaciones de fresado

TIPO DE FRESA	ANCHO FRESA	PROF. DE CORTE (mm)		
Cilíndrica	Hasta 100	5	V_c	12
			a	120
		0,5	V_c	18
			a	60
Cilíndrica frontal	Hasta 70	5	V_c	12
			a	140
		0,5	V_c	18
			a	70

CÁMARA EXTERIOR

PROCESO	TIEMPO (min.)
RANURADO INFERIOR	$t=0,06043$
TIEMPO HUMANO	10
TIEMPO TOTAL	10,06(min.)

ANILLO SUPERIOR

PROCESO	TIEMPO (min.)
RANURADO INTERIOR	$t=0,003021$
SOLDADURA	25
TIEMPO HUMANO	5
TIEMPO TOTAL	30,443(min.)

ANILLO DE SOLAPE

PROCESO	TIEMPO (min.)
TALADRADO X 4 (D=10mm)	t=0,30308
SOLDADURA	90
TIEMPO HUMANO	10
TIEMPO TOTAL	100,3(min.)

BASE PRINCIPAL

PROCESO	TIEMPO (min.)
CAJEADO CIRCULAR X2 (D=55 mm)	t=0,554
RANURADO CIRCULAR	t=0,006043
TALADRADO L30 D=7,0 mm X 3	t=4,712
TALADRADO L30 D=14 mm X 2	t=6,212
ROSCADO 1/4" X 3	t= 2,5935
ROSCADO DIN 16 X 4	t= 3,488
ROSCADO DIN 5 X 4	t=8,416
TALADRADO 10 mm (D=4mm) X 4	
TALADRADO 40 mm (D=14mm)X 2	t=5,629
TALADRADO 78 mm (D=5,0mm) X 2	t=5,203
TALADRADO 10 mm (D=6,35mm) X 2	t=1,9808
ROSCADO 1/4" X 2	t=1,729
TIEMPO HUMANO	15
TIEMPO TOTAL	75,14(min.)

BASE REFRIGERADA

PROCESO	TIEMPO(min.)
RANURADO CIRCULAR (A=9,8mm)	t=0,2606
TALADRADO 40mm (D=5mm)	t=2,716
AVELLANADO 10mm (D=5mm)	t=0,7527
TIEMPO HUMANO	10
TIEMPO TOTAL	13,73(min.)

PUNZÓN REFRIGERADO

PROCESO	TIEMPO(min.)
TALADRADO 70mm (D=6,35mm) X3	t=5,968
TALADRADO 30 mm (D=6,35mm) X 2	t=2,643
TALADRADO 100mm (D=6,35mm) X 2	t=8,462
TALADRADO 18,28 mm (D=5,5mm) X2	t=1,661
ROSCADO 1/4" 10mm X 2	t=0,8645
TIEMPO HUMANO	10
TIEMPO TOTAL	29,6(min.)

TIEMPOS ASOCIADOS TOTALES

TIEMPOS	CAM. EXTERIOR	A.SUPERIOR	A.SOLAPE	BASE PAL.	BASE REFRIG.	PUNZÓN
TIEMPO TALADRO	-	-	0,3	59,58	0,26	18,74
TIEMPO FRESADO	0,06	0,03	-	0,56	3,47	0,86
TIEMPO HUMANO	10	5	10	15	10	10
TIEMPO SOLDAD.	-	25	90	-	-	-

VI.VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- “A.S.M.E. Sección VIII División 1. International vessel & boiler code. N.Y. (2007)”
- “D. Q. Kern. Mecanismos de Transferencia de calor. Ed. Cecs. México D.F. (1999). ISBN: 968-26-1040-0.”
- “P. Coca Rebollero, J. Rosique Jiménez. Tecnología Mecánica y Metrotecnica. Ed Pirámide. Madrid (1985)”.

