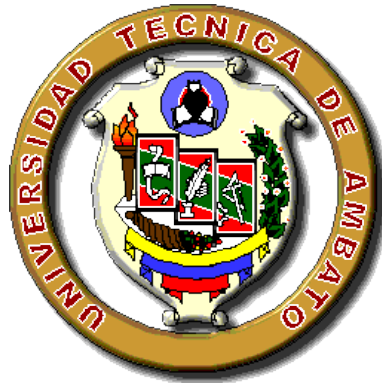


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



**“ESTUDIO DE EMBALAJE DE PRODUCTOS CON
PELÍCULA TERMOENCOGIBLE PVC EN LA EMPRESA
LEITO PARA REDUCIR TIEMPO DE PRODUCCIÓN.”**

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

DORIAN GERMÁNICO ÁLVAREZ CRUZ

TUTOR:

ING. LUIS ESCOBAR

AMBATO – ECUADOR

CERTIFICACIÓN

Yo Ing. Luis Escobar en mi calidad de tutor de la pasantía para el proyecto de grado **“ESTUDIO DE EMBALAJE DE PRODUCTOS CON PELÍCULA TERMOENCOGIBLE PVC EN LA EMPRESA LEITO PARA REDUCIR TIEMPO DE PRODUCCIÓN.”**, Trabajo elaborado por el Sr. Dorian Germánico Álvarez Cruz certifico que:

- Ha sido revisado en cada uno de sus capítulos.
- Está concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ing. Luis Escobar.....

AUTORÍA

Los criterios emitidos en el trabajo de investigación: **“ESTUDIO DE EMBALAJE DE PRODUCTOS CON PELÍCULA TERMOENCOGIBLE PVC EN LA EMPRESA LEITO PARA REDUCIR TIEMPO DE PRODUCCIÓN.”**, como también los contenidos, ideas, conclusiones y propuesta son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor de este trabajo de grado.

Sr. Dorian Germánico Álvarez Cruz.

CI: 050268455-8

APROBACIÓN DEL JURADO EXAMINADOR

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“ESTUDIO DE EMBALAJE DE PRODUCTOS CON PELÍCULA TERMOENCOGIBLE PVC EN LA EMPRESA LEITO PARA REDUCIR TIEMPO DE PRODUCCIÓN.”**, Trabajo elaborado por el Sr. Dorian Germánico Álvarez Cruz, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

Para constancia firman

DEDICATORIA

El esfuerzo y constancia plasmada en este proyecto de investigación quiero dedicárselos a:

- Dios por ser mi guía, luz e inspiración y porque gracias a él he tenido la fortaleza espiritual para encaminarme en los pasos de la vida.
- A mi esposa e hijo.
- A mis padres.
- A mis hermanos.
- A mis suegros.
- A mis profesores y amigos de quienes siempre recibí lo mejor.

AGRADECIMIENTO

- La gratitud mas inmensa a mi creador quien es mi guía eterna desde el momento en que inicie mi vida escolar pues fue y es quien me da la fuerza para continuar día a día, para ser mejor persona y un buen profesional.
- A la Universidad Técnica de Ambato, **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**, por haber sido mi alma mater y brindarme las facilidades para que hoy pueda concluir este trabajo.
- A la fábrica de productos lácteos “LEITO”, en la persona del **ING. GERMÁN POZO gerente propietario** y a sus colaboradores, quienes me abrieron las puertas con el apoyo incondicional para la elaboración de mi proyecto de investigación.
- A todos mis Catedráticos de aulas y de manera especial al **ING. LUIS ESCOBAR** por ser mi maestro tutor y principalmente mentor en la elaboración de esta tesis, quien me ha guiado con profesionalismo y no solo se ha distinguido como mi maestro, sino también es y será un referente de honestidad, ética y transparencia, como persona, A usted gracias por tener un gran sentido de sensibilidad en los momentos más duros y difíciles de mi vida en los que tuve que atravesar.
- A la empresa MECATEC en la persona del **Sr. ANTONIO GALLARDO** quien con su experiencia en la rama, su espíritu de generosidad y paciencia me permitió realizar la mayor parte de mis prácticas pre-profesionales, y fue quien me colaboró con sus equipos y herramientas en la ejecución de proyectos en el transcurso de mi carrera universitaria.

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A.- PÁGINAS PRELIMINARES:

Página de título o portada.....	i
Página de aprobación por el tutor	ii
Página de autoría de la tesis	iii
Página de aprobación del tribunal de grado	iv
Página de dedicatoria	v
Página de agradecimiento	vi
Índice general de contenidos	vii
Índice de tablas, figuras y gráficos	xiv
Nomenclatura.....	xvii
Resumen ejecutivo	xxi

B.- TEXTO:

Pág.

CAPÍTULO I EL PROBLEMA

1.1.- Tema	1
1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.2.2.- ANÁLISIS CRÍTICO DEL PROBLEMA	2
1.2.3.-PROGNOSIS	3
1.2.4- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	3

1.2.5.- INTERROGANTES.....	3
1.2.6.- DELIMITACIÓN.....	4
1.2.6.1.- DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	4
1.2.6.2.- DELIMITACIÓN ESPACIAL.-	4
1.3.- JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4.- OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS	5
1.4.1.- OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	6
2.2.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.2.1.- EL PROCESO DE EMBALAJE.....	7
Proceso mediante funda termoencogible.....	8
Proceso mediante película termoencogible.....	8
2.2.2.- DESCRIPCIÓN DE LA TEORÍA DE TERMO CONTRACCIÓN... ..	10
2.2.3.- DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL DE TERMO CONTRACCIÓN.....	12
Transferencia de calor.....	13
2.2.4.- TIPO DE MATERIALES.....	15
Polímeros.....	15
Polietileno tereftalato (PET).....	16
2.2.4.1 TERMOPLÁSTICOS.....	18
2.2.4.1.1.- P.V.C. (POLI CLORURO DE VINILO).....	19
Un Buen Embalaje es un buen preservativo.....	22

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PVC.....	23
2.2.4.1.2.- EL POLIETILENO (PE)	24
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL POLIETILENO.....	25
2.3.- HIPÓTESIS.....	26
2.4.-VARIABLES DE ESTUDIO	26
2.4.1.-VARIABLES INDEPENDIENTES	26
2.4.2.- VARIABLE DEPENDIENTE	26

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1.- ENFOQUE INVESTIGATIVO.....	27
3.2.- NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	27
3.3.- POBLACIÓN Y MUESTRA.	27
3.4.- OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	28
3.4.1.- VARIABLE INDEPENDIENTE	28
3.4.2.- VARIABLE DEPENDIENTE:.....	28
3.5.- PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	29
3.6.- PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	30

CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	31
4.1.1.-Dimensiones del paquete.	31
4.1.2.- Características y selección del material de operación.	33

4.1.3.- DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE PROCESO DE EMBALAJE SEMIAUTOMÁTICO.	34
4.1.4.- DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE PROCESO DE EMBALAJE MANUAL.....	34
4.2.- INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	35
4.2.1.- DIMENSIONES SIGNIFICATIVAS	35
4.2.2.-CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL SELECCIONADO DE OPERACIÓN.	36
4.2.3.- COMPARACIÓN DE LOS TIEMPOS DE EMBALAJE	36
4.3.-VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	37

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- CONCLUSIONES.-.....	38
5.2.- RECOMENDACIONES.-.....	39

CAPÍTULO VI
PROPUESTA

6.1.- DATOS INFORMATIVOS	40
6.2.- ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	41
6.3.- JUSTIFICACIÓN DE SOLUCIÓN	41
6.4.- OBJETIVOS.....	42
6.4.1.- GENERAL.....	42
6.4.2.- ESPECÍFICOS.....	42
6.5.- ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	43

6.6.- FUNDAMENTACIÓN	43
6.6.1.- TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA INGENIERÍA	43
6.6.1.1.- MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	45
6.6.1.1.1.- CONDUCCIÓN	46
El concepto de resistencia térmica.....	49
6.6.1.1.2.- CONVECCIÓN	52
Número de Nusselt.	56
Número de Prandtl	57
Flujo laminar y turbulento.....	58
Flujo turbulento en tubos.....	61
Caída de presión.	63
Análisis Térmico General.....	64
Temperatura Superficial Constante.....	64
6.6.1.1.3.- RADIACIÓN.....	67
6.6.2.- RESISTENCIAS TÉRMICAS	72
6.6.2.1.- RESISTENCIAS METÁLICAS	74
6.6.2.2.-RESISTENCIAS NO METÁLICAS.....	74
6.6.2.3.- TUBOS RADIANTES ELÉCTRICOS	75
6.6.2.4.- RESISTENCIAS BLINDADAS	76
6.6.3.- MATERIALES AISLANTES	78
6.6.3.1.-AISLAMIENTO TÉRMICO	80
6.6.4.- PÉRDIDAS DE CALOR	82
6.6.4.1.- Pérdidas de calor por las paredes	83
6.6.4.2 Pérdidas de calor por infiltración de aire.....	86

6.6.5.- VENTILADORES DE RECIRCULACIÓN Y PUNTO DE FUNCIONAMIENTO	87
6.6.6.- FACTORES EN LA SELECCIÓN DE MOTORES	88
6.7.- METODOLOGÍA	90
6.7.1.- El diseño sus consideraciones y especificaciones.....	90
6.7.1.1.-Producción requerida N° de paquetes por minuto	90
6.7.1.2.- Velocidad de transportación	90
6.7.2.- Dimensiones del horno de termo contracción.....	92
6.7.2.1.- Altura de entrada a la cámara.....	92
6.7.2.2.- Ancho de la cámara.....	93
6.7.2.3.- Longitud de la cámara.	93
6.7.3.- Análisis térmico General	94
6.7.3.1.- DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE MASA	96
6.7.3.2.- DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE SALIDA.....	98
6.7.4.- Determinación del Coeficiente Convectivo.	104
6.7.5.- DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS	106
6.7.5.1.- Pérdidas por paredes.....	106
6.7.5.2.-Pérdidas en la banda transportadora.-.....	113
6.7.5.3.-Pérdidas por infiltración de aire.-	114
6.7.6.- CALOR DEL SISTEMA.....	117
6.7.6.1.-EL DISEÑO SUS CONSIDERACIONES Y ESPECIFICACIONES.	117
6.7.6.2.-DIMENSIONES DEL TÚNEL TERMOENCOGIBLE	117
6.7.6.3.- RESULTADOS DE PÉRDIDAS DE CALOR.....	118
6.7.6.4.- ENERGÍA REQUERIDA POR EL PAQUETE	118

6.7.6.5.- NÚMERO DE RESISTENCIAS.....	118
6.7.7.- CÁLCULO Y SELECCIÓN DE TURBINA DE AIRE Y MOTOR ..	119
6.7.8.- CÁLCULO Y SELECCIÓN DE MOTOREDUCTOR.....	122
6.8.- Modelo Operativo.	123
6.8.1.- Cronograma de construcción.-.....	123
6.9.- ADMINISTRACIÓN.....	130
6.9.1.- Costo del túnel de termo contracción.	130

MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

PLANOS

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figuras	Pag.
Figura 2.1 Proceso de embalaje mediante película termoencogibles.....	9
FIGURA 2.2 Correlación entre la retracción y la fuerza de retracción”. ...	11
Figura. 2.3 Vista Transversal Horno	12
Figura 2.4 Distribución de la velocidad y temperatura del aire	15
Figura 2.5 La Polimerización.....	16
Figura 6.1 Flujo de calor a través de una pared.....	49
Figura 6.2 Desarrollo de la capa límite en la transferencia de calor por convección”	53
Figura 6.3 Transferencia de calor a través de una capa de fluido de espesor L y diferencial de temperatura ΔT	57
Figura 6.4 El diametro hidraulico.....	61
Figura 6.5 Interacciones energéticas para un volumen diferencial de control en un tubo	65
Figura 6.6 Intercambio de radiación (a) en la superficie (b) entre una superficie y sus alrededores	69
Figura 6.7 Tubos Radiantes Eléctricos	75
Figura 6.8 Sección de Resistencia Blindada típica	76
Figura 6.9 Esquema de pérdidas de calor en hornos	83
Figura 6.10 Pared compuesta de tres capas.	84

Figura 6.11. Curvas características típicas de ventilador centrífugo.	87
Figura 6.12. Características caudal-presión del ventilador y el circuito de aire para una temperatura dada.....	88
Figura 6.13 Pared compuesta de tres capas	107
Figura 6-14 Movimiento de la cortina al salir el empaque.....	115

Gráficas

Gráfica 4.1 Comparacion de los tiempos de Embalaje	36
--	----

Tablas

Pág.

Tabla 2.1 Ejemplos Aplicaciones y Propiedades de los polímeros	16
Tabla 2.2 Propiedades termofísicas del Polietileno tereftalato	17
Tabla 2.3 Propiedades térmicas del PVC	24
Tabla 2.4 Propiedades Físicas del PVC	24
Tabla 2.5 Propiedades del Polietileno.....	25
Tabla N° 4-1 Envases de yogurt y sus arreglos.....	31
Tabla N° 4-2 Vasos de yogurt y sus arreglos.....	32
Tabla N° 4-3 Botellas de refresco	32
Tabla N° 4-4 Propiedades de los termoplásticos	33
Tabla N° 4 – 5 Embalaje en el túnel de termo contracción	34
Tabla N° 4 – 6 Embalaje en forma manual	35

Tabla 6.1 Rangos típicos de número de Prandtl	58
Tabla 6.2 Propiedades térmicas de los Materiales aislantes	80
Tabla 6.3 Velocidad de producción.....	117
Tabla 6.4 Dimensiones de cámara de termo contracción	117
Tabla 6.5 Pérdidas de calor	118
Tabla 6.6 Energía requerida por el paquete	118
Tabla 6.7 Materiales y componentes del túnel de termo contracción	124
Tabla 6.8 Tiempo de construcción del sistema de transportación.	127
Tabla 6.9 Tiempo de construcción de la cámara de contracción.....	128
Tabla 6.10 Tiempo de ensamble.....	129
Tabla 6.11 Costos de materiales y equipos	131

NOMENCLATURA

Símbolo

A_c = Área de sección Transversal del Tubo (m^2)

C_p = Calor específico [$J/Kg \text{ } ^\circ K$]

D_h = Diámetro Hidráulico (m)

N_R = Número de resistencias

Q_{conv} = Transferencia de calor por convección (W).

Q_x = Calor transferido por conducción por unidad de tiempo (W)

R_{conv} = Resistencia a la convección ($^\circ C/W$)

R_{pared} = Resistencia térmica de la pared ($^\circ C/W$)

R_{total} = resistencia total ($^\circ C/W$)

T_{1s} = Temperatura Superficial ($^\circ C$)

T_4 = Temperatura de la pared exterior del horno ($^\circ C$).

T_∞ = Temperatura del Fluido ($^\circ C$)

T_{hp} = Temperatura promedio del horno ($^\circ C$).

T_b = Temperatura media de masa del fluido ($^\circ C$).

T_e = Temperatura de entrada [$^\circ C$]

$T_{e\infty}$ = Temperatura del flujo libre del fluido externo ($^\circ C$)

T_s = Temperatura de salida. [$^\circ C$]

$V_{prom.}$ = Velocidad promedio del flujo. (m/s)

\dot{m} = Flujo de masa de la carga [Kg/s]

q_x'' = Flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área (W/m²)

$w_{cortina}$ = Ancho de la cortina (m)

ΔT = Diferencia total de temperatura (°C)

$\Delta T_{prom.}$ = es alguna diferencia promedio apropiada de temperatura entre el fluido y la superficie (°C).

A = área de transferencia de calor (m²)

A_{arco} = Área del arco descrita por el extremo inferior de la cortina (m²).

A_{co} = Área de Conducción (m²)

A_e = Área exterior del túnel (m²).

A_i = Área interna de cálculo (m²).

A_m = Área media de cálculo (m²).

A_s = Área de la superficie sólida (m²)

D = Diámetro del tubo (m)

dT = Gradiente de temperatura (°C)

e = Espesor (m)

e_1 = Espesor tol interior (m)

e_2 = Espesor aislante (m)

e_3 = Espesor tol exterior (m)

h = Coeficiente Convectivo ($W/m^2/K$)

I = intensidad de la corriente que circula (A)

k = Conductividad térmica ($W/m.K$)

k_1 = conductividad térmica del tol interior ($W/m.K$)

k_2 = conductividad térmica del material aislante ($W/m.K$)

k_3 = conductividad térmica del tol exterior ($W/m.K$)

L = Longitud o profundidad del paquete (cm/paquetes).

L_c = longitud característica. (m)

L_e = altura del envase (m)

L_t = Longitud de la cama de termoencogible [$m.$]

$N^{\circ}_{\text{paquetes/minuto}}$ = Número de paquetes por minuto (Producción Requerida por la planta).

Nu = Número de Nusselt

P = Potencia (W)

P_e = Perímetro (m)

Pr = Número de Prandtl

q'' = flujo de calor por convección (W/m^2),

q_x'' = flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área (W/m^2)

R = resistencia total. ($^{\circ}C/W$)

r_e = Radio externo del envase (m)

r_i = Radio interno del envase (m)

t = tiempo de encogimiento [s.]

T_1 = temperatura interna (°C)

T_2 = Temperatura Externa (°C)

T_{amb} = Temperatura Ambiente (°C).

V = Velocidad del sistema de transportación $\left[\frac{m}{min}\right]$

ρ = Densidad del fluido (Kg/m³)

σ = Constante de Stefan Boltzmann (W/m² K⁴).

Re = Número de Reynolds

U = Coeficiente Global de transferencia de calor $\left(\frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}\right)$

a = Coeficiente que depende de la velocidad del aire ($a = 2.2$).

$v = \mu/\rho$ = Viscosidad cinemática del fluido

ε = Emisividad total de la pared ($\varepsilon = 0.4$).

μ = Viscosidad dinámica (Kg/m.s)

RESUMEN
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

**Estudio de embalaje de productos con película termoencogible PVC
en la empresa LEITO para reducir tiempo de producción.**

Autor: Dorian Germánico Álvarez Cruz.

Tutor: Luis Eduardo Escobar Luna. .

La empresa LEITO nace por la inquietud de una familia preocupada por el desarrollo de la región, vinculada al medio económico e industrial de la provincia de Cotopaxi.

El trabajo realizado en esta empresa de la ciudad de Salcedo provincia de Cotopaxi propone una alternativa para mejorar la etapa de embalaje del producto terminado mediante la aplicación de película termoencogible para lo cual se realizó un estudio de embalaje con la comparación de la manera como se realizaba el embalaje en forma manual y la forma semiautomática que se logra con la película termoencogible determinando los tiempos necesarios para realizar los paquetes de cada presentación tanto en forma manual como en forma semiautomática con lo que logramos determinar que el proceso más eficiente resulto ser la realizada con la película de termo contracción llevándonos a proponer en la parte final de este informe de investigación el diseño y construcción de un equipo de termo contracción con la finalidad de dar solución a la necesidad de la empresa de mejorar y aumentar su producción y debido al costo de dicho equipo realizarlo con ingeniería local y así reducir su costo para que dicho equipo sea implementado en el departamento de despacho y embalaje de la empresa.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 ESTUDIO DE EMBALAJE DE PRODUCTOS CON PELÍCULA TERMOENCOGIBLE PVC EN LA EMPRESA LEITO PARA REDUCIR TIEMPO DE PRODUCCIÓN.

1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Actualmente en las pequeñas o grandes industrias ecuatorianas es común notar que en la mayoría de estas, se utiliza el embalaje con película termoencogible que les permite de esta forma tener un fácil y rápido embalaje de sus productos con este tipo de embalaje se obtiene mayor protección, fácil manejo, fácil movilización y ayuda a mantener la estética y la integridad del producto al momento de ser vendido.

Podemos mencionar a la provincia de Cotopaxi, la misma que gracias a su situación geográfica se encuentra rodeada por grandes cantidades de tierras las que son aprovechadas, para la cría de ganado es por ello que Cotopaxi es conocida por ser una zona productora de leche de buena calidad, esta aprovechada por empresarios con la visión de fomentar la industria de los lácteos, ya sea en la fabricación de quesos, yogurt o el mejoramiento de la leche mediante un proceso de pasteurizado.

Debido a esto no es raro que cuando se hable de invertir en una fábrica de lácteos, los inversionistas decidan hacerlo en esta provincia provocando así una competencia para las empresas ya existentes haciendo que estas mejoren los estándares de calidad; En la provincia de Cotopaxi muchas

empresas cuentan con el sistema de embalaje con película termoencogible convirtiéndose de esta forma en una amenaza para las empresas que aun no se unen a esta tendencia del uso del embalaje con película termoencogible.

La empresa que requiere utilizar o implementar este tipo de procesos es la fábrica de productos lácteos "LEITO" de la ciudad de Salcedo la cual en vista de su desarrollo productivo requiere optimizar el despacho de sus productos con un sistema que realice el embalaje con película termoencogible de una manera rápida y eficaz.

Actualmente la empresa cuenta como único embalaje simplemente el colocar los embaces en fundas transparentes haciendo que el producto se desacomode provocando fricción entre ellos deteriorando la presentación o que la funda se zafe al momento de ser manipulada esto hace que el producto pierda estética se derrame o sea incomodo de transportar. Estos inconvenientes hacen que el proceso sea lento y poco eficiente.

Embalar mediante películas termoencogibles consiste en envolver el conjunto de productos en una de estas películas y luego hacerla pasar en un horno denominado horno continuo o túnel de termo contracción el cual mediante calor contrae la película y se logra en el paquete el embalaje requerido.

1.2.2.- ANÁLISIS CRÍTICO DEL PROBLEMA

El característico entorno competitivo en el que desarrollan sus actividades las empresas hace que éstas deban plantear actuaciones para mejorar sus estándares de calidad, servicio y coste. Sin embargo, ante esta necesidad las empresas no siempre han prestado la suficiente atención a la contribución que un adecuado embalaje proporciona a la mejora de competitividad desde la perspectiva del incremento de las ventas (diferenciación) y reducción de los costes (facilitando y haciendo eficientes

los procesos de aprovisionamiento, manipulación, almacenamiento y transporte con la reducción del tiempo de proceso).

Ante la manifestación del problema se ve la necesidad de establecer un sistema de envoltura eficaz que optimice el tiempo de embalaje y despacho en la fábrica de productos lácteos "LEITO".

Puesto que la preocupación de quien produce productos perecibles, como derivados lácteos, confitería, etc., es que su producción demore lo menos posible en ser despachados. En otras palabras, es promover el consumo de sus productos para mantener en permanente actividad su negocio.

1.2.3.-PROGNOSIS

Si no se afronta el problema en La fábrica de productos lácteos LEITO la empresa podría enfrentar efectos negativos como: Incumplimiento en las entregas, o entregas con retraso así como la posible pérdida de producto al salir de la fábrica o al llegar al cliente, también pérdida de la posición alcanzada a través de los años en el mercado y la posible disminución de la producción y la utilidad lo cual conllevará a no poder cubrir los costos de producción, comercialización y mano de obra.

1.2.4- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿La implementación de un sistema de embalaje con película termoencogible PVC ayudara a reducir el tiempo en la etapa de embalaje y despacho en la fábrica de productos lácteos LEITO de la ciudad de Salcedo?

1.2.5.- INTERROGANTES

¿Qué material termoplástico cumple con las características para aplicarlo en el embalaje de productos termosensibles como los lácteos?

¿Cuál es la producción requerida por la empresa?

¿Cuáles deben ser las dimensiones que debe tener el paquete a embalar?

1.2.6.- DELIMITACIÓN

1.2.6.1.- DELIMITACIÓN TEMPORAL.

La investigación se la realizará en un periodo de seis meses.

1.2.6.2.- DELIMITACIÓN ESPACIAL.-

Este proyecto se centrará en el estudio del embalaje de productos con película termoencogible PVC que ayudara a reducir el tiempo de producción en la fábrica de productos lácteos “LEITO” de la ciudad de Salcedo provincia de Cotopaxi.

1.3.- JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto nace de un convenio de colaboración Universidad-Empresa, a través del cual el estudiante tiene la oportunidad de llevar a la práctica un proyecto propuesto por la empresa. De este modo, mediante una mutua colaboración se busca un doble objetivo; por un lado, la elaboración de un proyecto necesario para finalizar la carrera y por otro, que tenga una aplicación real en la empresa viéndose como resultado la solución de uno o varios problemas.

Con el constante progreso de la empresa es oportuno pretender mejorar o equipar al departamento de embalaje y despacho de la fábrica.

Con la finalidad de presentar una mejor visión respecto al papel tan importante que desempeña la última fase de la producción como es el embalaje y despacho del producto y la atención que hay que prestar al mismo para que la empresa o fábrica alcance sus niveles más altos en cuanto a competitividad y calidad se realizara el estudio de embalaje de productos con película termoencogible PVC en la empresa LEITO para simplificar tiempo en el departamento de embalaje y despacho de la fábrica.

1.4.- OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS

1.4.1.- OBJETIVO GENERAL

- Implementar un sistema de embalaje con película termoencogible PVC que ayude a reducir el tiempo en la etapa de embalaje y despacho en la fábrica de productos lácteos LEITO de la ciudad de Salcedo

1.4.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Seleccionar el material termoplástico que cumple con las características para aplicarlo en el embalaje de productos termo sensibles como los lácteos.
- ✓ Determinación en el tiempo para una alternativa de embalaje semiautomático.
- ✓ Disminuir la cantidad de producto que se pierde en el transporte.

CAPITULO II

MARCO TEORICO.

2.1.-ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

“Los envoltorios de plástico: el desarrollo de los polímeros sintéticos se produjo a partir del estudio de los polímeros naturales ya conocidos a principios del siglo. Uno de los primeros polímeros sintéticos que se uso en embalaje fue el brillante acetato de celulosa; (el celuloide) el cual fue de los primeros plásticos moderables en el mercado, formado por nitrato de celulosa y alcanfor, el cual se utiliza actualmente todavía.

De acuerdo con el diccionario, "un envase es una unidad protectora para almacenar y transportar un producto". Es esencial contar con algún tipo de envase si se quiere que los productos, tanto alimenticios como de consumo, se protejan contra contaminación o daños y pérdidas durante el almacenamiento y la distribución. Generalmente, el costo del envase es mucho menor al del bien que contiene y, si el envase permite entregarle al consumidor final el producto en buen estado, sin daño o descomposición, la inversión en el envase habrá sido un dinero bien empleado.

Se distinguen varios tipos de envases: "primario" es aquel en contacto directo con el producto y generalmente el de venta al consumidor; "secundario" es una envoltura o caja que contiene al envase primario y puede ser también un sistema para la exhibición de presentaciones primarias; "embalaje", representa el sistema de empacar, para efectos de almacenamiento, transporte y distribución, tanto de productos a granel como de cantidades variables de productos en su envase primario (y secundario). "Empaque" generalmente se refiere al material de amortiguamiento o

acojinamiento que protege a los productos y/o envases dentro de un embalaje, así como también a la industria del envase y embalaje. Igualmente, la palabra "empacar" a menudo se usa para designar todo o parte del proceso de envasar, embalar y acondicionar los embalajes de manera unitarizada en una bodega"¹.

2.2.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1.- EL PROCESO DE EMBALAJE

El embalaje es la acción y efecto de embalar. Este procedimiento consiste en disponer de manera sumamente cuidadosa todos aquellos objetos que van a ser transportados a un determinado lugar. Ahora bien, ¿Dónde se colocan estos elementos? Por lo general, van dentro de cubiertas, cajas o envolturas, cuyo objetivo principal es el de asegurar que todas las mercancías que están en su interior puedan resistir los pormenores de transporte, que incluyen movimientos bruscos o traslados permanentes de un lugar a otro. Dentro del concepto de embalajes se incluyen, por lo tanto, todos los materiales pero también todos los procedimientos que sirven de protección de las mercancías en cuestión. Es decir, que el embalaje también engloba otros planes. Uno de ellos es el acondicionamiento, que consiste en disponer algo (en este caso, el objeto que se transporta) de una manera consciente, responsable y cuidadosa para un objetivo en especial. El objetivo es el arribo de la mercancía en perfecto estado. Otro de los métodos empleados es el de presentación, que hace hincapié en la entrega de algo en presencia de alguien, pero nunca descuidando las apariencias o las características de dicha presentación. Un tercer método es el de manipulación, que implica toda alteración de un determinado elemento, en este caso para mejorar su traslado.

También hay un proceso que va de la mano con otro de manera irremisible. Nos referimos al almacenado y conservado de la mercancía, que consiste en que la permanencia de la misma en un lugar sea observada con suma

¹ <http://www.arqhys.com/arquitectura/embalaje-flexible-historia.html>

atención y cuidado. Por último, uno de los métodos más relevantes que forman parte del procedimiento de embalaje es el de transporte de la mercancía. Recordemos que el embalaje se lleva a cabo justamente teniendo como fin primordial el del eficaz y seguro transporte de dicha mercancía. Por esta razón es que se emplean cajas o envolturas que garanticen un buen traslado. El objetivo del embalaje es que el envase empleado sea sinónimo de protección del producto que será transportado. Dicho envase funciona como soporte o continente, debido a que envuelve el producto, lo asegura, lo contiene y facilita el transporte y la posterior presentación, que es fundamental sobre todo en el caso de los productos que están destinados a la venta.

“Dentro de los procesos de embalaje con película termoencogible en el mercado son conocidos los siguientes procesos:

1. Proceso mediante funda termoencogible.
2. Proceso mediante película termoencogible.

Proceso mediante fundas termoencogibles.- Este tipo de proceso consiste en colocar los embases conteniendo el producto manualmente dentro de fundas termoencogibles las cuales vienen en dimensiones previamente solicitadas, para luego ser pasadas a través del túnel de termocontracción, donde adquiere la contracción requerida.

Proceso mediante película termoencogible.- en el túnel de termocontracción el producto previamente embalado en una selladora tipo L o en una selladora frontal se desplaza sobre una cinta transportadora de acción continua a través de una cámara, en la cual el aire es forzado mediante ventiladores a través de resistencias eléctricas, generando así un flujo de

aire a la temperatura necesaria para realizar la termo contracción de la película con el cual se ha hecho el embalaje.”²

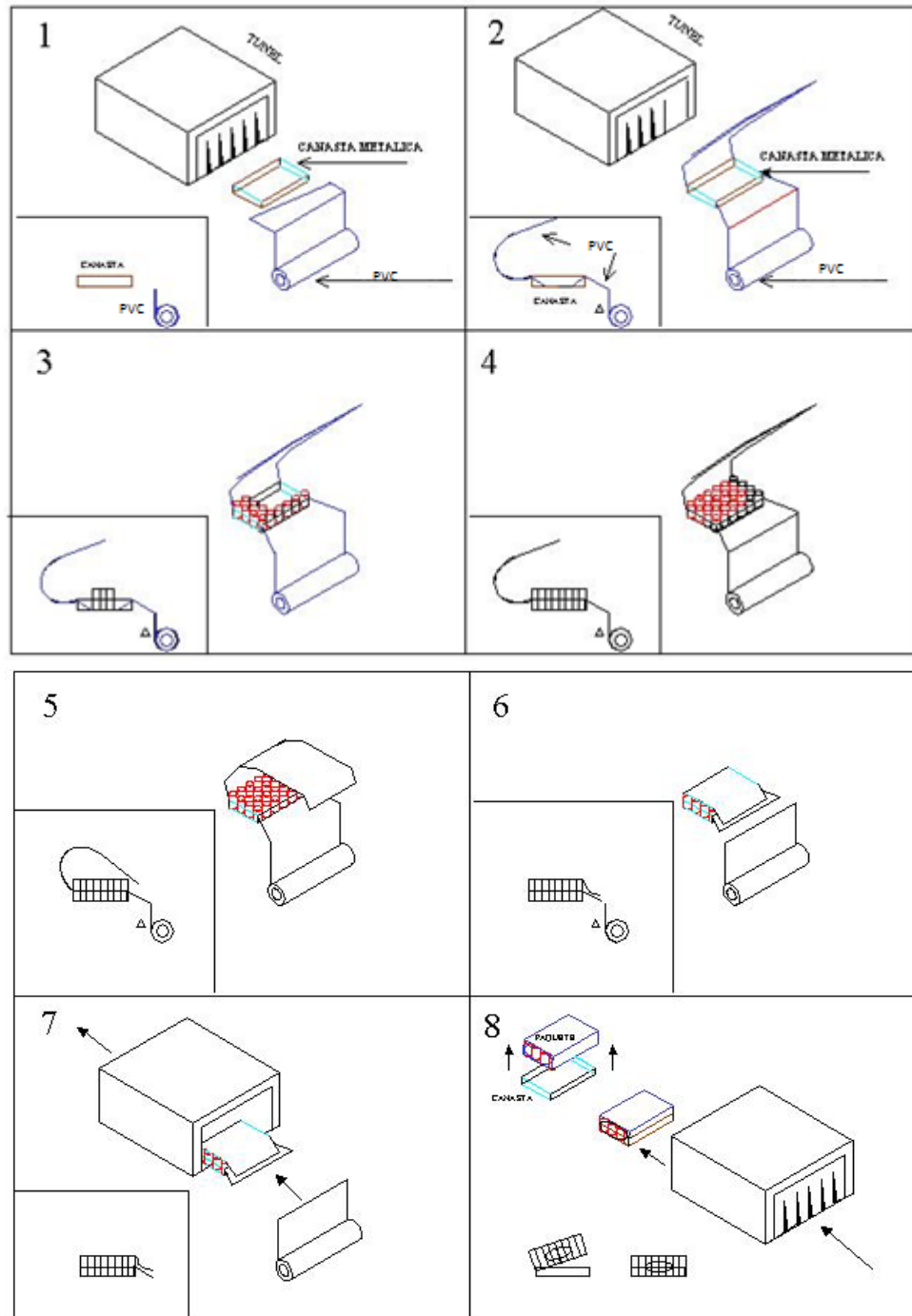


Figura 2.1 Proceso de embalaje mediante película termoencogibles.

² ZANBRANO C. GUSTAVO A., “Diseño de un Túnel de Termocontracción para Etiquetar botellas con Película PVC” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2007)

2.2.2.- DESCRIPCIÓN DE LA TEORÍA DE TERMO CONTRACCIÓN.

“El sistema de embalaje en termoencogible se fundamenta en la utilización de un material termoplástico que se caracteriza por variar sus dimensiones y adecuarse a la forma del objeto a envolver, cuando se lo somete a una determinada temperatura.

El fenómeno de termocontracción (también llamado de retracción) se produce como consecuencia de las tensiones residuales existentes en la película, las cuales fueron obtenidas durante la fabricación del film, y que resultan liberadas cuando el material alcanza la temperatura adecuada. Estas tensiones, llamadas contracción longitudinal y contracción transversal, son regulables durante la fabricación de la película y para cada tipo de envoltorio que se desea obtener se puede especificar los valores necesarios. El fenómeno de contracción se desarrolla de acuerdo a las siguientes etapas:

Etapas 1.- Ablandamiento de la película: cuando se alcanza la temperatura de 100 °C aproximadamente. Se observa que la película se ablanda y sufre alargamiento en ambas direcciones (transversal y longitudinal), este fenómeno se debe a la dilatación térmica del material.

Etapas 2.- Retracción de la película: superados los 100 °C comienza la retracción acelerada de la película, alcanzándose un desplazamiento importante R_c que constituye el 90% aproximadamente de la retracción total.

Etapas 3.- Estabilización: una vez alcanzada el desplazamiento R_c el material deja de contraer, aun cuando permanezca a la temperatura de contracción o superior a ella.

Etapas 4.- Enfriamiento: En esta etapa el material completa su retracción mientras se enfría. Esta etapa del proceso es importante, no tanto por el

mayor porcentaje de retracción que se alcanza sino por el incremento de la fuerza de retracción del material.

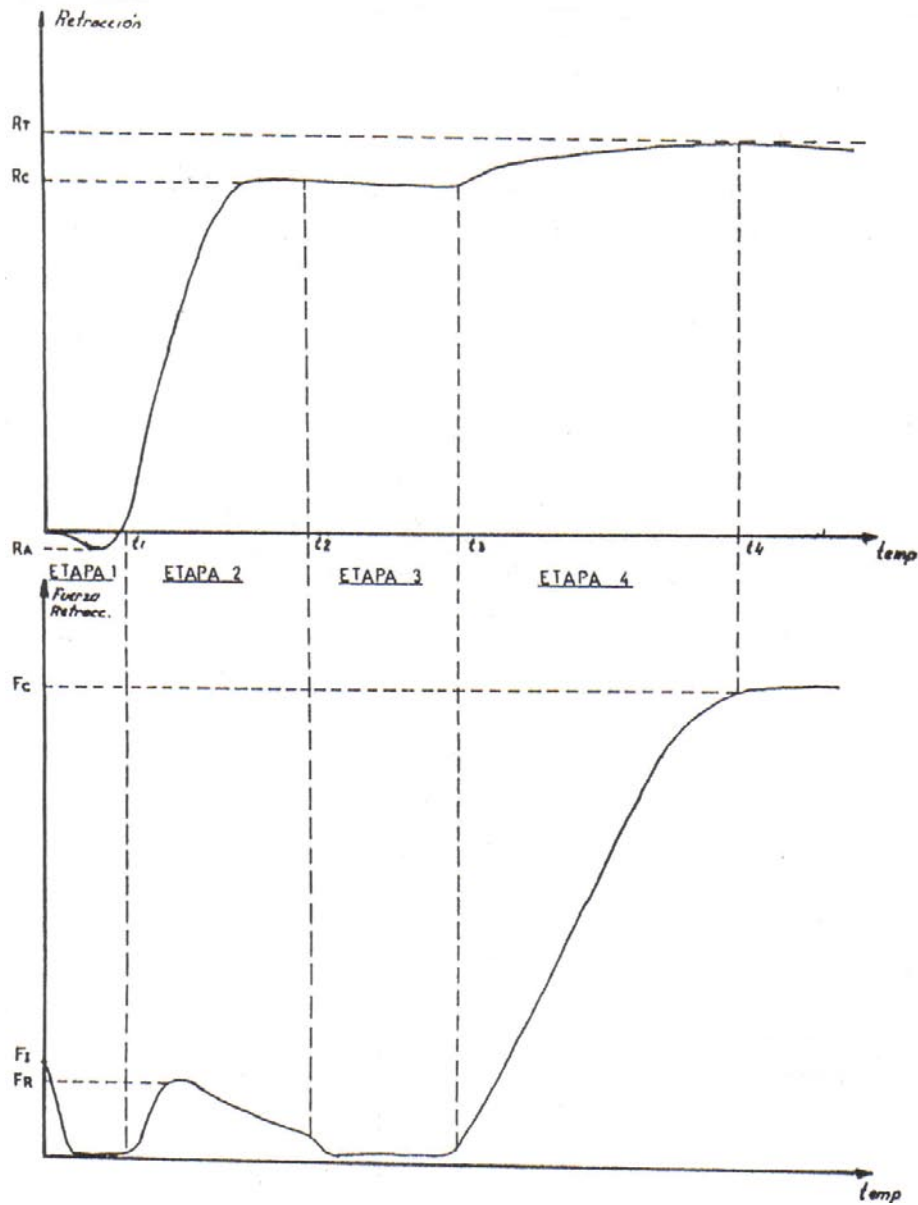


FIGURA 2.2 Correlación entre la retracción y la fuerza de retracción³.

³MAYANCELA C. RONALD E, "Diseño de un Túnel de Termocontracción para películas Termoencogibles usado en el Embalaje de Productos" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2004)

2.2.3.- DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL DE TERMO CONTRACCIÓN

Es un tipo de horno continuo con sección longitudinal mayor a la transversal, fabricado en su parte exterior en lámina de acero galvanizado y en su parte interior en lámina de acero galvanizado.

El horno está compuesto por una cámara independientes acoplada a una estructura construida en ángulos de acero. En el costado de la cámara se ubica el sensor de temperatura, entre la pared externa e interna se aloja una capa de lana de vidrio de 40 mm de espesor, y en los extremos de la cámara unas persianas aislantes en tela siliconada para disminuir el intercambio de calor con el ambiente.

La cámara lleva en su parte superior un ducto colector de aire donde se encuentran ubicados un ventilador de recirculación de aire y elementos calefactor a los costados.

El horno cuenta con dos rodillos guías a los extremos y una cama de rodillos donde se instalara una banda transportadora.

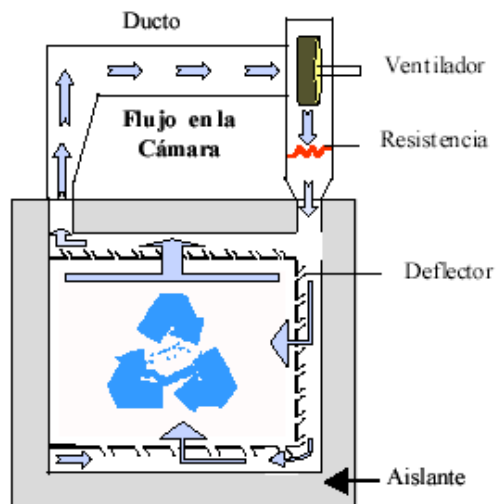


Figura. 2.3 Vista Transversal Horno

El calentamiento de la carga se realiza mediante convección forzada, es decir, una corriente de aire a elevada temperatura que cede calor a la carga o paquete.

Esta corriente es lograda por medio de la recirculación del aire a través del elemento calefactor, el cual son resistencias blindadas de 1000W, ubicada en la descarga de aire del ventilador. El ventilador de recirculación es de tipo turbina.

El aire proveniente de la descarga del ventilador ingresa a la cámara de proceso por las paredes falsas derecha e izquierda con ayuda de deflectores que lo guían; las zonas muertas de aire son evitadas por las corrientes encontradas que envuelven el producto. El aire que se encuentra en la cámara de proceso es succionado por la parte superior y dirigido al ducto colector de aire que lo hace pasar a través del ventilador y las resistencias para repetir el ciclo nuevamente.

El principio fundamental en el que está basado el túnel de termo contracción se lo encuentra en la ciencia de la transferencia de calor y es la convección

Transferencia de calor

Principios fundamentales._

“Siempre que existe una diferencia de temperatura en el universo, la energía se transfiere de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura. De acuerdo con los conceptos de la termodinámica, esta energía transmitida se denomina calor.

Las leyes de la termodinámica tratan de la transferencia de energía, pero siempre se refieren a sistemas que están en equilibrio, y solo pueden utilizarse para predecir la cantidad de energía requerida para cambiar un sistema de un estado de equilibrio a otro, por lo que no sirven para predecir la rapidez con que puedan producirse estos cambios.

La ciencia llamada transmisión o transferencia de calor complementa los principios primero y segundo de la termodinámica clásica, proporcionando los métodos de análisis que pueden utilizarse para predecir la velocidad de la transmisión del calor, además de los parámetros variables durante el proceso en función del tiempo.

Convección. Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

CONVECCIÓN LIBRE Y FORZADA

La transferencia de calor implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Se incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido.

En la transferencia de calor por convección forzada se provoca el flujo de un fluido sobre una superficie sólida por medio de una fuerza externa como lo es una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico.

En la transferencia de calor por convección libre o natural en la cual un fluido es más caliente o más frío y en contacto con una superficie sólida, causa una circulación debido a las diferencias de densidades que resultan del gradiente de temperaturas en el fluido.

Convección es el flujo global de un fluido debido a agentes externos como diferencia de temperatura (convección natural), fuerzas debidas a la presión o gravedad (convección forzada). Por lo tanto es un mecanismo de transporte de los bien conocidos fenómenos de transporte (transporte calor, momentum y materia)⁴.

⁴ http://editorial.cda.ulpgc.es/ambiente/1_calor/4_transm/index.htm

En cualquiera de los casos el fenómeno se puede evaluar mediante la Ley de Newton del enfriamiento.

Complicación: determinación del h apropiado...

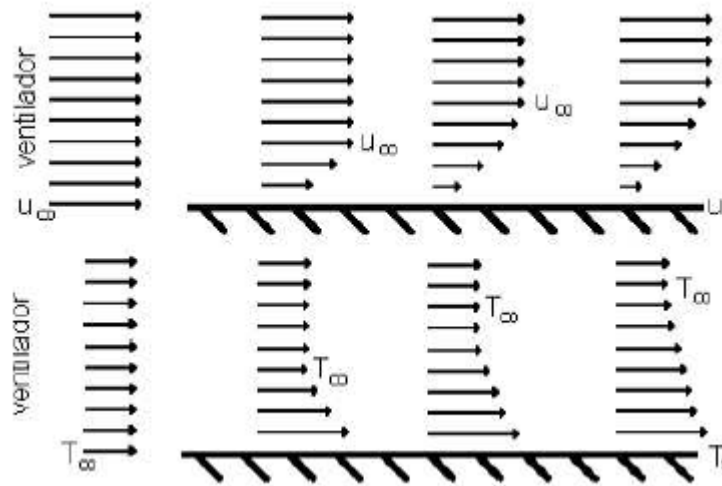


Figura 2.4 Distribución de la velocidad y temperatura del aire

2.2.4.- TIPO DE MATERIALES

“Los materiales se clasifican en cinco grupos: metales, cerámicos, polímeros, semiconductores y materiales compuestos. Los materiales de cada uno de estos poseen estructuras y propiedades distintas.

Polímeros.- producidos mediante un proceso conocido como polimerización, es decir creando grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas, los polímeros incluyen el hule, los plásticos y muchos tipos de adhesivos. Los polímeros tienen baja conductividad eléctrica y térmica, reducida resistencia y no son adecuados para utilizarse a temperaturas elevadas. Los polímeros termoplásticos, en los cuales las largas cadenas moleculares no están conectadas de manera rígida, tienen buena ductilidad y conformabilidad; los polímeros termoestables son más resistentes, aunque más frágiles porque las cadenas moleculares están fuertemente enlazadas. Los polímeros se utilizan en muchas aplicaciones, incluyendo dispositivos electrónicos.

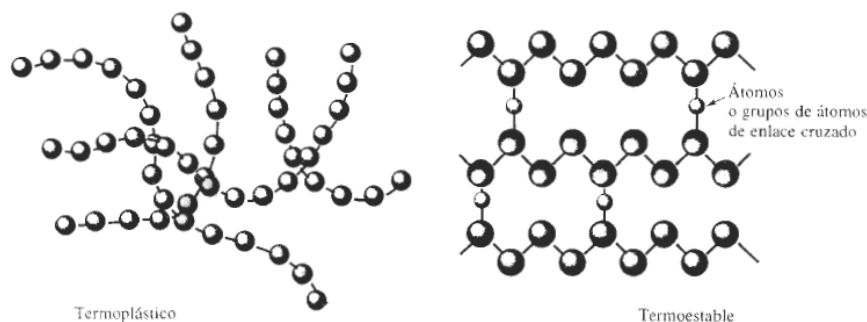


Figura 2.5 La Polimerización

La polimerización ocurre cuando moléculas pequeñas representadas por los círculos en la figura 2.5, se combinan para producir moléculas más grandes (es decir polímeros). Las moléculas de los polímeros pueden tener una estructura del tipo cadena (**termoplásticos**) o pueden formar redes tridimensionales (termoestables).⁵

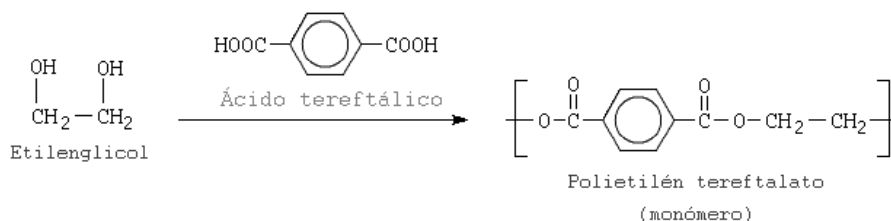
Tabla 2.1 Ejemplos Aplicaciones y Propiedades de los polímeros

Polímeros	Aplicaciones	Propiedades
Polietileno	Empacado de alimentos	Fácilmente conformable en delgadas películas flexibles e impermeables
Epóxicos	Encapsulado de circuitos integrados	Eléctricamente aislante y resistente a la humedad
Fenólicos	Adhesivos para unir capas de madera laminada	Fuertes, resistentes a la humedad

Fuente: Donald Askeland “Ciencia e Ingeniería de los materiales” porción de la Tabla 1-1

Polietileno tereftalato (PET)

Se obtiene a partir de etilenglicol y ácido tereftálico mediante poli condensación:



Se pueden distinguir dos tipos fundamentales de PET, el grado textil y el grado botella. El PET tiene una temperatura de transición vítrea baja

⁵ Donald R. Askeland “Ciencia e Ingeniería De Los Materiales” Pág. 5 - 8

(temperatura a la cual un polímero amorfo se ablanda). Esto supone que los productos fabricados con dicho material no puedan calentarse por encima de dicha temperatura (por ejemplo, las botellas fabricadas con PET no pueden calentarse para su esterilización y posterior reutilización).

USOS Y APLICACIONES:

Algunos usos y aplicaciones del PET son: Envases de gaseosas - Aceites - Agua mineral - Frascos para mayonesa - Salsa - Fibras textiles - Cintas de vídeo y audio - Películas radiográficas y muchas más.

VENTAJAS Y BENEFICIOS:

Barrera a los gases - Transparente - Irrompible - Liviano - No tóxico⁶.

Características:

Tabla 2.2 Propiedades termofísicas del Polietileno tereftalato

PET	
Formula Molecular	(C ₁₀ H ₈ O ₄) _n
Densidad amorfa	1.370 g/cm ³
Densidad cristalina	1.455 g/cm ³
Módulo de Young (E) (E)	2800–3100 MPa
Presión (σ)	55–75 MPa
Límite elástico	50–150%
notch test	3.6 kJ/m ²
Glass temperature	75 °C
Punto de fusión	260 °C
Vicat B	170 °C
Thermal conductivity	0.24 W/(m·K)
Coefficiente de dilatación lineal (α)	7×10 ⁻⁵ /K
Calor específico (c)	1.0 kJ/(kg·K)
Absorción de agua (ASTM)	0.16
Índice de refracción	1.5750
Source: A.K. van der Vegt & L.E. Govaert, Polymeren, van keten tot kunstof, ISBN 90-407-2388-5	

⁶www.plastivida.com.ar

2.2.4.1 TERMOPLÁSTICOS

“Un termoplástico es un plástico que, a temperatura ambiente, es plástico o deformable, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfría lo suficiente. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de débiles fuerzas Van der Waals (polietileno); fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno, o incluso anillos aromáticos apilados (poliestireno). Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos, mientras que en el caso de los termoestables o termoduros, después de enfriarse la forma no cambia y arden.

Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces (historial térmico), generalmente disminuyen estas propiedades. Los más usados son: el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el metacrilato (PMMA), el policloruro de vinilo (PVC), el politereftalato de etileno (PET), el teflón (o politetrafluoretileno, PTFE) y el nylon (un tipo de poliamida).

Se diferencian de los termoestables (baquelita, goma vulcanizada) en que éstos últimos no se funden al elevarlos a altas temperaturas, sino que se queman, siendo imposible volver a moldearlos.

Muchos de los termoplásticos conocidos pueden ser resultado de la suma de varios polímeros, como es el caso del vinilo, que es una mezcla de polietileno y polipropileno.

Los plásticos termoplásticos se pueden fundir y refundir varias veces para darle forma, por lo tanto son reciclables. Los termoplásticos al ser calentados aumentan la energía de sus moléculas y se reducen las fuerzas de atracción entre ellas, de esta forma se vuelve más deformable o plástico.

Una vez enfriados recuperan sus propiedades mecánicas algunos tipos de termoplásticos son”⁷:

⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/Termoplasticos>

2.2.4.1.1.- P.V.C. (POLI CLORURO DE VINILO)

El P.V.C. (Poli Cloruro de Vinilo) es un polímero termoplástico de gran versatilidad y es uno de los materiales plásticos más importantes de los disponibles hoy en día. Sus principales características incluyen resistencia mecánica, resistencia al intemperismo, al agua y a muchos reactivos. Además tiene propiedades aceptables de resistencia eléctrica.

Dependiendo de la formulación utilizada es posible fabricar múltiples y variados productos como pueden ser: tuberías, botellas, perfiles, recubrimientos, espumas, calzado, forros de cables, mangueras, discos, pisos y losetas, juguetes y por supuesto películas tanto rígidas como flexibles en una gran variedad de espesores y presentaciones, utilizando para ello, técnicas de fabricación muy variadas como pueden ser extrusión, calandrado, inyección, roto moldeo, termo formado, compresión, soplado, etc.

Los procesos de fabricación utilizados en la manufactura de las películas de PVC suelen ser: la extrusión tubular y el posterior soplado de PVC plastificado; la extrusión mediante un cabezal plano; el calandrado y ocasionalmente el colado mediante el uso y la evaporación de solventes (muy raro). El rango de estas películas puede variar desde las muy duras y rígidas a las muy suaves y flexibles.

El principal uso de las películas de PVC es el empaque de productos. Algunas mercancías envasadas reciben a veces una envoltura adicional realizada con película. Las misiones de esta envoltura son:

1. Protección adicional de la mercancía frente a influencias externas.
2. Mejora del control y garantía del cierre.
3. Posibilidad de reunir varios envases aislados.
4. Mejor promoción de venta.

La función protectora de una película envolvente puede ser muy variada:
-Se evitan los deterioros mecánicos de envases valiosos debidos a los roces sufridos durante el transporte y almacenaje.

-Las mercancías sensibles tienen una mejor protección contra las pérdidas de aroma por influencias externas.

-Muchos productos exigen protección frente a la absorción, la pérdida de humedad o ambos inconvenientes (por ejemplo pan o cigarrillos).

En general, una película envolvente, del material adecuado, puede cumplir estas funciones. Las películas usadas como envoltura suelen ser transparentes, de este modo se reconoce el contenido y se facilita la clasificación. También, una envoltura bien sellada ofrece además la garantía de que el envase no ha sido abierto.

Dependiendo del tipo de película, estas se utilizan en el empaque de alimentos, como pueden ser carnes frescas, aves, frutas y vegetales; o como parte estructural del empaque, por ejemplo los empaques de latas o de multiempaques; o para dar una presentación excepcional a los productos, por ejemplo, regalos, cajas de chocolates, empaques de discos, etc.

El aumento en la importancia del uso de las películas de PVC como material de empaque es atribuido a sus excelentes propiedades de barrera a la humedad, a los gases y a los olores; a su resistencia química al agua y a los productos químicos; a su claridad y transparencia similar al cristal; a su consistencia mecánica. Ventajas adicionales son su brillo, su resistencia al rasgado, su permeabilidad al oxígeno, buen sellado al calor y la posibilidad de producción de un empaque libre de arrugas.

Las películas biaxialmente orientadas poseen algunas de estas características mejoradas, como son: excepcional claridad, propiedades de tensión superiores, flexibilidad y propiedades de barrera mejoradas, mejor resistencia al impacto y una mejorada estabilidad térmica. Sin embargo, hay un detrimento en la cantidad de elongación que resisten, la fácil propagación del rasgado, y un estrechamiento del rango de sellado.

Son dos los tipos de películas de PVC los más comunes en el mercado: el empaque encogible (shrink) y el estirable (stretch).

PELÍCULAS ENCOGIBLES.- Los materiales con memoria termoplástica que tienden a contraerse al aplicárseles calor son la base del método de embalaje encogible. De todos los posibles materiales, las películas

encogibles de poliolefina y de PVC son las que han adquirido mayor importancia práctica. Las propiedades de contracción de los diferentes termoplásticos son distintas y dependen del rango de temperatura de reblandecimiento o endurecimiento del plástico y pueden ajustarse a una capacidad de contracción previamente determinable con exactitud.

Las películas encogibles al contraerse pueden lograr un empaque sin arrugas ajustado a la forma y al tamaño del producto que cubren. El porcentaje de encogimiento aumenta con la temperatura de encogimiento y puede ser controlado teóricamente por este método, pero es muy difícil en la práctica con la mayoría de las técnicas de encogimiento ya que el porcentaje de encogimiento final es determinado por el objeto que se empaca. Sin embargo la medida de esta propiedad da una idea de la cantidad de retracción que puede lograr la película. Se pueden fabricar con encogimientos diferentes tanto en la dirección longitudinal (dirección máquina D/M) como en la transversal del rollo (D/T), pero lo más usual es que tenga un encogimiento equilibrado en ambas direcciones.

La tensión de encogimiento es la fuerza que la película ejerce cuando es liberada por el encogimiento a elevada temperatura y puede ser influenciado por las propiedades del polímero y el método de manufactura. Tensiones entre 50 y 150 psi son deseables para proveer un empaque apretado después del encogimiento y mayores cuando se requiere que la película sea parte estructural del empaque, aunque hay que tener cuidado con el control de la temperatura y el tiempo para prevenir ruptura o distorsiones.

Las películas de PVC resultan adecuadas para la mayoría de los empaques. El empleo de empaques encogibles es siempre oportuno cuando se trata de envolver mercancías de forma irregular. El proceso es también adecuado en los casos en que se trata de embalar mercancías con diversas dimensiones y formatos en sucesión irregular. Finalmente se emplea también para unir paquetes sueltos en paquetes colectivos. Aunque habrán de tolerarse los cordones de soldadura y algunas arrugas producidas en las esquinas. Existen equipos manuales y automáticos. La mayoría de los equipos de encogimiento funcionan con aire caliente (80 a 200 °C) y casi siempre son preferibles bajas temperaturas de encogimiento pues se requieren equipos

más sencillos, existe un ahorro de energía y se permite el empaque de productos sensibles al calor.⁸

“Un Buen Embalaje es un buen preservativo

El PVC colabora para establecer con el embalaje una fuerte diferencia competitiva.

Se emplea en casi todos los tipos de embalaje, como film para acondicionar alimentos frescos, envases para cosméticos y fármacos, agua mineral, productos de higiene personal y limpieza del hogar, etc. También cumple una importante función en productos medicinales como "bolsas de sangre" y envases para sueros. Sea por su brillo, transparencia, fácil rotulación, higiene y la seguridad que da en el cuidado de los alimentos, o dando a los envases formas modernas y práctico manipuleo, el PVC se distingue como un producto versátil y garantiza todas las propiedades y características que el consumidor requiere de un producto.



Las exigencias del consumidor y los cambios que vienen sucediéndose en los escenarios económicos y socio culturales, impulsan a las empresas a darles a sus productos presentación estética y a conferirles seguridad en su manipulación.

Los productos de consumo diario como alimentos, bebidas, cosméticos, y aquellos destinados a la higiene y la limpieza, son adquiridos no sólo por su contenido, sino por su presentación.



⁸ www.empaquesplasticos.com.mx

Los envases de PVC cumplen un rol eficaz para satisfacer las exigencias de productores, comerciantes y consumidores por las siguientes ventajas:

Rígido o totalmente flexible.

Resistente al desgarro y a los golpes.

Seguridad contra accidentes; menos pérdidas por roturas.

Formas y tamaños adaptados de acuerdo a las exigencias de los contenidos.

Facilidad y comodidad en el manipuleo y almacenamiento.

Excelente presentación de los productos, exhibiendo, resaltando y dando identidad a los mismos.

Apto para procesos de esterilización.

Impresión en rotograbado o flexo gráfico, rotulación y metalizado.

Se puede emplear en procesos en continuo de formado/ llenado/ cierre o sellado.

Se suelda por aire caliente o alta frecuencia⁹.

La contracción de la película de PVC, a diferencia de otros plásticos, como el polietileno (PE), se logra a temperaturas desde 80 °C, característica importante para productos sensibles al calor.

En general la exposición del paquete al flujo térmico es solo de 5 a 8 segundos, por lo que es posible aplicarlos en embases de polietileno de alta densidad, polipropileno y otros, sin que sufran deformación ni afecten el contenido (producto).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PVC

Las **características técnicas** del **PVC**, elasticidad, alargamiento a la rotura, densidades, fricción, resistencia a la rotura al impacto, a la tracción, y temperatura máxima y mínima de trabajo, se muestran en la tabla referentes al **PVC** que aparecen a continuación¹⁰:

⁹ http://www.amiclor.org/index.php?option=com_content&view=article&id=122&Itemid=158

¹⁰ www.plasticbages.com/pvcplastico.html

Tabla 2.3 Propiedades térmicas del PVC

<i>Propiedades Térmicas</i>	
Calor Específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1000-1500
Coefficiente de Expansión Térmica (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	75-100
Conductividad Térmica a 23C (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,12-0,25
Temperatura Máxima de Utilización (C)	50-75
Temperatura Mínima de Utilización (C)	-30
Temperatura de Deflación en Caliente - 0.45MPa (C)	70
Temperatura de Deflación en Caliente - 1.8MPa (C)	67

Fuente: www.plasticbages.com/pvcplastico.html

Tabla 2.4 Propiedades Físicas del PVC

Densidad	1,37 a 1,42 Kg/dm. ³
Coefficiente de dilatación lineal	0,000.060 a 0.000.080 m/°C/m.
Temperatura de ablandamiento	> 80 °C.
Módulo de elasticidad a 20° C	> 28.000 Kg./cm. ²
Tensión de rotura a tracción	> 500 Kg./cm. ²
Fuente: www.plasticbages.com/pvcplastico.html	

2.2.4.1.2.- EL POLIETILENO (PE)

El polietileno de alta densidad (PEHD ó HDPE), está formado por cadenas de moléculas rectas, sin bifurcaciones, por lo que la fuerza de atracción entre moléculas es alta, dando como resultado un plástico duro y resistente y estable, con el se fabrican, cajas para botellas de cerveza, leche y refrescos, algunos envases de productos lácteos y detergentes líquidos.

El polietileno de baja densidad (PELD ó LDPE) por el contrario está formado por cadenas con bifurcaciones, por lo tanto es un material menos resistente y más flexible, se ablanda con el calor; con él se fabrican juguetes, bolsas de plástico, etc.

PELÍCULAS POLIETILENO.- Por su naturaleza requiere más temperatura que el PVC u otros materiales, por lo que las resistencias deben estar preparadas para alcanzar rangos de temperatura entre los 200 a 250 °C en una cabina de largo de entre 90 y 120 cm. dando tiempos promedio de 8 a 12 segundos.

Otra característica del polietileno es que desarrolla la memoria de encogimiento cuando el material sale caliente del horno de la cabina de temperatura. Empieza a cambiar al enfriarse de un estado cristalino a un estado lechoso así como también reconoce su estado original y se contrae en sus medidas, dejando ajustado al producto que envuelve.

Generalmente esta película por ser gruesa se utiliza para envolver paquetes pesados como empaques en cajas de cartón tipo charola conteniendo botellas con agua, solo que el proceso es un poco diferente a los anteriores, en muchos casos se usa la selladora de cortina para unir la película plana de dos bovinas, o bien se usan fundas u otras bolsas selladas.

Sin embargo el polietileno no encoge cuando se calienta, solo se vuelve más cristalino y flexible (cuando esta dentro de la cabina del túnel) y al salir cuando se enfría se contrae en su tamaño ajustado los productos que se contiene en su empaque hasta dejarlos totalmente inmóviles.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL POLIETILENO

Para conocer las características técnicas del polietileno, elasticidad, alargamiento a la rotura, densidades, fricción, resistencia a la rotura al impacto, a la tracción, y temperatura máxima y mínima de trabajo, consulte las tablas referentes al polietileno que aparecen a continuación¹¹:

Tabla 2.5 Propiedades del Polietileno

PROPIEDAD	UNIDAD	NORMA	POLIETILENO (PE)
Alargamiento a la rotura	%	DIN 53455	800
Conductividad térmica	W/Km	DIN 52612	0,43
Coefficiente de dilatación térmica de 20°C a 50°C	m/m K		200·10-6
Coefficiente de Fricción			0,2
Densidad	g/cm ²	DIN 53479	0,95
Dureza a la bola	N/mm ²	DIN 53456	
Dureza "Shore"		DIN 53505	D65
Módulo de elasticidad	N/mm ²	DIN 53457	900
Punto de fusión	°C	ASTM D789	138
Resistencia Superficial		DIN 53482	1·1013
Resistencia al impacto	KJ/m ²	DIN 53453	No es trenca
Resistencia a la tracción	N/mm ²	DIN 53455	28
Temperatura máxima de uso	°C	NORMAL	80
	°C	CON PUNTAS	110
Temperatura mínima de uso	°C		-100

Fuente: www.plasticbages.com/polietileno.html

¹¹www.plasticbages.com/polietileno.html

2.3.- HIPÓTESIS

La implementación del sistema de embalaje en película termoencogible PVC en el departamento de embalaje y despacho reducirá el tiempo de producción en la empresa de productos lácteos LEITO

2.4.-VARIABLES DE ESTUDIO

2.4.1.-VARIABLES INDEPENDIENTES

Embalaje de productos con película termoencogible de PVC

2.4.2.- VARIABLE DEPENDIENTE

Tiempo en proceso de embalaje y despacho de la fábrica de lácteos LEITO.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.- ENFOQUE INVESTIGATIVO

De acuerdo a la producción que realiza la empresa LEITO en la producción de Yogurt, leche pasteurizada, quesos, nuestro estudio tiene un enfoque básicamente en el mejoramiento de la parte final del empaquetamiento del producto listo para el consumo, es por ello que la aplicación del equipo de embalaje, básicamente tiene un enfoque cualitativo, que se da para el embalaje y despacho del producto.

3.2.- NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se trata a un estudio altamente estructurado que responde a la relación Causa – Efecto y que por lo tanto, esta investigación presenta tres tipos de niveles el aplicado, documental y de campo por una parte se aplica los conocimientos adquiridos en base a un marco teórico para verlo aplicado en el campo y mide las relaciones entre variables, de los sujetos de un contexto determinado.

3.3.- POBLACIÓN Y MUESTRA.

Población.- se tomara como población a toda la producción diaria de las presentaciones del producto a embalar.

Muestra.- Debido a que la población es muy grande y variable se tomaran los tiempos de embalaje para presentaciones de yogurt de 50, 100, 200,250, 300,500 gr.

El tamaño de la muestra será de 36 paquetes embalados en proceso semiautomático y 12 en proceso manual.

3.4.- OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.4.1.- VARIABLE INDEPENDIENTE

Embalaje de productos con película termoencogible PVC.

CONCEPTOS	CATEGORÍAS	INDICADORES	ITEMS	INSTRUMENTOS
<p>Podemos definir el embalaje como la cubierta con que se resguardan los objetos que han de transportarse.</p> <p>Se procura conseguir un sistema eficiente para el embalaje y transporte de productos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Embalaje manual. Embalaje semiautomático. 	<ul style="list-style-type: none"> Velocidad de proceso baja. Velocidad de proceso variable. 	<ul style="list-style-type: none"> Velocidad de embalaje menor a 10 paquetes por minuto. Velocidad de embalaje superior a los 20 paquetes por minuto. 	Ficha de campo.

28

3.4.2.- VARIABLE DEPENDIENTE:

Reducción del tiempo en proceso de embalaje y despacho de la fábrica de lácteos LEITO.

CONCEPTOS	CATEGORÍAS	INDICADORES	ITEMS	INSTRUMENTOS
<p>Se entiende que la eficiencia se da cuando se utilizan menos recursos para lograr un mismo objetivo. O al contrario, cuando se logran más objetivos con los mismos o menos recursos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de proceso Óptimo. Tiempo de proceso Inadecuado. 	<ul style="list-style-type: none"> Bajo. Alto. 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de proceso menor de 5 segundos por paquete. Tiempo de proceso mayor a 15 segundos por paquete. 	Ficha de campo.

3.5.- PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Todo trabajo que se aborda desde la seriedad del rigor científico, conlleva una organización sistémica y bajo lineamientos metodológicos que le permitan demostrar las hipótesis, cumplir con los objetivos y llegar a las conclusiones y aportes establecidos como finalidad, tiene que disciplinar el análisis cualitativo con la intención de adquirir la calidad deseada, por ello, los métodos más apropiados y de acuerdo a una visión personal, son los siguientes:

Método Comparativo.- Debido a que el trabajo de investigación pretende establecer un sistema adecuado que se ajuste a las necesidades de la empresa y contribuya con las fases de producción con la fase final del embalaje del producto listo para el consumo, nada mejor que el uso y aplicación de este método a fin de que a lo largo del desarrollo, se vayan demostrando todas las falencias o aciertos de la implementación, estudiando paralelamente el mejoramiento en la etapa de embalaje y despacho en la fábrica de productos lácteos LEITO.

Se determinara dimensiones del paquete.

Para determinar las dimensiones del paquete se considerara los productos a embalar entre los cuales se tiene:

Envases de Yogurt

Presentaciones.- Se tiene envases con capacidad para, 500, 300, 250, 200, 150, 100 gr.

Vasos de Yogurt

Presentaciones.- Se cuenta con vasos de capacidades de 50, 100, 200 g que vienen con un contenido adicional de cereal u hojuelas mismo que se incluye en la altura de la presentación para sus respectivas dimensiones.

Se medirá el tiempo que se demora un paquete de productos en ser embalado en un proceso manual y también el tiempo que se demora con

un proceso semiautomático como lo es el embalaje en película termoencogible todo esto se lo hará mediante la ficha de campo.

3.6.- PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Un proceso de ingeniería puede estudiarse en forma experimental (realización de pruebas y toma de mediciones) o en forma analítica (mediante el análisis o la elaboración de cálculos). El procedimiento experimental tiene la ventaja de que se trabaja con el sistema físico real, y la cantidad deseada se determina por medición, dentro de los límites del error experimental.

El método enunciado, permitirá por lo tanto, establecer un estudio crítico, aportativo, real y verídico que lleve a estudios concluyentes respecto a la efectividad de la implementación de un sistema de embalaje para el mejoramiento del proceso de embalaje.

Se Comparara el tiempo que se demora un paquete de productos en ser embalado en un proceso manual con el tiempo que se demora con un proceso semiautomático como lo es el embalaje en película termoencogible para determinar la reducción en el tiempo de proceso.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1.1.-Dimensiones del paquete.

Para determinar las dimensiones del paquete se consideran los productos a embalar entre los cuales se tiene:

Yogurt Envases

Presentaciones.- Se tiene envases con capacidad para 2000, 1000, 500, 300, 250, 200, 150, 100 gr.

Dentro de la disposición de los embaces en el paquete que se requieren realizar tenemos:

Tabla N° 4-1
Envases de yogurt y sus arreglos¹²

Presentación	Arreglo Columnas x Filas	Dimensiones (mm.) Ancho x largo x altura
2000 gr.	2x3	240x360x250
1000 gr.	2x3	230x345x120
500 gr.	3x2	210x140x190
300 gr.	4x3	230x175x135
250 gr.	4x3	210x158x125
200 gr.	4x3	200x150x110
150 gr.	5x4	275x220x90
100 gr.	5X6	240x288x80
	4x3	192x144x80

Vasos

Presentaciones.- Se cuenta con vasos de capacidades de 50, 100, 200 g que vienen con un contenido adicional de cereal u hojuelas mismo que se incluye en la altura de la presentación para sus respectivas dimensiones.

Dentro de los arreglos que se requiere realizar tenemos:

Tabla N° 4-2
Vasos de yogurt y sus arreglos ¹²

Presentación	Arreglo Columnas x Filas	Dimensiones (mm.) Ancho x largo x altura
50 gr.	3x4	250x330x65
100 gr.	3x4	250x330x100
200 gr.	3x4	250x330x130

Botellas de Refrescos

Presentaciones.- estas vienen en botellas de 500 cm³ en dos sabores que son naranjada y limonada

Dentro de los arreglos que se requieren realizar tenemos:

Tabla N° 4-3
Botellas de refresco¹²

Presentación	Arreglo Columnas x Filas	Dimensiones (mm.) Ancho x largo x altura
500 cm ³	4x3	265x200x210

¹² Datos de arreglos requeridos por la empresa de productos lácteos Leito.

4.1.2.- Características y selección del material de operación.

Del marco teórico a lo que termoplásticos se refiere podemos determinar las características del material que se usara en el embalaje es decir el material de operación que se resume en el cuadro a continuación:

Tabla N° 4-4

Propiedades de los termoplásticos utilizados en el embalaje de productos

Termoplásticos	Rango de temperatura de encogimiento (°C)	Rango de tiempos de exposición (s)
PVC	80 – 200	5 – 8
Polietileno	120 – 250	8 – 12

Fuente: Datos obtenidos del marco teórico págs. 21, 23, 24

Como lo indica la teoría la temperatura de contracción del Cloruro de Polivinilo (PVC) a diferencia de otros plásticos o materiales como por ejemplo el polietileno se logra desde 80 °C, característica importante para productos sensibles al calor como es el caso de los lácteos.

En general la exposición del paquete al flujo térmico es apenas de 5 a 8 segundos por lo que es posible aplicarlos en embases de polietileno de alta densidad, Polipropileno y otros, sin que sufran deformación ni afecten el contenido es decir el producto.

Es por estas características que el material que seleccionaremos para utilizarlo en el embalaje es el **PVC**

4.1.3.- DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE PROCESO DE EMBALAJE SEMIAUTOMÁTICO.

Tabla N° 4 – 5 Embalaje en el túnel de termo contracción

Velocidad	Presentación cc	Tiempo (seg.)	
Velocidad mínima de operación (6 metros por minuto (m/min))	50	20	
		21	
	100	22	
		21	
	200	28	
		30	
	250	28	
		29	
	300	30	
		28	
	500	20	
		20	
	Velocidad óptima de operación (96 metros por minuto (m/min))	50	16
			17
100		17	
		18	
200		24	
		23	
250		24	
		22	
300		23	
		24	
500		16	
		16	
Velocidad máxima de operación (12 6 metros por minuto (m/min))		50	15
			15
	100	16	
		14	
	200	23	
		22	
	250	22	
		23	
	300	22	
		22	
	500	15	
		15	

Fuente: Datos proporcionados por las empresa de lácteos El Ranchito

4.1.4.- DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE PROCESO DE EMBALAJE MANUAL

Tabla N° 4 – 6 Embalaje en forma manual

Velocidad	Presentación cc	Tiempo (seg.)
Un embalador	50	30
		26
	100	31
		30
	200	34
		35
	250	33
		33
	300	34
		33
	500	18
		18

Fuente: Datos proporcionados por las empresa de lácteos LEITO

4.2.- INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.2.1.- DIMENSIONES SIGNIFICATIVAS

De las tablas 4-1, 4-2, 4-3 se puede observar que Las mayores dimensiones que se pueden presentar en este tipo de productos; aunque esto no quiere decir que nos refiramos a una presentación en particular sino que tomamos en cuenta las dimensiones más significativas indistintamente de cada paquete que son: ancho largo y altura siendo estas las siguientes 275x360x250mm.

4.2.2.-CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL SELECCIONADO DE OPERACIÓN.

Tabla N° 4 – 7

Rangos de temperatura y tiempo para PVC

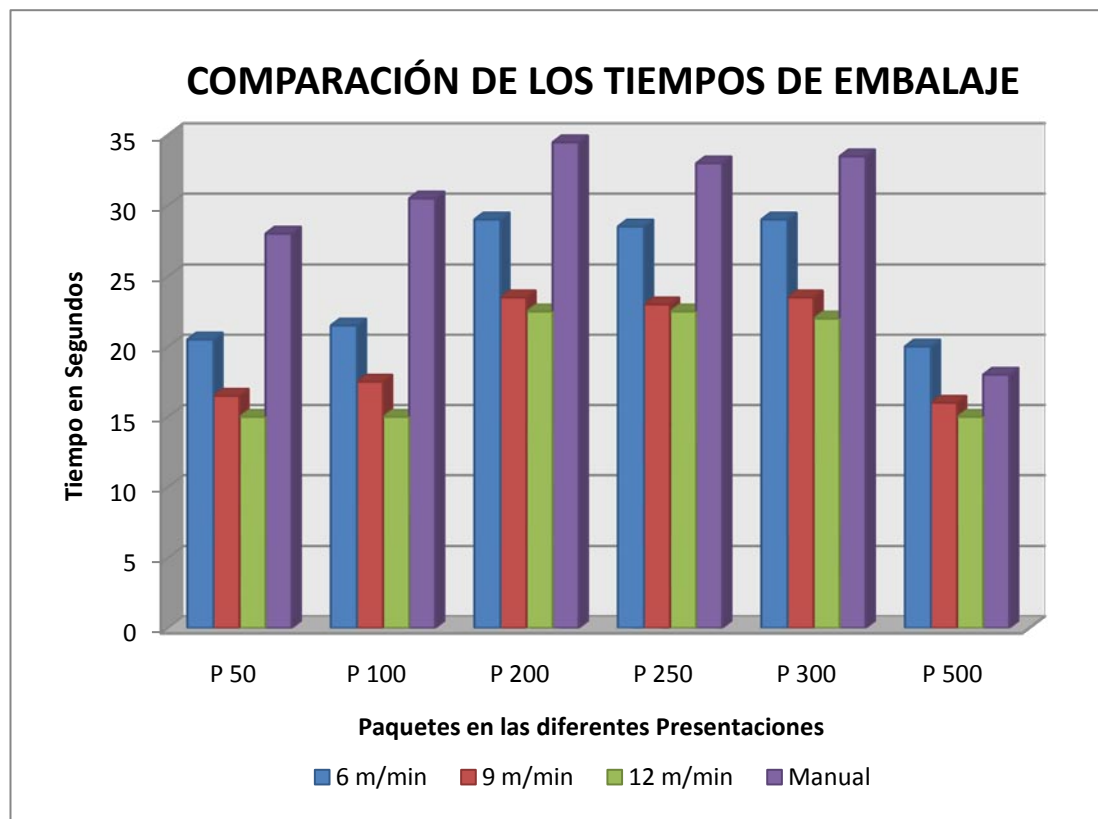
Material	P.V.C.
Rango de temperatura de encogimiento (°C)	80 – 200 °C
Rango de tiempos de exposición (s)	5 – 8 seg.

Fuete: datos obtenidos del marco teórico págs. 21,23

4.2.3.- COMPARACIÓN DE LOS TIEMPOS DE EMBALAJE

Los resultados de las tablas 4-5 y 4-6 se representan gráficamente

Gráfica 4.1



De la gráfica se puede observar que los tiempos empleados en el embalaje de productos con el método semiautomático son sustancialmente más bajos que el tiempo empleado con el proceso manual, también en su mayoría hay más optimización de tiempo incluso en la velocidad mínima de operación del equipo semiautomático.

4.3.-VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Una vez concluido el estudio se puede afirmar que el embalaje manual no es el más práctico ya que el operario no lograra un paquete compacto y seguro que garantice la integridad del embase o producto a mas de esto se puede verificar que existe un ahorro de tiempo promedio aproximadamente de un 42% esto hace que el proceso de embalado del producto sea mucho más rápido y eficaz, con la implementación del sistema de embalaje con película termoencogible. Logrando la optimización del tiempo establecido para el despacho de productos entregándonos así paquetes compactos resistentes, situación que ayudara a reducir radicalmente las pérdidas de producto en el transporte y cuidara la integridad del mismo así como también su presentación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- CONCLUSIONES.-

- ✓ Del presente estudio se concluye que el sistema de embalaje con la película termoencogible resulta ser el proceso más eficaz puesto que se logra el efecto deseado, disminuyendo el tiempo en aproximadamente en un intervalo del 30 al 40% según la gráfica 4.1 para los distintos tipos de presentación.
- ✓ De acuerdo con los datos de la tabla 4 – 4 se concluye que el material más adecuado para el embalaje de productos termo sensibles como los lácteos es el PVC por su bajo intervalo de tiempo y temperaturas de emcogimiento
- ✓ Este sistema lograr envoltorios mas compactos y resistentes reduciendo así las pérdidas de producto al ser transportadas puesto que la manera en la que se realizaba el embalaje era una de las razones por las cuales se producían dichas pérdidas de producto.

5.2.- RECOMENDACIONES.-

- ✓ Debido a que el sistema de embalaje con película termoencogible resulta ser útil para la empresa se recomienda que la empresa LEITO implemente el túnel de termo contracción para mejorar el tiempo de producción y la calidad visual del producto.
- ✓ Se recomienda a la empresa LEITO que en lo posible se utilice como material de embalaje la película de PVC puesto que es el más adecuado para productos termo sensibles como los lácteos.
- ✓ Dada la utilización de este tipo de equipos que operan con resistencias eléctricas dentro de la industria, se tiene la ventaja de que se mejora las condiciones ambientales en los alrededores donde el equipo trabaja. Se tiene una mayor adaptabilidad dentro de las líneas de Producción dentro de las industrias que utilizan este método de embalaje.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1.- DATOS INFORMATIVOS

Título:

Diseño de un túnel de termo contracción para película termoencogible PVC. con la finalidad de reducir tiempo de proceso en embalaje en la fábrica de lácteos LEITO en Salcedo

Beneficiario

Este trabajo está dirigido a dar solución a los problemas de la última etapa de producción como es la de embalaje y despacho de la fábrica de productos lácteos LEITO.

Ubicación:

La fábrica de productos lácteos LEITO está ubicada en la provincia de Cotopaxi en la ciudad de Salcedo Panamericana norte Km. 3

Equipo técnico responsable:

- Tutor
- Investigador.
- Operarios del departamento de embalaje (LEITO).

6.2.- ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Del estudio de embalaje de productos con película termoencogible PVC en la empresa LEITO para reducir tiempo de producción se concluyo que el proceso de embalaje en película termoencogible PVC resulta ser el proceso más eficaz puesto que se logra el efecto deseado que es optimizar el tiempo y lograr paquetes mas compactos y resistentes reduciendo así las pérdidas de producto al ser transportadas puesto que la manera en la que se realizaba el embalaje era una de las razones por las cuales se producían dichas pérdidas de producto.

El equipo al ser semiautomático logrará la optimización del tiempo establecido para el despacho de productos además que este tipo de equipos mejora las condiciones de trabajo ya que tiene una mayor adaptabilidad a las líneas de producción dentro de las industrias que utilizan este método de embalaje.

6.3.- JUSTIFICACIÓN DE SOLUCIÓN

Con el constante progreso de la empresa fabricante de productos lácteos ubicada en la ciudad de Salcedo “LEITO”, surge la necesidad de adquirir nuevos equipos para algunos de sus procesos y uno de estos equipos es el túnel de termo contracción utilizado en el proceso de embalaje de producto para su posterior despacho. Debido al costo del equipo para adquirirlo en el exterior no ha sido posible su compra por lo que se ha visto la posibilidad de construirlo en el país.

Al realizar el diseño del túnel de termo contracción con ingeniería local se espera adecuar a las necesidades de la empresa tanto en producción diaria así como en el costo de adquisición y operación, que en equipos importados especialmente en lo que respecta a producción son de demasiada capacidad para la demanda que tiene la empresa.

Con el fin de lograr un diseño que se ajuste a las necesidades de la empresa en cuanto a producción y operación se visitaran algunas empresas que cuentan con estos equipos y se observaran algunos catálogos de este tipo de equipos ofertados por internet así como experiencias de otros diseños realizados en el país para luego de algunas consideraciones establecer un modelo similar.

6.4.- OBJETIVOS

6.4.1.- GENERAL

- ✓ Diseñar un túnel de termo contracción para PVC con la finalidad de reducir tiempo de proceso en el empaqueo de productos lácteos en la fábrica LEITO del cantón Salcedo.

6.4.2.- ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar las características para el diseño de la transportadora que cumpla con la producción requerida por la empresa.
- ✓ Definir las dimensiones que debe tener el túnel de termo contracción en función de las necesidades y requerimientos de la empresa.
- ✓ Determinar los materiales así como los accesorios adecuados para la construcción del túnel de termo contracción.

6.5.- ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Debido a las nuevas tendencias y desarrollo industrial resulta más rentable invertir en mejorar los procesos de producción que dejar de producir o producir menos aunque la inversión inicial resulte abultada a la larga los beneficios se verán reflejados en el incremento de las ventas es por esta razón que invertir en mejorar la última fase de la producción como lo es la del embalaje o empaquetamientos de productos mejorara la rentabilidad a mas de evitar o reducir las pérdidas de producto cuando pasan o salen de esta etapa.

Frente a la realidad de la fábrica implementar un sistema de embalaje por termo contracción es factible puesto que ayudara a optimizar el tiempo destinado para esta etapa a mas de algunos beneficios más.

6.6.- FUNDAMENTACIÓN

El principio fundamental en el que se basa el túnel de termo contracción es la transferencia de calor a un material con memoria termoplástica que tienden a contraerse al aplicársele calor estos materiales son la base del método de embalaje encogible.

6.6.1.- TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA INGENIERÍA

“Una definición sencilla, aunque general, da respuesta suficiente a la pregunta ¿Qué es Transferencia de calor?

Transferencia de calor (o calor) es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas.

Siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor.”¹³

“El equipo de transferencia de calor como los intercambiadores de calor, las calderas, los condensadores, los radiadores, los calentadores, *los hornos*, los refrigeradores y los colectores solares está diseñado tomando en cuenta el análisis de la transferencia de calor. Los problemas de esta ciencia que se encuentran en la práctica se pueden considerar en dos grupos:

1) de capacidad nominal y

2) de dimensionamiento

Los problemas de capacidad nominal tratan de la determinación de la razón de la transferencia de calor para un sistema existente a una diferencia específica de temperatura. Los problemas de dimensionamiento tratan con la determinación del tamaño de un sistema con el fin de transferir calor a una razón determinada para una diferencia específica de temperatura.

Un aparato o proceso de ingeniería puede estudiarse en forma experimental (realización de pruebas y toma de mediciones) o en forma analítica (mediante el análisis o la elaboración de cálculos). El procedimiento experimental tiene la ventaja de que se trabaja con el sistema físico real, y la cantidad deseada se determina por medición, dentro de los límites del error experimental. Sin embargo, este procedimiento es caro, tardado y, con frecuencia, impráctico.

Además, el sistema que se está analizando puede incluso no existir. Por ejemplo, por lo regular, los sistemas completos de calefacción y de plomería de un edificio deben dimensionarse a partir de las

¹³ Frank P. Incropera “Fundamentos de transferencia de calor” Pág. 2

especificaciones dadas antes que el edificio se construya en realidad. El procedimiento analítico (que incluye el procedimiento numérico tiene la ventaja de que es rápido y barato, pero los resultados obtenidos están sujetos a la exactitud de las suposiciones, de las aproximaciones y de las idealizaciones establecidas en el análisis. En los estudios de ingeniería, es frecuente que se logre un buen término medio al reducir los posibles diseños a unos cuantos, por medio del análisis, y verificando después en forma experimental los hallazgos”.¹⁴

6.6.1.1.- MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

“Se define el calor como la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura.

Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esas transferencias de energía es la transferencia de calor. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura.

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja.”¹⁵

¹⁴Yunus A. Cengel “Transferencia de calor y masa” Pág. 4,5

¹⁵Yunus A. Cengel “Transferencia de calor y masa” Pág. 17

6.6.1.1.1.- CONDUCCIÓN

“A la palabra conducción debemos evocar de inmediato conceptos de actividad atómica, pues hay procesos en estos niveles que sustentan este modo de transferencia de calor. La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a la interacción entre las mismas.

El mecanismo físico de la conducción se explica más fácilmente considerando un gas y usando ideas que le sean familiares propias de la experiencia en termodinámica.

Piense en un gas en el que existe un gradiente de temperatura y suponga que no hay movimiento global, el gas puede ocupar los espacios entre dos superficies que se mantienen a diferentes temperaturas.

Asociamos la temperatura a cualquier punto con la energía de las moléculas del gas en la proximidad del punto. Esta energía está relacionada con el movimiento traslacional aleatorio, así como con los movimientos de rotación y vibratorios de las molécula.

Las temperaturas más altas se asocian con las energías moleculares más alta y, cuando las moléculas vecinas chocan, como lo hacen constantemente, debe ocurrir una transferencia de energía de las moléculas más energéticas a las menos energéticas. En presencia de un gradiente de temperatura, la transferencia de energía por conducción debe ocurrir entonces en dirección de la temperatura decreciente.

La situación es muy similar en los líquidos, aunque las moléculas están menos espaciadas y las interacciones moleculares son más fuertes y frecuentes de igual manera, en un sólido, la conducción se atribuye a la actividad atómica en forma de vibraciones reticulares. El punto de vista moderno es atribuir la transferencia de energía a ondas reticulares inducidas por el movimiento atómico, En un no conductor, la transferencia de energía se da exclusivamente por la vía de estas ondas reticulares; en

un conductor, la transferencia de energía también se debe al movimiento de traslación de los electrones libres.

Es posible cuantificar los procesos de transferencia de calos en términos de las ecuaciones o modelos apropiados. Estos modelos o ecuaciones sirven para cuantificar la cantidad de energía que se transfiere por unidad de tiempo, para la conducción de calor, la ecuación o modelo se conoce como ley de Fourier. Para la pared plana unidimensional que se muestra en la figura 6.1 la cual tiene una distribución de temperatura $T(x)$, la ecuación o modelo se expresa como:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (6.1)$$

Donde:

q_x'' = flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área (W/m^2)

k = Conductividad térmica ($W/m \cdot K$)

dT = Gradiente de temperatura ($^{\circ}C$)

dx = diferencial de distancia.

La ecuación nos muestra la velocidad con la que se transfiere el calor en la dirección x por área unitaria perpendicular a la dirección de transferencia, y es proporcional al gradiente de temperatura, dT/dx en esta dirección. La constante de proporcionalidad, es una propiedad de transporte conocida como Conductividad térmica y es una característica del material de la pared. El signo menos es una consecuencia del hecho de que el calor se transfiere en dirección de la temperatura decreciente. En las condiciones de estado estable que se muestra en la figura 6.1 donde la distribución de temperatura es lineal el gradiente de temperatura se expresa como:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (6.1.1)$$

y el flujo de calor es entonces

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (6.1.2)$$

o

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \cdot \frac{\Delta T}{L} \quad (6.2)$$

Donde:

q_x'' = Flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área (W/m²)

T_1 = temperatura interna (°C)

T_2 = Temperatura Externa (°C)

k = Conductividad térmica (W/m. K)

ΔT = Diferencia de temperaturas (°C)

L = Espesor de la pared (m)

Observe que esta ecuación proporciona un flujo de calor, es decir, la velocidad del calor transferido por unidad de área. El calor transferido por conducción por unidad de tiempo, Q_x (W), a través de una pared plana de área A , es entonces el producto del flujo y el área:¹⁶

$$Q_x = A \cdot q_x'' = A \cdot k \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (6.3)$$

Donde:

Q_x = Calor transferido por conducción por unidad de tiempo (W)

¹⁶ Frank P. Incropera "Fundamentos de transferencia de calor" Pág. 3,4

A = Área de Conducción (m^2)
 T_1 = Temperatura interna ($^{\circ}C$)
 T_2 = Temperatura Externa ($^{\circ}C$)
 k = Conductividad térmica ($W/m \cdot K$)
 L = Espesor de la pared (m)

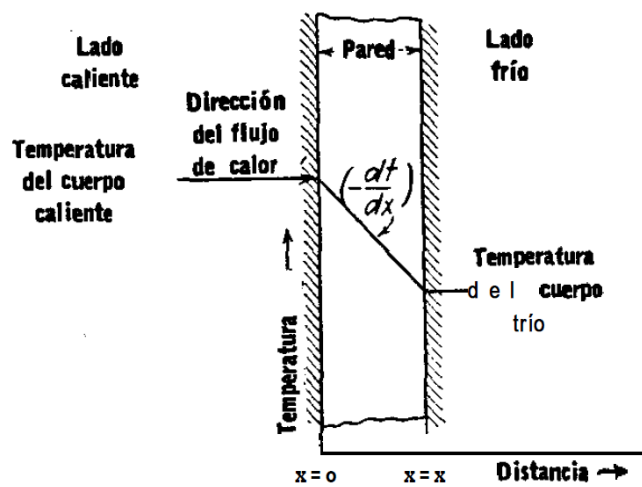


Figura 6.1 Flujo de calor a través de una pared¹⁷

El concepto de resistencia térmica.

“La ecuación 6.3 para la conducción de calor a través de una pared plana se puede reacomodar para tener:

$$Q_{cond.pared} = \frac{T_1 - T_2}{R_{pared}} \quad (6.4)$$

Donde:

R_{pared} = Resistencia térmica de la pared ($^{\circ}C/W$)

T_1 = Temperatura interna ($^{\circ}C$)

T_2 = Temperatura Externa ($^{\circ}C$)

¹⁷ Donald Q. Kern “Procesos de transferencia de calor” Pág. 14

$$R_{pared} = \frac{L}{kA} \quad (6.5)$$

Donde:

R_{pared} = Resistencia térmica de la pared (°C/W)

A = Área de Conducción (m²)

k = Conductividad térmica (W/m. K)

L = espesor de la pared.

R_{pared} Es la resistencia térmica de la pared en contra de la conducción de calor o simplemente la resistencia a la conducción de la pared. Note que la resistencia térmica de un medio depende de la configuración geométrica y de las propiedades térmicas del medio.

Considere la transferencia de calor por convección de una superficie sólida de área A_s y temperatura T_s hacia un fluido cuya temperatura en un punto suficientemente lejos de la superficie es T_∞ , con un coeficiente de transferencia de calor por convección h . La ley de Newton del enfriamiento para la razón de transferencia de calor por convección $Q_{conv} = A_s \cdot h (T_\infty - T_s)$ se puede reacomodar para obtener¹⁸:

$$Q_{conv} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{conv}} \quad (6.6)$$

Dónde:

Q_{conv} = Transferencia de calor por convección (W).

T_s = Temperatura Superficial (°C)

T_∞ = Temperatura del Fluido (°C)

R_{conv} = Resistencia a la convección (°C/W)

Y

¹⁸Yunus A. Cengel “Transferencia de calor y masa” Pág. 133

$$R_{conv.} = \frac{1}{hA_s} \quad (6.7)$$

Dónde:

R_{conv} = Resistencia a la convección ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

A_s = Área de la superficie solida

h = coeficiente de transferencia de calor por convección ($\text{W}\cdot\text{m}^2/\text{K}$)

“Con sistemas compuestos suele ser conveniente trabajar con un coeficiente global de transferencia de calor, U , que se define con una expresión análoga a la ley de enfriamiento de Newton. En consecuencia se tiene:

$$Q_x = UA\Delta T \quad (6.8)$$

Dónde:

Q = transferencia de calor (W)

U = coeficiente global de transferencia de calor ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{K}}$)

A = área de transferencia de calor (m^2)

ΔT = diferencia total de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

El coeficiente global de transferencia de calor se relación con la resistencia térmica total. De aquí que para pared compuesta se tiene que”¹⁹:

$$U = \frac{1}{R_{total} A} \quad (6.9)$$

¹⁹ Frank P. Incropera “Fundamentos de transferencia de calor” Pág. 78

Donde:

U = coeficiente global de transferencia de calor ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$)

A = área de transferencia de calor (m^2)

R_{total} = Resistencia total ($^\circ C/W$)

En general se puede escribir.

$$R_{total} = \sum R = \frac{\Delta T}{Q} = \frac{1}{UA} \quad (6.10)$$

Donde:

R_{Total} = Resistencia total ($^\circ C/W$)

$\sum R$ = Sumatoria de todas las resistencias

ΔT = diferencia de temperaturas ($^\circ C$).

Q = transferencia de calor (W)

U = coeficiente global de transferencia de calor ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$)

A = área de transferencia de calor (m^2)

6.6.1.1.2.- CONVECCIÓN

“El modo de transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos. Además de la transferencia de energía debido al movimiento molecular aleatorio (difusión) la energía también se transfiere mediante el movimiento global, o macroscópico del fluido. El movimiento del fluido se asocia con el hecho de que, en cualquier instante, grandes números de moléculas se mueven colectivamente o como agregados. Tal movimiento, en presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor. Como las moléculas en el agregado mantienen su movimiento aleatorio, la transferencia total de calor se debe entonces a una superposición de transporte de energía por el movimiento aleatorio de las moléculas y por el movimiento global del fluido.

Estamos especialmente interesados en el transporte de calor por convección que ocurre entre un fluido en movimiento y una superficie limitante cuando estos tienen diferentes temperaturas. Considere el flujo del fluido sobre la superficie calentada de la figura 6.2 una consecuencia de la interacción fluido – superficie es el desarrollo de una región en el fluido en la que la velocidad varia de cero en la superficie a un valor finito asociado con el flujo. Esta región del fluido se conoce como capa límite hidrodinámica o de velocidad. Más aun si las temperaturas de las superficie y del fluido difieren, habrá una región del fluido a través de la cual la temperatura varia de T_s en $y = 0$ a T_∞ en el flujo exterior. Esta región determinada capa limite térmica, puede ser más pequeña, mas grande o del mismo tamaño que aquella en la que varia la velocidad. En cualquier caso, si $T_s > T_\infty$, ocurrirá la transferencia de calor por convección entre la superficie y el flujo exterior.

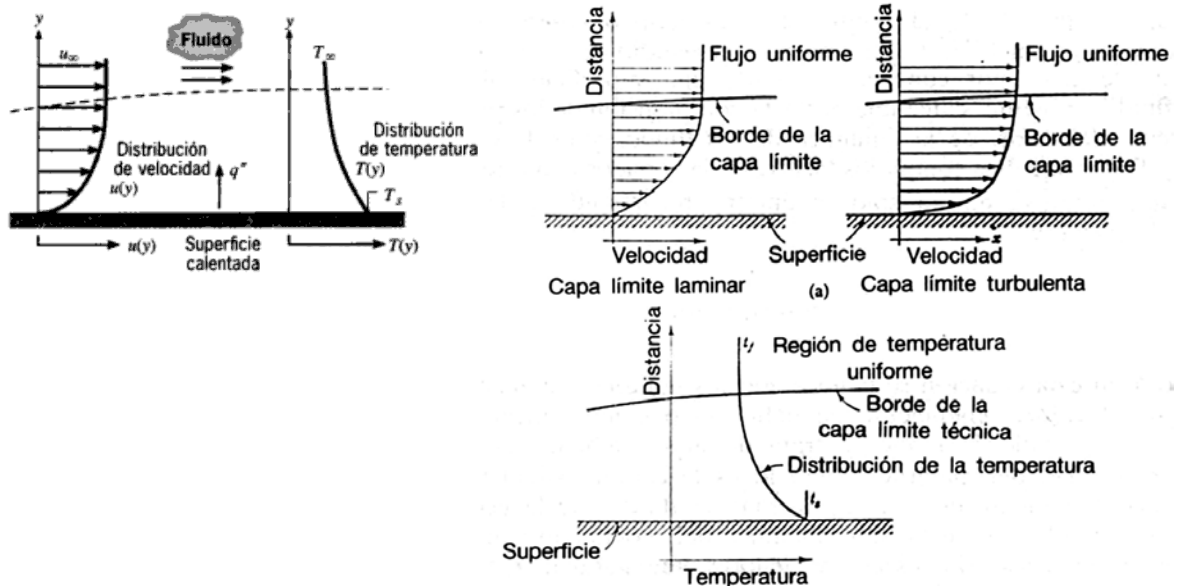


Figura 6.2 Desarrollo de la capa límite en la transferencia de calor por convección²⁰

²⁰ ALAN J. CHAPMAN (1990), "Transmisión de calor", Pág. 13

“El modo de transferencia de calor por convección se sustenta tanto en el movimiento molecular aleatorio como en el movimiento volumétrico del fluido en la capa límite. La contribución debida al movimiento molecular aleatorio (difusión) domina cerca de la superficie donde la velocidad del fluido es baja. De hecho, en la interfaz entre la superficie y el fluido ($y = 0$), la velocidad del fluido es cero y el calor se transfiere sólo por este mecanismo. La contribución debida al movimiento volumétrico del fluido se origina del hecho de que la capa límite crece a medida que el flujo avanza en la dirección x . En efecto, el calor que se conduce en esta capa es arrastrado corriente abajo y finalmente se transfiere al fluido fuera de la capa límite. La apreciación de los fenómenos de la capa límite es esencial para la comprensión de la transferencia de calor por convección.

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo. Hablamos de convección forzada cuando el flujo es causado por medios externos, como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos.

Sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor por convección, la ecuación o modelo apropiado es de la forma:

$$q'' = h (T_s - T_\infty) \quad (6.11)$$

Donde:

q'' = flujo de calor por convección (W/m^2),

h = coeficiente de transferencia de calor por convección ($W.m^2/K$)

T_s = Temperatura Superficial ($^{\circ}C$)

T_∞ = Temperatura del Fluido ($^{\circ}C$)

Es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y del fluido, T_s y T_∞ , respectivamente. Esta expresión se conoce como la ley de enfriamiento de Newton, y la constante de proporcionalidad h (W/m^2K) se denomina coeficiente de transferencia de calor por

convección. Éste depende de las condiciones en la capa límite, en las que influyen la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y una variedad de propiedades termodinámicas del fluido y de transporte.

Cuando se usa la ecuación $q'' = h(T_s - T_\infty)$, se supone que el flujo de calor por convección es positivo si el calor se transfiere desde la superficie ($T_s > T_\infty$) y negativo si el calor se transfiere hacia la superficie ($T_\infty > T_s$). Sin embargo, si $T_\infty > T_s$, no hay nada que nos impida expresar la ley de enfriamiento de Newton como:

$$q'' = h(T_\infty - T_s) \quad (6.11)$$

Donde:

q'' = flujo de calor por convección (W/m^2),

h = coeficiente de transferencia de calor por convección ($W.m^2/K$)

T_s = Temperatura Superficial ($^{\circ}C$)

T_∞ = Temperatura del Fluido ($^{\circ}C$)

en cuyo caso la transferencia de calor es positiva si es hacia la superficie²¹.

$$Q_{conv} = A \cdot q'' = A \cdot h(T_\infty - T_s) \quad (6.12)$$

Donde:

A_s = Área de la superficie sólida (m^2)

q'' = flujo de calor por convección (W/m^2)

h = coeficiente de transferencia de calor por convección ($W.m^2/K$)

Q_{conv} = Transferencia de calor por convección (W).

T_s = Temperatura Superficial ($^{\circ}C$)

²¹ Frank P. Incropera "Fundamentos de transferencia de calor" Pág. 5 - 8

T_{∞} = Temperatura del Fluido ($^{\circ}\text{C}$)

Número de Nusselt.

“En los estudios sobre convección, es práctica común quitar las dimensiones de las ecuaciones que rigen y combinar las variables, las cuales se agrupan en números adimensionales, con el fin de reducir el número de variables totales.

También es práctica común quitar las dimensiones del coeficiente de transferencia de calor h con el número de Nusselt, que se define como:

$$Nu = \frac{hL_c}{k} \quad (6.13)$$

Donde:

Nu = Número de Nusselt (adimensional)

h = coeficiente de transferencia de calor por convección ($\text{W}\cdot\text{m}^2/\text{K}$)

L_c = longitud característica. (m)

k = conductividad térmica del fluido ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)

Este número recibió el nombre en honor de Wilhelm Nusselt, quien realizó contribuciones significativas a la transferencia de calor por convección durante la primera mitad del siglo XX, y se concibió como el coeficiente adimensional de transferencia de calor por convección.

Para comprender el significado físico del número de Nusselt, considere una capa de fluido de espesor L y diferencia de temperatura $\Delta T = T_2 - T_1$ como se muestra en la figura 6.3. La transferencia de calor a través de la capa de fluido será por convección cuando esta última tenga algún movimiento y por conducción cuando esté inmóvil. En cualquiera de los dos

casos, el flujo de calor (la velocidad de transferencia de calor por unidad de tiempo por unidad de área superficial) es²²:

$$Q_{conv} = h\Delta T \quad y \quad Q_{cond} = k\Delta T/L$$

Al dividir Ambas ecuaciones da:

$$\frac{Q_{conv}}{Q_{cond}} = \frac{h\Delta T}{k\Delta T/L} = \frac{hL}{k} = Nu$$

Lo cual es el número de Nusselt

Número de Prandtl

“La mejor manera de describir el espesor relativo de las capas límite de velocidad y térmica es por medio del parámetro número de Prandtl a dimensional, definido como:

$$P_r = \frac{\text{Difusividad molecular de la cantidad de movimiento}}{\text{Difusividad molecular del calor}} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k} \quad (6.14)$$

Donde:

P_r = Número de Prandtl (a dimensional)

μ = Viscosidad dinámica (Kg/m.s)

C_p = Calor específico (J.Kg-1. °K-1)

k = conductividad térmica del fluido ($W m^{-1} K^{-1}$).

ν = Difusividad molecular de la cantidad de movimiento ($W m^{-1} K^{-1}$).

α = Difusividad térmica ($W m^{-1} K^{-1}$).

Su nombre se debe a Ludwig Prandtl, quien introdujo el concepto de capa límite en 1904, y realizó colaboraciones significativas a la teoría de la

²²Yunus A. Cengel “Transferencia de calor y masa”, Pág. 358

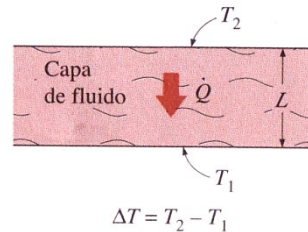


Figura 6.3 Transferencia de calor a través de una capa de fluido de espesor L y diferencia de temperatura ΔT.

capa límite. Los números de Prandtl de los fluidos van desde menos de 0.01 para los metales líquidos, hasta más de 100 000 para los aceites pesados (tabla 6.1). Nótese que el número de Prandtl es del orden de 10 para el agua.

Los números de Prandtl para los gases son de alrededor de 1, lo cual indica que tanto la cantidad de movimiento como el calor se disipan a través del fluido a más o menos la misma velocidad. El calor se difunde con mucha rapidez en los metales líquidos ($Pr \ll 1$) y con mucha lentitud en los aceites ($Pr \gg 1$) en relación con la cantidad de movimiento. Como consecuencia, la capa límite térmica es mucho más gruesa para los metales líquidos y mucho más delgada para los aceites, en relación con la capa límite de la velocidad”.²³

Tabla 6.1

Rangos típicos de los números de Prandtl para los fluidos comunes

Fluidos	Pr
Metales Líquidos	0,004 – 0,030
Gases	0,7 – 1,0
Agua	1,7 – 13,7
Fluidos orgánicos ligeros	5 - 50
Aceites	50 – 100 000
Glicerina	2 000 – 100 000

Fuente: Datos obtenida de Transferencia de calor y masa Yunus A. Cengel Tabla 6 - 2

Flujo laminar y turbulento.

“El flujo en un tubo puede ser laminar o turbulento, dependiendo de las condiciones del mismo. El flujo de fluidos sigue líneas de corriente y, como consecuencia, es laminar a velocidades bajas, pero se vuelve turbulento conforme se incrementa la velocidad más allá de un valor

²³ Yunus A. Cengel “Transferencia de calor y masa”, Pág. 365

crítico. La transición de flujo laminar a turbulento no ocurre de manera repentina; más bien, se presenta sobre algún intervalo de velocidad, donde el flujo fluctúa entre laminar y turbulento antes de volverse por completo turbulento. La mayor parte de los flujos, en tubos que se encuentran en la práctica son turbulentos. El flujo laminar se encuentra cuando fluidos intensamente viscosos, como los aceites, fluyen en tubos de diámetro pequeño o pasos angostos.

Para el flujo en un tubo circular, el número de Reynolds se define como²⁴:

$$Re = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu} = \frac{V_{prom} D}{\nu} \quad (6.15)$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

V_{prom} = Velocidad promedio del flujo. (m/s)

D = Diámetro del tubo (m)

$\nu = \mu/\rho$ = Viscosidad cinemática del fluido

μ = Viscosidad dinámica (Kg/m.s)

ρ = Densidad (Kg/m³)

“Como la velocidad media varia sobre la sección transversal y no hay un flujo libre bien definido es necesario trabajar con una velocidad media cuando se trata con flujos internos. Esta velocidad se define de modo que cuando se multiplica por la densidad de fluido ρ y por el Área de sección transversal del tubo A_c , proporciona el flujo de masa a través del tubo de aquí:

$$\dot{m} = \rho V_{prom} A_c \quad (6.16)$$

²⁴Yunus A. Cengel “Transferencia de calor y masa”, Pág. 454

Donde:

\dot{m} = Flujo de masa de la carga [Kg/s]

ρ = Densidad del fluido Kg/m³

$V_{prom.}$ = Velocidad promedio del flujo. (m/s)

A_c = Área de sección Transversal (m²)

Es evidente que para el flujo en un tubo ($A_c = \pi D^2 / 4$), el número de Reynolds se reduce a²⁵:

$$Re = \frac{4 * \dot{m}}{\pi D \mu} \quad (6.17)$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

\dot{m} = Flujo de masa de la carga [Kg/s]

D = Diámetro del tubo (m)

μ = Viscosidad dinámica (Kg/m.s)

“Para el flujo por tubos no circulares, el número de Reynolds así como el número de Nusselt se basan en el diámetro hidráulico D definido como²⁶:

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \quad (6.18)$$

Donde:

A_c = Área de sección Transversal del Tubo (m²)

P = Perímetro de sección Transversal del Tubo (m).

D_h = Diámetro Hidráulico (m).

²⁵ Frank P. Incropera “Fundamentos de transferencia de calor”, Pág. 421, 422.

²⁶ Yunus A. Cengel “Transferencia de calor y masa”, Pág. 454

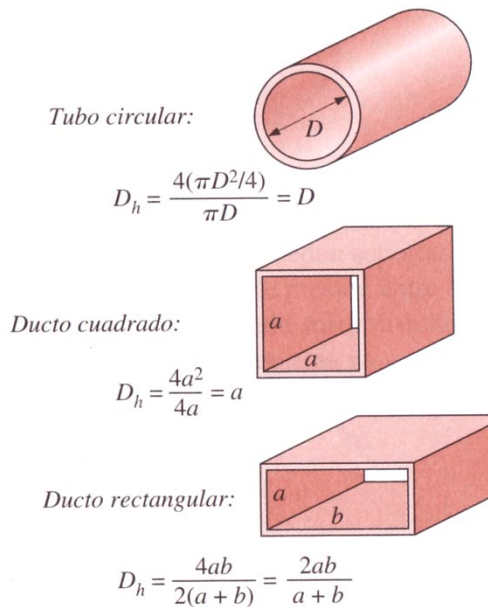


FIGURA 6.4

El diámetro hidráulico $D_h = 4A_c/p$ se define en tal forma que se reduce al diámetro común para los tubos circulares.

Flujo turbulento en tubos.

“El flujo en los tubos lisos es completamente turbulento para $Re > 10\,000$. El flujo turbulento se utiliza de manera común en la práctica debido a los coeficientes más altos de transferencia de calor asociados con él. La mayor parte de las correlaciones para los coeficientes de fricción y de transferencia de calor en el flujo turbulento se basan en estudios experimentales debido a la dificultad de trabajar en forma teórica con este tipo de flujo.

Para los tubos lisos, el factor de fricción en el flujo turbulento se puede determinar a partir de la primera ecuación de Petukhov explícita [Petukhov (1970)], dada como:

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad 3\,000 < Re < 5 \times 10^6 \quad (6.19)$$

El número de Nusselt en el flujo turbulento está relacionado con el factor de fricción a través de la analogía de Chilton - Colburn, expresada como:

$$Nu = 0.125 f Re Pr^{1/3} \quad (6.20)$$

Donde:

f = factor de fricción

Nu = número de Nusselt.

Re = número de Reynolds.

Pr = número de Prandtl

Una vez que se cuenta con el factor de fricción se puede usar esta ecuación de manera conveniente con el fin de evaluar el número de Nusselt tanto para los tubos lisos como para los ásperos.

Para el flujo turbulento completamente desarrollado en tubos lisos, se puede obtener una relación simple para el número de Nusselt al sustituir en la ecuación $Nu = 0.125 f Re Pr^{1/3}$ de la simple relación de la ley de potencia $f = 0.184 Re^{-0.2}$ para el factor de fricción. Esto da:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3} \quad (6.21)$$

Donde:

Nu = número de Nusselt.

Re = número de Reynolds.

Pr = número de Prandtl

La cual se conoce como la ecuación de Colburn. Se puede mejorar la precisión de esta ecuación al modificarla como:

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^n \quad (6.22)$$

Donde:

Nu = número de Nusselt.

Re = número de Reynolds.

Pr = número de Prandtl

Donde n = 0.4 para el calentamiento y 0.3 para el enfriamiento del fluido que fluye por el tubo. Esta ecuación se conoce como ecuación de Dittus – Boelter y se prefiere a la de Colburn²⁷.

Caída de presión.

“Una cantidad de interés en el análisis del flujo en tubos es la caída de presión ΔP ya que está directamente relacionada con las necesidades de potencia del ventilador o la bomba con el fin de mantener el flujo.

En la práctica, resulta conveniente expresar la pérdida de presión para todos los tipos de flujos internos completamente desarrollados (flujos laminares o turbulentos, tubos circulares o no circulares, superficies lisas o ásperas, tubos horizontales o inclinados) como²⁸:

$$\Delta P = f * \frac{\rho * v_m^2}{2 * D_h} * H \quad (6.23)$$

Donde:

ΔP = Caída o pérdida de presión (Pa.)

f = Factor de fricción.

ρ = Densidad del fluido Kg/m³

V_m = Velocidad promedio del flujo. (m/s)

²⁷ Yunus A. Cengel “Transferencia de calor y masa”, Pág. 473, 474.

²⁸ Yunus A. Cengel “Transferencia de calor y masa”, Pág. 459

H = Altura o longitud de ducto (m).

D_h = Diámetro Hidráulico (m).

Análisis Térmico General.

“En ausencia de cualquier interacción de trabajo (como el calentamiento mediante resistencias), la ecuación de conservación de energía para el flujo estacionario de un fluido en un tubo se puede expresar como:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_s - T_e) \quad (6.24)$$

Donde:

Q = Calor [W]

\dot{m} = Flujo de masa de la carga [Kg/s]

c_p = Calor específico [J/Kg °K]

T_s = Temperatura de salida. [°C]

T_e = Temperatura de entrada [°C]

Temperatura Superficial Constante

Con base en la ley de Newton del enfriamiento, la razón de la transferencia de calor desde o hacia un fluido que fluye en un tubo se puede expresar como:

$$Q = hA_s \Delta T_{prom} = hA_s (T_h - T_m)_{prom}. \quad (6.25)$$

Donde:

$Q = \text{Calor [W]}$

$h = \text{coeficiente de transferencia de calor por convección promedio (W.m}^2\text{/K)}$

$A_s = \text{área superficial para la transferencia de calor}$

$\Delta T_{\text{prom.}} = \text{es alguna diferencia promedio apropiada de temperatura entre el fluido y la superficie.}$

En el caso de temperatura superficial constante $T_h = \text{constante}$ $\Delta T_{\text{prom.}}$ Se puede expresar por la diferencia media aritmética de temperatura ΔT_{ma} como:

$$\Delta T_{\text{prom}} \approx \Delta T_{\text{ma}} = \frac{\Delta T_e + \Delta T_s}{2} = \frac{(T_h - T_e) + (T_h - T_s)}{2} = T_h - \frac{T_e + T_s}{2} \quad (6.26)$$

Donde:

$$T_b = \frac{T_e + T_s}{2} = \text{Temperatura media de masa del fluido, (}^\circ\text{C)}$$

La cual es, el promedio aritmético de las temperaturas medias del fluido en la admisión y la salida del tubo.

Note que la diferencia media aritmética de temperatura ΔT_{ma} es simplemente el promedio de las diferencias de temperatura entre la superficie y el fluido en la admisión y la salida del tubo. Inherente a esta definición se supone que la temperatura media del fluido varía linealmente a lo largo del tubo, lo cual es difícilmente el caso cuando $T_h = \text{constante}$. Esta simple aproximación a menudo proporciona resultados

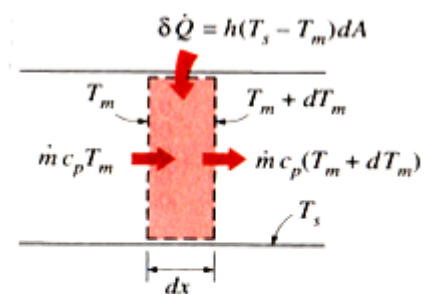


FIGURA 6.5
Interacciones energéticas para un volumen diferencial de control en un tubo.

aceptables. Considere el calentamiento de un fluido en un tubo de sección transversal constante cuya superficie interior se mantiene a una temperatura constante de T_h . Se sabe que la temperatura media del fluido T_m aumenta en la dirección del flujo como resultado de la transferencia de calor. El balance de energía sobre un volumen diferencial de control, mostrado en la figura 6.5 da:

$$\dot{m}C_p dT_m = h(T_s - T_b)dA_s \quad (6.27)$$

Donde:

\dot{m} = Flujo de masa de la carga [Kg/s]

C_p = Calor específico [J/Kg °K]

T_s = Temperatura de salida. [°C]

T_m = Temperatura media [°C]

T_b = Temperatura media de masa del fluido, (°C)

Es decir, el aumento en la energía del fluido (representado por un aumento en su temperatura media por dT_m) es igual al calor transferido por convección hacia este último desde la superficie del tubo.

Dado que el área superficial diferencial es $dA_s = p dx$, donde p es el perímetro del tubo, y que $dT_m = -d(T_s - T_m)$ ²⁹.

“Antes de concluir esta sección, es importante notar que en muchas aplicaciones es la temperatura del fluido externo, en lugar de la temperatura del tubo, la que es fija en tales casos se muestra fácilmente

²⁹Yunus A. Cengel “Transferencia de calor y masa”, Pág. 458, 460, 461.

que los resultados de esta sección aun se pueden utilizar si T_h se reemplaza por T_∞ (temperatura del flujo libre del fluido externo) y h se reemplaza por U (coeficiente Global de transferencia de calor) Para tales casos se tiene que³⁰:

$$\dot{m}C_p(T_s - T_e) = U(T_\infty - T_b)A_s \quad (6.28)$$

$$\dot{m}C_p(T_s - T_e) = U\left(T_\infty - \frac{T_e + T_s}{2}\right)A_s \quad (6.28.1)$$

Donde:

\dot{m} = Flujo de masa de la carga [Kg/s]

C_p = Calor especifico [J/Kg °K]

T_s = Temperatura de salida. [°C]

T_e = Temperatura de entrada [°C]

U = Coeficiente Global de transferencia de calor ($\frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}$)

T_∞ = Temperatura del flujo libre del fluido externo (°C)

6.6.1.1.3.- RADIACIÓN

“La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. Aunque centraremos nuestra atención en la radiación de superficies sólidas, esta radiación también puede provenir de líquidos y gases. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas

³⁰ Frank P. Incropera “Fundamentos de transferencia de calor”, Pág. 436, 437.

de los átomos o moléculas constitutivos. La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas (o alternativamente, fotones). Mientras la transferencia de energía por conducción o por convección requiere la presencia de un medio material, la radiación no lo precisa. De hecho, la transferencia de radiación ocurre de manera más eficiente en el vacío.

Considere los procesos de transferencia de radiación para la superficie de la figura 6.6 (a). La radiación que la superficie emite se origina a partir de la energía térmica de la materia limitada por la superficie, y la velocidad a la que libera energía por unidad de área (W/m²) se denomina la potencia emisiva superficial E. Hay un límite superior para la potencia emisiva, que es establecida por la ley de Stefan-Boltzmann

$$E_b = \sigma T_s^4 \quad (6.29)$$

Donde:

T_s= temperatura absoluta (K) de la superficie

σ= constante de Stefan Boltzmann (σ = 5.67×10⁻⁸ W/m²K⁴).

Dicha superficie se llama radiador ideal o cuerpo negro.

El flujo de calor emitido por una superficie real es menor que el de un cuerpo negro a la misma temperatura y está dado por:

$$E = \epsilon \sigma T_s^4 \quad (6.30)$$

Donde:

ε= propiedad radiativa de la superficie denominada emisividad.

T_s= temperatura absoluta (K) de la superficie

σ= constante de Stefan Boltzmann (σ = 5.67×10⁻⁸ W/m²K⁴).

Con valores en el rango $0 \leq \epsilon \leq 1$, esta propiedad proporciona una medida de la eficiencia con que una superficie emite energía en relación con un cuerpo negro. Esto depende marcadamente del material de la superficie y del acabado

La radiación también puede incidir sobre una superficie desde sus alrededores. La radiación se origina desde una fuente especial, como el sol, o de otras superficies a las que se expone la superficie de interés. Sin tener en cuenta la fuente, designamos a la velocidad a la que toda esa radiación incide sobre un área unitaria de la superficie como la irradiación G (figura 6.6 (a)).

Una parte de la irradiación, o toda, tal vez sea absorbida por la superficie, y así se incrementaría la energía térmica del material. La velocidad a la que la energía radiante es absorbida por área superficial unitaria se evalúa a partir del conocimiento de una propiedad radiativa de la superficie denominada absorptividad α . Es decir,

$$G_{\text{abs}} = \alpha G \tag{6.31}$$

donde $0 \leq \alpha \leq 1$. Si $\alpha < 1$ y la superficie es opaca, partes de la irradiación se reflejan.

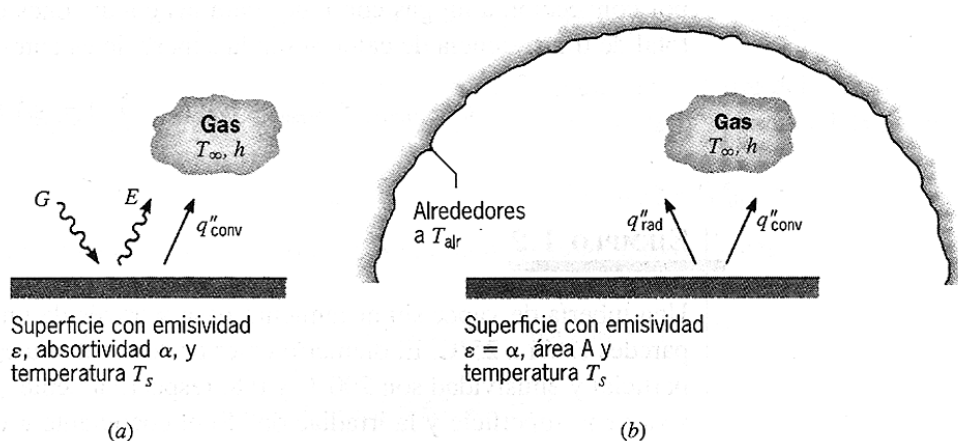


Figura 6.6 Intercambio de radiación (a) en la superficie (b) entre una superficie y sus alrededores

Si la superficie es semitransparente, partes de la irradiación también se transmiten. Sin embargo, mientras la radiación absorbida y emitida aumenta y disminuye, respectivamente, la energía térmica de la materia, la radiación reflejada y transmitida no tiene ningún efecto sobre esta energía. Advierta que el valor de α depende de la naturaleza de la irradiación así como de la superficie misma. Por ejemplo, la absorptividad de una superficie en cuanto a la radiación solar es diferente de su absorptividad a la radiación emitida por las paredes de un horno.

Un caso especial que ocurre con frecuencia implica el intercambio de radiación entre una superficie pequeña a T_s y una superficie isotérmica mucho más grande que rodea por completo a la pequeña (figura 6.6 (b)). Los alrededores podrían ser, por ejemplo, las paredes de un cuarto o un horno cuya temperatura T_{alr} es diferente de la de una superficie rodeada ($T_{alr} \neq T_s$), la velocidad neta de transferencia de calor por radiación desde la superficie, expresada por unidad de área de la superficie, es

$$q_{rad}'' = \frac{Q}{A} = \epsilon E_b(T_s) - \alpha G = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{alr}^4) \quad (6.32)$$

Esta expresión proporciona la diferencia entre la energía térmica que se libera debido a la emisión por radiación y la que se gana debido a la absorción de radiación.

Hay muchas aplicaciones para las que es conveniente expresar el intercambio neto de calor por radiación en la forma:

$$Q_{rad} = h_r \cdot A \cdot (T_s - T_{alr}) \quad (6.33)$$

donde, de la ecuación $q_{rad}'' = \frac{Q}{A} = \epsilon E_b(T_s) - \alpha G = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{alr}^4)$, el coeficiente de transferencia de calor por radiación h_r es:

$$h_r = \epsilon \sigma \cdot (T_s + T_{alr}) \cdot (T_s^2 + T_{alr}^2) \quad (6.34)$$

Donde:

h = coeficiente de transferencia de calor por convección ($W \cdot m^2/K$)

ϵ = propiedad radiativa de la superficie denominada emisividad.

T_s = temperatura absoluta (K) de la superficie

σ = constante de Stefan Boltzmann ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$).

T_{alr} = Temperatura de alrededores ($^{\circ}C$).

Aquí modelamos el modo de radiación de forma similar a la convección. En este sentido linealizamos la ecuación de la velocidad de radiación, haciéndola proporcional a la diferencia de temperaturas en lugar de a la diferencia entre dos temperaturas a la cuarta potencia. Observe, sin embargo, que h_r depende marcadamente de la temperatura, mientras que la dependencia de la temperatura del coeficiente de transferencia de calor por convección h es por lo general débil.

Las superficies de la figura anterior también pueden transferir simultáneamente calor por convección a un gas contiguo. Para las condiciones de la figura 6.6 (b), la velocidad total de transferencia de calor desde la superficie es entonces”³¹

$$q = q_{conv} + q_{rad} = h A (T_s - T_{\infty}) + \epsilon A \sigma (T_s^4 - T_{alr}^4) \quad (6.35)$$

Donde:

ϵ = propiedad radiativa de la superficie denominada emisividad.

T_s = temperatura absoluta (K) de la superficie ($^{\circ}C$).

σ = constante de Stefan Boltzmann ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$).

A = área de transferencia de calor (m^2)

h = coeficiente de transferencia de calor por convección ($W \cdot m^2/K$)

T_{alr} = Temperatura de alrededores ($^{\circ}C$).

T_{∞} = temperatura ambiente ($^{\circ}C$).

³¹ Frank P. Incropera “Fundamentos de transferencia de calor”, Pág. 8 - 10

6.6.2.- RESISTENCIAS TÉRMICAS

“El físico británico James Prescott Joule descubrió en la década de 1860 que si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido al choque que sufren con las moléculas del conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo. Este efecto es conocido como efecto Joule en honor a su descubridor. Este efecto fue definido de la siguiente manera: "La cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente". Matemáticamente se expresa como:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (6.36)$$

Donde:

Q es la energía calorífica producida por la corriente;

I es la intensidad de la corriente que circula y se mide en amperios;

R es la resistencia eléctrica del conductor y se mide en ohmios;

t es la tiempo el cual se mide en segundos.

Así, la potencia disipada por efecto Joule será:

$$P = R \cdot I^2 = \frac{V^2}{R} \quad (6.37)$$

Donde:

V es la diferencia de potencial entre los extremos del conductor.

P es la potencia

I es la intensidad de la corriente que circula y se mide en amperios;

R es la resistencia eléctrica del conductor y se mide en ohmios;

La calefacción eléctrica es cualquier proceso en el que la energía eléctrica se convierte en calor. Las aplicaciones más comunes incluyen la calefacción de los edificios, cocina, y los procesos industriales.

Un calentador eléctrico es un aparato eléctrico que transforma la energía eléctrica en calor. El elemento de calefacción dentro de cada calentador eléctrico es simplemente una resistencia eléctrica, y trabaja en el principio de calentamiento Joule: una corriente eléctrica a través de una resistencia convierte la energía eléctrica en energía térmica.

El calentamiento de piezas por resistencias eléctricas puede ser directo, cuando la corriente eléctrica pasa por las piezas, o indirecto cuando las piezas se calientan por radiación, convección o una combinación de ambas, procedentes de la resistencia propiamente dicha en la proximidad de la pieza.

En la industria es mucho más frecuente el calentamiento indirecto por resistencias eléctricas. Dichas resistencias pueden ser:

1. Barras, varillas, alambres o pletinas dispuestas en las paredes de la cámara de calentamiento del horno, transmitiendo calor a las piezas por radiación.
2. Paquetes de resistencias de los mismos materiales que transmiten el calor por convección al aire o gases, y de esto, y de estos también por convección a las piezas.
3. Los mismos materiales dispuestos en el interior de tubos radiantes cuando la atmosfera interior del horno sea perjudicial para una vida razonable de las resistencias expuestas directamente.
4. Resistencias blindadas, dispuestas en el interior de fundas metálicas de pequeño diámetro con un material cerámico de llenado de las fundas metálicas. Se adquieren de fabricantes

especializados y, normalmente, se aplican a temperaturas a las de las anteriores.

En resumen de lo antecedente se deduce la clasificación de las resistencias térmicas de calentamiento indirecto en:

- ↗ Metálicas.
- ↗ No metálicas.
- ↗ Tubos radiantes y,
- ↗ Resistencias blindadas.

6.6.2.1.- RESISTENCIAS METÁLICAS

Los materiales para la fabricación de resistencias metálicas en hornos industriales se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Aleaciones de base Ni – Cr.
- Aleaciones Fe – Cr – Al, con posibles adiciones de elementos de las tierras raras, obtenidas por fusión o por pulvimetalurgia.
- Otros materiales empleados, sobre todo, en hornos de vacío de alta temperatura, como molibdeno, tántalo y tungsteno.

6.6.2.2.-RESISTENCIAS NO METÁLICAS

Los materiales no metálicos utilizados en la fabricación de resistencias son:

- ✦ Carburo de silicio en diversas formas.
- ✦ Bisiliciuro de molibdeno en forma de horquillas.
- ✦ Grafito en barras.
- ✦ Cromita de lantano en tubos

6.6.2.3.- TUBOS RADIANTES ELÉCTRICOS

Cuando la atmosfera del interior del horno sea nociva para las resistencias, una solución posible es proteger la superficie exterior de las resistencias, por ejemplo, mediante su esmaltado, pero es más frecuente introducir la resistencia dentro de un tubo metálico o cerámico que radia la energía de la resistencia sobre la carga, de donde viene la denominación de tubos radiantes eléctricos.

En la figura se muestra una disposición de tubos radiantes metálicos en bóvedas con la resistencia de alambre arrollado en espiral sobre tubos cerámicos ranurados. También se pueden disponer alambres más gruesos sobre tubos lisos con lo que se puede aumentar algo la carga superficial del tubo a 1050 °C.

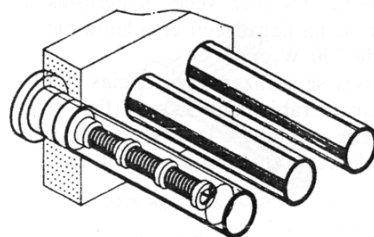


Figura Tubos radiantes en bóveda. Resistencia de alambre grueso.

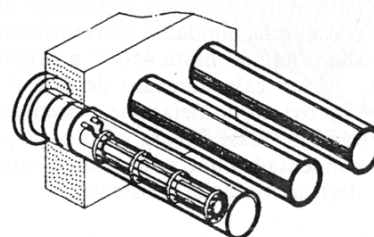
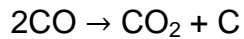


Figura Tubos radiantes en bóveda. Resistencia de varilla o pletina a lo largo.

Figura 6.7 Tubos Radiantes Eléctricos

Dos tipos de atmosfera controlada determinan el empleo de tubos radiantes en lugar de resistencias desnudas:

- Atmosfera de alto contenido de H_2 (del orden del 40 por 100) que reducen los óxidos de protección de las resistencias y disminuyen fuertemente su tenacidad.
- Atmosferas que contienen CO y CH_4 (para cementación y carbonitruración gaseosas), que dan lugar a una cementación de las aleaciones metálicas refractarias y, a temperaturas menores a 800 °C, a la aparición de carbonilla de acuerdo con la reacción:



Precisamente en una zona del interior de los terminales provocando cortocircuitos.

Evidentemente, la protección de las resistencias con los tubos radiantes no impedirá que con el tiempo se difunda a través del tubo H_2 y CO . El problema se resuelve purgando continuamente el interior del tubo mediante un pequeño caudal de aire frío.

6.6.2.4.- RESISTENCIAS BLINDADAS

Son esencialmente diferentes, en su concepción y en su comportamiento, de las resistencias metálicas y no metálicas e, incluso, de los tubos radiantes. Una resistencia blindada se muestra esquemáticamente en la figura:

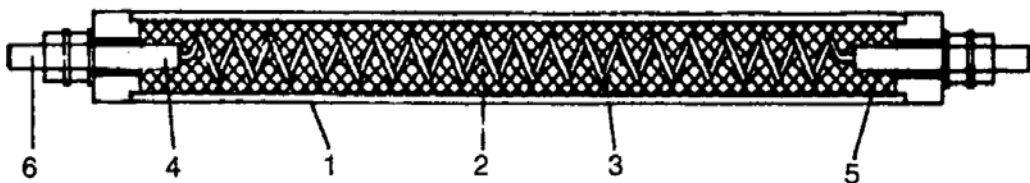


Figura 6.8 Sección de Resistencia Blindada típica

La resistencia propiamente dicha (3) está embebida en una masa refractaria (2) de magnesita electrofundida dentro de una funda metálica (1), completándose con los terminales (4) y los elementos de cierre estanco (5) y de aislamiento (6). En hornos se emplean únicamente para bajas temperaturas, ya que la potencia eléctrica de la resistencia debe pasar por conducción a través de la masa cerámica y de la funda metálica y, por convección y/o radiación del exterior de la funda metálica a la carga o interior del horno.

Las fundas metálicas suelen ser de latón, acero al carbono, inoxidable refractario y, en casos especiales, de titanio. También pueden ser cerámicas de pírex.

Además de magnesia electrofundida, en los últimos años se ha desarrollado resistencias blindadas de nitruro de boro que tiene una débil conductividad eléctrica pero una buena conductividad térmica, lo que permite emplear cargas específicas superficiales diez veces superiores a las resistencias blindadas convencionales. Se ha llegado en el calentamiento de sodio líquido hasta 450 °C a cargas de 250 W/cm².

Para calentamiento de aire o gases se utilizan resistencias blindadas provistas de aletas que aumentan considerablemente la superficie de intercambio, pero debe asegurarse la ausencia de polvo o condensados que se depositen entre aletas, lo que daría lugar a una rápida destrucción de la resistencia.

La carga específica varía de 1 a 4 W/cm² para aire forzado, dependiendo de la temperatura del horno o equipo de calentamiento. Su potencia unitaria máxima es de unos 4 Kw

Es frecuente, en hornos de baja temperatura, disponer de baterías de resistencias de aletas, que deben estar provistas de elementos de control que limiten la temperatura máxima de la batería con independencia de la temperatura del horno. Pueden alcanzar potencias elevadas.

Para calentamiento de líquidos se emplean los diversos tipos de resistencias blindadas. Para agua se puede llegar a cargas específicas de 10 - 15 W/cm² por lo que conviene que las fundas sean de acero inoxidable y las resistencias fácilmente desmontables.

En baños de lavado, muy empleados en línea con hornos de tratamientos térmicos, la carga se reduce a 3 - 6 W/cm² y aún es menor en tanques de temple en aceite (2 - 4 W/cm² para aceite a 40 °C y 1,5 - 2 W/cm² para aceite caliente a 180 - 200 °C). Estos mismos tipos de resistencias blindadas se utilizan en el calentamiento de alquitranes, breas y fuelóleo

(equipos de precalentamiento del combustible a 100 - 180 °C previo a la atomización en los quemadores). La carga específica es de 1 - 2 W/cm².

Aunque podrían emplearse fundas de cobre o de latón con aceites, alquitranes y fuelóleo, es aconsejable emplear fundas de acero inoxidable por la posible introducción de aditivos³².

6.6.4.- MATERIALES AISLANTES

“Los materiales aislantes se emplean en aquellos casos en que se desea impedir que el flujo de calor entre o salga de un recinto y su entorno. Se emplean aislantes de baja temperatura en los casos en que el recinto en cuestión se encuentra a una temperatura inferior a la temperatura ambiente y cuando se desea proteger el recinto de ganancias de calor. Se emplea los aislantes de alta temperatura en el caso contrario, cuando se desea impedir que un recinto cuya temperatura es superior a la del ambiente, ceda calor a su entorno.

El corcho, la lana mineral y la de vidrio son ejemplos de aislantes de baja temperatura, y entre los de alta temperatura se encuentra el asbesto, la tierra de diatomeas, la magnesia, etc.

Se observa que para un material dado la conductividad térmica depende en gran manera tanto de la densidad como de la temperatura. En este caso deben emplearse el termino <<densidad volumétrica aparente >>, que es la masa de la sustancia dividida por su volumen total (incluyendo el volumen de los poro, cuando se trata de materiales porosos). La baja conductividad térmica de estos materiales aislantes se debe principalmente al aire (gas de malas propiedades conductoras), contenido en los poros, más que a la baja conductividad de la sustancia solida misma. En términos generales, la conductividad térmica aparente, aunque existe un límite en el que la temperatura del material es lo suficientemente elevada para que la convección y la radiación que se registran dentro de

³² Julio Astigarraga Urquiza “Hornos industriales de resistencias”. Pág. 11,12; 14,15; 45;59 - 64

los poros aumenten la trasmisión del calor a través del material, invirtiendo el efecto de la densidad volumétrica aparente”³³.

“Las propiedades más importantes que deben cumplir los aislantes térmicos son:

 Tener baja conductividad térmica.

 Poseer una alta capacidad para retener el calor.

El espesor más económico de una capa de aislante térmico, está determinado por aquellos factores que disminuyen las pérdidas de calor al aumentar el grosor del aislante y el costo de la energía. La máxima temperatura que puede soportar la cámara interior del revestimiento aislante de la cámara, lo determina la naturaleza del material a emplear como aislante térmico.

A continuación se tiene una clasificación de los materiales aislantes más utilizados y que la industria a estandarizado hasta el momento”³⁴.

³³ Alan J. Chapman “Transmisión del calor”, Pág. 30

³⁴ ESCOBAR L. – MACHADO L. “Diseño y Construcción de un Equipo Para Almacenar, Secar y Conservar los Electrodo”, Pág. 27, 28.

Tabla 6.2 Propiedades térmicas de los Materiales aislantes

Sustancia	c_p kJ/kg-°C	ρ kg/m ³	t ° C	k W/m-°C
Lana de vidrio		96 (c)	38	0.0377 (c)
			93	0.0499 (c)
Miraguano			30	0.035 (a)
			38	0.068 (a)
			93	0.071 (a)
Magnesia, 85 %		270 (c)	149	0.074 (a)
			204	0.080 (a)
			-7	0.0260 (c)
Lana de roca		64 (c)	38	0.0388 (c)
			93	0.0549 (c)
			-7	0.0296 (c)
Lana de roca		128 (c)	38	0.0345 (c)
			93	0.0518 (c)
			-7	0.0317 (c)
Lana de roca		192 (c)	38	0.0391 (c)
			93	0.0486 (c)

Fuente: ALAN J. CHAPMAN (1990), "Transmisión de calor" porción de la tabla A - 2

6.6.4.1.- AISLAMIENTO TÉRMICO

El aislamiento térmico es el uso de un material con baja conductividad global para reducir el flujo de energía a través de otro material. El aislamiento actúa para retardar o reducir el flujo de calor, por lo que debe tener una alta resistencia.

En general, aparte del vacío, los peores conductores de calor son los gases, y estos aíslan mejor cuando la convección en el gas puede ser suprimida. Mantas fibrosas en las que el gas queda atrapado en una alfombra hecha de un sólido de baja conductividad - tales como el vidrio o fibra orgánica (lana o poliéster) - son buenos aislantes y espumas de célula cerrada, en las que el gas queda atrapado en las burbujas o poros del material es un pobre conductor del calor, como el poliestireno o poliuretano son aún mejores aislantes.

Muchos materiales pueden ser considerados como aislante, pero básicamente hay tres tipos principales de efecto aislante.

Resistiva

De resistencia de aislamiento, también llamado de aislamiento a granel, protege contra la transferencia de calor, simplemente a través de su resistencia a la conducción. Dado que el aire tiene una de las más altas resistencias a la conducción, las mejores aislantes resistentes son los que atrapan pequeñas bolsas de aire dentro de sí mismos. Aislantes tales como fibra de vidrio, lana mineral y poliestireno, siempre que el aire dentro de estas bolsas no se puedan moverse y por lo tanto la transferencia de calor por convección queda anulada.

Reflexivo

Obras de aislamiento de reflexión mediante la reducción de la transferencia de calor por radiación. La capacidad de un material para absorber o emitir radiación infrarroja depende tanto de la naturaleza y el color de su superficie. En la mayoría de los materiales de construcción hay una relación proporcional entre la capacidad de emitir y absorber la radiación. Los mejores amortiguadores y emisores son generalmente negro mate, mientras los peores son brillantes, blanco y reflexivo. Debido a que sólo reducen la transferencia de radiación, el aislamiento de reflexión sólo es útil en el interior o exterior de las superficies de un material compuesto o dentro de una cavidad.

Capacitivo

El aislamiento capacitivo no tiene virtualmente ningún efecto en constante estado de flujo de calor, que es cuando las temperaturas son relativamente constantes en cada lado de un material. Si la temperatura fluctúa en cada lado, sin embargo, los efectos de aislamiento capacitivo se vuelven importantes. Debido a que la transferencia de calor no es

instantánea, las variaciones diurnas dan tiempo para pasar a través de elementos de construcción. Para algunos materiales como el vidrio no es notable este tipo de aislamiento, sin embargo para el doble de ladrillo o de muros de tierra apisonada esto puede tomar hasta ocho o nueve horas. Este retraso se denomina desfase térmico y se mide como la diferencia de tiempo entre el pico fuera de la temperatura y la temperatura máxima en la superficie interior de un elemento.

6.6.5.- PÉRDIDAS DE CALOR

“En relación directa con el recinto del horno y los materiales refractarios y aislantes utilizados, están las pérdidas de calor que podemos clasificar en:

1. Pérdidas de calor a través de las paredes.
2. Pérdidas por el calor almacenado en el revestimiento.
3. Pérdidas por puentes térmicos, cuando en un aislamiento se colocan materiales de mayor conductividad térmica pero de poca sección.
4. Pérdidas por aberturas, ranuras, etc., que se presentan en puertas, ejes de ventilador, juntas de vigas, dinteles de separación entre zonas, etc.
5. Pérdidas de calor por elementos refrigerados por agua.
6. Pérdidas por infiltración de aire.

En la Figura 6.9, correspondiente a un horno de carro de tratamientos térmicos con recirculación interior del aire, se señalan esquemáticamente las diferentes pérdidas de calor que se producen.

6.6.5.1.- Pérdidas de calor por las paredes

Los aislamientos utilizados en hornos industriales pueden adoptar la forma de pared plana en el cuerpo del horno, de pared cilíndrica en tuberías y de pantallas de radiación en hornos de vacío.

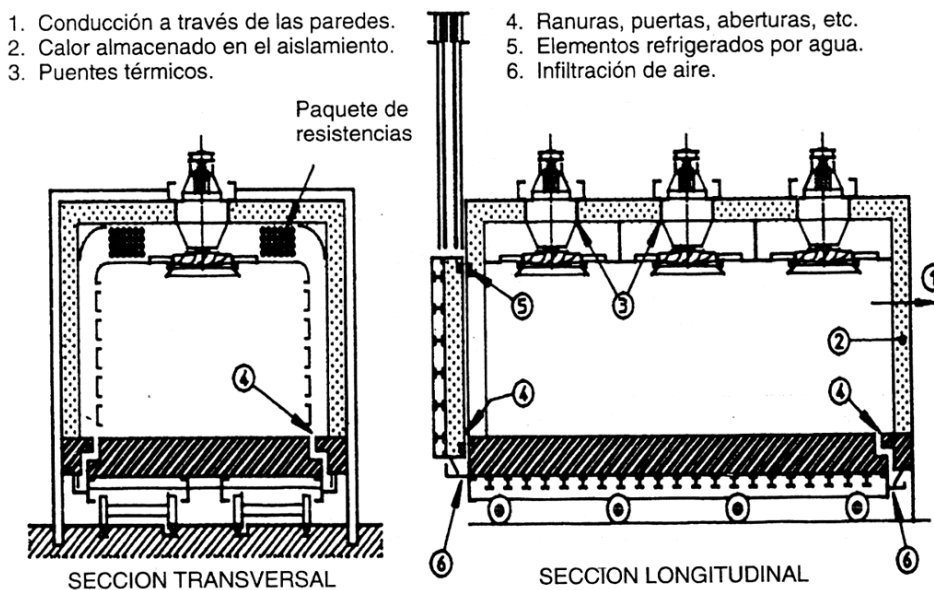


Figura 6.9. Esquema de pérdidas de calor en hornos.

Pared plana.- Las pérdidas de calor ($q_{\text{Pérdidas}}$) a través de las paredes planas, dependen fundamentalmente de las características de aislamiento de los materiales empleados, mientras que la transmisión de calor se realiza por conducción, a través de la pared, y por convección y radiación del exterior del horno al ambiente. Para una pared compuesta de tres capas (Figura 6.10) se aplica, en régimen permanente, la siguiente expresión:

$$\frac{Q_{\text{perdidas}}}{A} = \frac{T_h - T_{sp.}}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3}} \quad (6.38)$$

Donde:

T_h = Temperatura en el interior del horno.

$T_{sp.}$ = Temperatura de la superficie de la pared exterior.

e_1 = espesor de pared interior.

e_2 = espesor de la capa de aislamiento.

e_3 = espesor de pared exterior.

k_1, k_2, k_3 = Conductividades térmicas de los materiales.

h_i = Coeficiente global por radiación y convección en el interior del horno.

A = área de contacto

El valor de h_i depende, en los hornos de llamas, de la velocidad de los humos en el interior del horno. Para temperaturas T_h , superiores a 900°C $h_i \approx 60 \text{ W /m}^2\text{K}$, lo que, unas pérdidas actualmente aceptables de $600 - 1000 \text{ W /m}^2$, corresponde a una caída de temperatura ($T_h - T_1$) de $10 - 15^\circ\text{C}$.

Los valores de k dependen, en cierto modo, de la temperatura, por lo que la formula anterior únicamente puede utilizarse para valores medios de la conductividad, que deben elegirse después de haber estimado la temperatura media de la capa correspondiente.

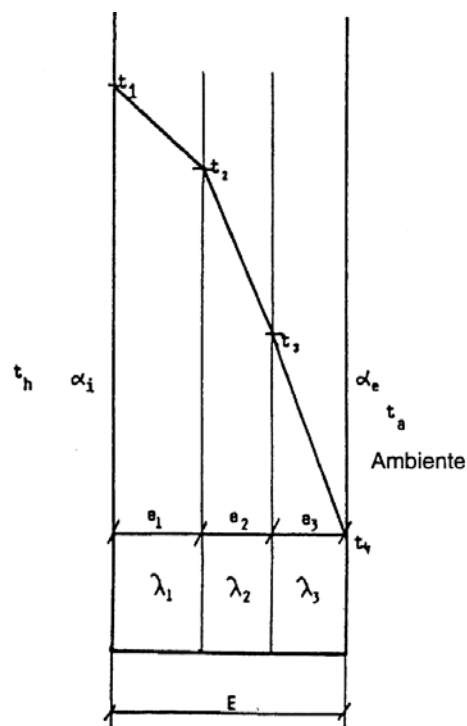


Figura 6.10. Pared compuesta de tres capas.

La transmisión de calor de la calderería exterior al ambiente se calcula por la expresión:

$$\frac{Q_{perdidas}}{A} = a * (T_4 - T_{ambiente})^{1.25} \cdot \varepsilon \cdot \left[\left(\frac{T_4 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ambiente} + 273}{100} \right)^4 \right] W/m^2$$

(6.39)

Donde:

T_4 = Temperatura de la pared exterior del horno (°C).

$T_{Ambiente}$ = Temperatura ambiente (17 °C)

ε = emisividad total de la pared. Varía entre 0.4 para pintura al aluminio en buen estado y 0.9 para exterior en mal estado.

a = Coeficiente que depende de la velocidad del aire.

Para aire en calma se toma 2,71 para pared horizontal hacia arriba, 1,04 pared horizontal hacia abajo, y 2,09 pared vertical. Como valor medio se puede tomar $a = 2,2$.

Los aislamientos de paredes llevan, en la práctica, materiales adicionales que actúan como puentes térmicos aumentando sensiblemente las pérdidas de calor. Citaremos entre otros, varillas de sujeción de acero refractario, ejes de ventiladores de recirculación, tubos cerámicos y metálicos para termopares y terminales de resistencias, virolas de soporte de aislamiento y de grupos moto ventiladores, etc.

En hornos grandes la superficie de pérdidas es la exterior, mientras que en hornos pequeños y medianos debe tenerse en cuenta el mayor efecto

aislante de aristas y vértices, tomándose una superficie media calculada por la fórmula³⁵:

$$A_m = \sqrt{A_e * A_i} \quad (6.40)$$

Donde:

A_m = Área media de calculo

A_e = Área exterior del túnel.

A_i = Área interna de cálculo.

6.6.5.2 Pérdidas de calor por infiltración de aire.

“Cuando la presión del en el interior del horno es inferior a la del exterior al mismo nivel, se producirá una infiltración de aire. El calor requerido para calentar el aire hasta la temperatura del horno es energía perdida, una vez descontada la energía recuperada correspondiente en el recuperador, si existe.

Sin embargo, aunque a nivel de solera la presión en el interior y en el exterior del horno sean idénticas, a nivel de bóveda la presión en el interior del horno será superior a la del exterior, por lo que se producirá un escape de gases o aire en dicha zona, con la consiguiente entrada de aire a nivel inferior.

La presencia de un orificio, abertura, ranura, etc., en una zona en depresión crea una entrada de aire, si existe una posibilidad de salida del aire o gases calientes a nivel superior.

Un cálculo preciso puede realizarse del modo siguiente:

³⁵ Julio Astigarraga Urquiza “Hornos industriales de resistencias”. Pág. 79 - 83

El caudal de aire infiltrado será:

$$\dot{V} = A_{seccion} * \sqrt{\frac{2 * (P_e - P_i)}{\rho_a}}$$

El calor perdido para calentar el aire infiltrado a la temperatura del horno será:

$$Q_{perdida} = \dot{V} * (\rho_{temperatura ambiente} - \rho_{Th}) * C_p * (T_{horno} - T_{ambiente})^{36}$$

6.6.6.- VENTILADORES DE RECIRCULACIÓN Y PUNTO DE FUNCIONAMIENTO

“Los ventiladores utilizados en hornos se clasifican en dos tipos: centrífugos (de álabes rectos, curvados hacia adelante o curvados o rectos hacia atrás) y axiales. Un ventilador está definido por su curva característica que relaciona el caudal en abscisas con la presión estática en ordenadas. Se suelen añadir curvas que dan el rendimiento y la potencia absorbida (véase Figura 6.11). Corresponden a una velocidad de giro determinada, y se representan diferentes familias de curvas para diversas r.p.m. (revoluciones por minuto).

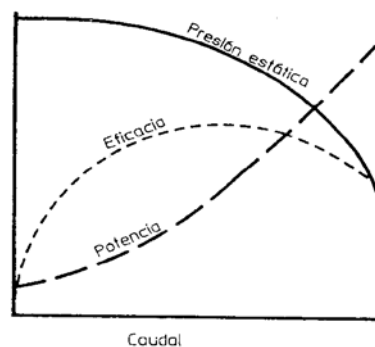


Figura 6.11. Curvas características típicas de ventilador centrífugo.

³⁶ Julio Astigarraga Urquiza “Hornos industriales de resistencias”. Pág. 97 - 99

Tan importante como la curva característica del ventilador es la curva caudal-presión del circuito interior del horno para diferentes condiciones de la carga. Como la pérdida de presión es proporcional al cuadrado de la velocidad, al aumentar el caudal, aumenta mucho más la presión requerida en el circuito, la cual debe corresponder a la presión estática dada por el ventilador.

Se combinan ambas curvas (horno y ventilador) como se muestra en la Figura 6.12. Si la curva correspondiente a una carga es B y la del ventilador A, el punto de funcionamiento es el P. Si para el mismo ventilador la carga es más densa (curva B'), el punto de funcionamiento es el P'. Si para la carga anterior (curva B) se utiliza otro ventilador o el mismo a otras r.p.m. (curva A'), el nuevo punto de funcionamiento será el P³⁷".

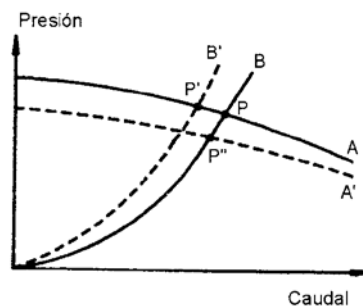


Figura 6.12. Características caudal-presión del ventilador y el circuito de aire para una temperatura dada.

6.6.7.- FACTORES EN LA SELECCIÓN DE MOTORES

“Como mínimo, para los motores es necesario especificar los aspectos siguientes:

- Tipo de motor: de CD, CA, monofásico, trifásico y demás.
- Especificación de potencia y velocidad
- Voltaje y frecuencia de operación

³⁷ Julio Astigarraga Urquiza “Hornos industriales de resistencias”. Pág. 123 - 124

- Tipo de carcasa
- Tamaño del armazón
- Detalles relativos al montaje

Además, es probable que existan necesidades especiales que deben ser comunicadas al vendedor. Los factores principales a tomar en cuenta al seleccionar un motor incluyen los Siguientes:

- Torque de operación, velocidad de operación y especificación de potencia. Observe que estos se relacionan mediante la ecuación, ***potencia = torque x velocidad***
- Torque de arranque
- Variaciones de carga que se esperan y variaciones de velocidad correspondientes que pueden tolerarse.
- Limitaciones de la corriente durante las fases de arranque y funcionamiento.
- Ciclo de trabajo: qué tan a menudo hay que encender y apagar el motor.
- Factores ambientales: temperatura, presencia de atmósferas corrosivas o explosivas, exposición al clima o a líquidos, disponibilidad de aire para enfriar y demás.
- Variaciones de voltaje que se esperan: casi todos los motores tolerarán hasta $\pm 10\%$ de variación respecto al voltaje que se especifica. Más allá de este, se requieren diseños especiales.
- Cargas a las que se someten las flechas: en particular cargas laterales y cargas de empuje susceptibles de afectar la vida de los cojinetes de las flechas³⁸.

³⁸Robert L. Mott, P. E. "Diseño de elementos de maquinas" Pág. 682, 683

6.7.- METODOLOGÍA

6.7.1.- El diseño sus consideraciones y especificaciones.

Tomando en cuenta que se quiere un diseño de equipo que se ajuste a las necesidades de la empresa se estableció un modelo en el cual se consideraron los siguientes parámetros:

- Producción requerida [N° paquetes /minuto]
- Velocidad de transportación.
- Dimensiones de la cámara de termo contracción

6.7.1.1.-Producción requerida N° de paquetes por minuto

Revisando los equipos y catálogos de los túneles ofertados por internet se vio que uno de los parámetros de este tipo de equipos es la cantidad de paquetes que entrega por cada minuto y existen equipos con capacidades superiores a los 30 paquetes por minuto capacidad que en caso particular de la empresa es muy alta.

Analizando la producción que tiene la fábrica se estableció el rango de entre 15 a 20 paquetes por minuto. Luego de haber establecido este rango para el diseño del túnel se considera la máxima capacidad solicitada que es de 20 paquetes por minuto que es la capacidad que el túnel tendrá finalmente.

6.7.1.2.- Velocidad de transportación

Uno de los parámetros característicos de este tipo de equipos es el número de paquetes que entrega por cada minuto que ya se menciono anteriormente en el cual nos basaremos para determinar la velocidad de

transportación para los paquetes de mayor longitud tanto de yogurt como de refresco.

De entre estos dos paquetes seleccionaremos el paquete con las mayores dimensiones es decir el de 240x360x250 mm que en este caso son los envases de yogurt de 2000 g. el cual tiene dichas dimensiones.

Uno de los aspectos importantes para un adecuado embalaje con termoencogible es que el fluido caliente (aire) envuelva todo el conjunto o paquete por esta razón se considera un espaciamiento entre paquete de 8cm. considerando el largo de 36 cm. más el espaciamiento entre los paquetes tenemos una longitud total de 44 cm. por paquete tenemos entonces que:

$$V = \frac{(N^{\circ}_{paquetes/minuto} * L)}{100} \quad (6.41)$$

Donde:

V= Velocidad de la transportadora (m/min).

$N^{\circ}_{paquetes/minuto}$ = Numero de paquetes por minuto (Producción Requerida por la planta).

L = Longitud o largo del paquete (cm/paquetes).

/100 = factor de conversión de cm. a m.

Entonces:

$$V = \frac{20 \text{ paquetes/min} * 44 \text{ cm./paquete}}{100}$$

$$V = 8.89 \text{ m/min} \rightarrow 9 \text{ m/min}$$

La velocidad que se utilizara para el cálculo del túnel de termo contracción será de 9 m/min.

6.7.2.- Dimensiones del horno de termo contracción

La capacidad del equipo se mide de acuerdo con el tamaño de la boca de entrada del equipo, por ejemplo: 50 * 40 corresponde a una cámara de 50 cm de ancho por 40 cm de altura.

Para determinar tanto la capacidad como la longitud del túnel de termo contracción nos basaremos en las medidas más significativas de los distintos arreglos del producto para establecer el ancho y la altura de entrada a la cámara de termo contracción es decir la capacidad del túnel, y la velocidad de la banda transportadora con el mayor tiempo que requiere el termoplástico para la contracción determinaremos la longitud del túnel.

Comenzaremos determinando el ancho y la altura de entrada a la cámara para lo cual se considera como se indico anteriormente las dimensiones más significativas de cada arreglo del producto que resultaron ser las siguientes: 275x360x250 mm.

6.7.2.1.- Altura de entrada a la cámara

En virtud de que la dimensión más significativa de uno de los paquetes que se utilizara en este equipo es de 250 mm.se considerara una holgura de 50 mm. por lo que la altura de la cámara será de 300 mm.

6.7.2.2.- Ancho de la cámara

De la dimensión más significativa de uno de los paquete que se van a embalar en este equipo es de 275 mm. Se considera una holgura de 30mm. por lado el cual permitirá al operario tener mayor libertad y comodidad para colocar los paquetes sobre la banda transportadora por lo que el ancho de la cámara será 335 mm aproximadamente.

6.7.2.3.- Longitud de la cámara.

Considerando la velocidad de la cinta transportadora calculada la cual fue de 9 m/min y el máximo tiempo de exposición al calor del material que utilizaremos en el proceso de embalaje que en este caso fue el PVC que a un rango de temperatura de 80 a 200 °C necesita tiempos promedios de 5 a 8 segundos de este rango se escogerá el tiempo de 8 segundos por lo que la longitud será de:

$$L = \frac{V * t}{60} \quad (6.42)$$

Donde:

L = Longitud de la cama de termoencogible [m.]

V = Velocidad del sistema de transportación $\left[\frac{m}{min}\right]$

t = tiempo de encogimiento [s.]

Entonces:

$$L = \frac{9 \text{ m/ min} * 8 \text{ s}}{60}$$

$$L = 1.2 \text{ m.}$$

Por lo que la longitud de la cámara de encogimiento es de 1.2 m.

Entonces las dimensiones de la cámara de encogimiento serán:

Capacidad (Tamaño de boca de entrada a la cámara): 300 x 330 mm.

Longitud de la cámara: 1.2 m.

6.7.3.- Análisis térmico General

Consideraciones:

- 1.- Condiciones de estado estable; al ingreso todo el conjunto o paquete se encuentra en equilibrio térmico Temperatura ambiente.
- 2.- Forma geométrica de los componentes uniformes (embases cilíndricos para facilitar los cálculos y puesto que la sección cilíndrica del embase en contacto con el producto es más del 90%)
- 3.- Propiedades termo físicas constantes.

Dado que la energía se puede transferir hacia un sistema, o hacia fuera de éste el análisis térmico tiene que cumplir el siguiente balance de energía:

$$E_{\text{carga}} + E_{\text{pérdidas}} = E_{\text{sistema}}$$

Al dividir el balance de energía para un Δt se obtiene:

$$Q_{\text{paquete}} + Q_{\text{pérdidas}} = Q_{\text{sistema}}$$



Dado que en ausencia de cualquier interacción de trabajo la energía necesaria para calentar el paquete, si el paquete entra a temperatura ambiente a la cámara de contracción será:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e) \quad (6.24)$$

Donde:

$$Q = \text{Calor}[W]$$

$$\dot{m} = \text{Flujo de masa de la carga}[Kg/s]$$

$$C_p = \text{Calor específico}[J/Kg \text{ } ^\circ K]$$

$$T_s = \text{Temperatura de salida.}[^\circ C]$$

$$T_e = \text{Temperatura de entrada } [^\circ C]$$

En esta parte se realizara el cálculo de la energía que requiere el paquete tomando en cuenta el paquete de mayor tamaño

Para realizar el cálculo de la energía requerida primero se enlistara lo que se conoce para luego suponer o asumir justificadamente algunas propiedades entonces tenemos:

Paquete más grande; el paquete está formado por:

Producto liquido (yogurt, o refresco)

Envase (PET)

Termoplástico (PVC)

Para el cálculo asumiré propiedades de la leche entera para el yogurt y temperatura ambiente promedio para la sierra de 17 °C

El paquete que se analiza tiene las siguientes dimensiones 240x360x250 mm. y está formado por seis envases en un arreglo de 2x3.

6.7.3.1.- DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE MASA

Conocidas las dimensiones de los elementos que forman el paquete y sobre todo la densidad de cada componente se puede determinar la masa de cada uno de ellos como se sugiere en la referencia 9 entonces se tiene los siguientes datos:

Termoplástico PVC:

Espesor = Calibre³⁹ 100 (25.4/100000) mm.
 Largo = 1230 mm.
 Ancho = 460 mm.

$$\rho_{Promedio\ PVC} = 1.395 \frac{Kg}{dm.^3}$$

$$m = \rho * V \tag{6.43}$$

$$m = 1.395 \frac{g}{cm^3} * (123cm.* 46cm.* 0.00254cm.)$$

$$m = 20.05 \frac{g}{paquete}$$

$$m = 0.02005 Kg/paquete$$

La cantidad de masa que fluye a través de una sección transversal de un aparato por unidad de tiempo, se llama gasto de masa. Una vez determinada la masa y contando con la producción requerida el gasto de masa se determina:

³⁹ Ver anexo B1 Datos técnicos de termoplásticos.

$$\dot{m} = m * N^{\circ}_{paquetes/minuto} \quad (6.44)$$

$$\dot{m} = 0.02005 \frac{kg}{paquetes} * 20 \frac{paquetes}{min} * \frac{1min}{60 seg.}$$

$$\dot{m} = 0.00668 \frac{Kg}{seg.}$$

Envase de PET:

Espesor = 1 mm.

Diámetro = 120 mm.

Altura = 250 mm.

$$\rho_{Promedio PET} = 1.35 \frac{g}{cm^3}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 1.35 \frac{g}{cm^3} * (\pi * 12cm. * 25cm. * 0.1cm.) * 6$$

$$m = 763.41 \frac{g}{paquete}$$

$$m = 0.7634 \frac{Kg}{paquete}$$

El gasto de masa se determina:

$$\dot{m} = m * N^{\circ}_{paquetes/minuto}$$

$$\dot{m} = 0.7634 \frac{kg}{paquetes} * 20 \frac{paquetes}{min} * \frac{1min}{60 seg.}$$

$$\dot{m} = 0.2545 \frac{Kg}{seg.}$$

Líquido (yogurt o refresco): son 6 envases de 2000 g que a una densidad de 1032 Kg/m³ nos da una masa de:

$$m = \rho * V_{unidad} * N^{\circ}$$

$$m = 2.064 Kg * 6$$

$$m = 12.384 \frac{Kg}{paquete}$$

El gasto de masa se determina:

$$\dot{m} = m * N^{\circ}_{paquetes/minuto}$$

$$\dot{m} = 12.384 \frac{kg}{paquetes} * 20 \frac{paquetes}{min} * \frac{1min}{60 seg.}$$

$$\dot{m} = 4.128 \frac{Kg}{seg.}$$

6.7.3.2.- DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE SALIDA

Considerando la temperatura del horno y el flujo de carga constante en el funcionamiento del horno debe verificarse que:

$$Q_{conveccion,conduccion} = Q_{almacenado}$$

$$U \cdot A_{comp.} \left(T_{horno} - \frac{T_{comp.} + T_{0componente}}{2} \right) = \dot{m} C_{p_{comp.}} \cdot (T_{comp.} - T_{0componente}) \quad (6.28.1)$$

Con esta ecuación se puede determinar la temperatura de salida de cada elemento del paquete.

U = Coeficiente Global de transferencia de calor (W/m²°C)

$$U = \frac{1}{R} \quad (6.9)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h} + \left(\frac{e}{k}\right)_{pelicula} + \left(\frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi \cdot k \cdot L}\right)_{envase}} \quad (6.45)$$

Donde:

r_e = Radio externo del envase (m)

r_i = Radio interno del envase (m)

L = altura del envase (m)

K = conductividad térmica (W m⁻¹ K⁻¹)

h = Constante de proporcionalidad por convección (W.m².K⁻¹)

e = espesor (m)

R =resistencia total. (°C/W)

La temperatura previa al ingreso al túnel de cada componente del paquete es la de la temperatura ambiente:

$$T_{liquido} = 17 \text{ °C}$$

$$T_{envase} = T_{Ambiente} = 17 \text{ °C}$$

Por lo que el termoplástico a la entrada al túnel también será igual a la temperatura ambiente

$$T_{PVC} = 17 \text{ °C}$$

La temperatura del termoplástico a la salida del túnel será a la temperatura de contracción que en este caso asumiremos un promedio que es de 160 °C

Al conocer las temperaturas de entrada y de salida del termoplástico despejamos la temperatura del horno de la ecuación (6.28.1) y tenemos

$$T_{\text{horno}} = \frac{\dot{m} C_{p_{\text{comp.}}} (T_{\text{comp.}} - T_{0_{\text{componente}}})}{U \cdot A_{\text{componente}}} + \frac{T_{\text{componente}} + T_{0_{\text{componente}}}}{2} \quad (6.46)$$

Para determinar la temperatura del horno nos es necesario conocer el coeficiente de transferencia de calor para lo cual se requiere los valores numéricos de las propiedades físicas del material considerado que es el PVC. Del marco teórico tengo que:

Conductividad Térmica del PVC a 23°C 0,12-0,25 (W m⁻¹ K⁻¹)

Conductividad térmica del PET 0.24 (W m⁻¹ K⁻¹)

Constante de proporcionalidad por convección asumimos promedio de 12.5 (W.m².K⁻¹)

Remplazando estos datos en la ecuación del coeficiente global de transferencia de calor U y tenemos:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{12.5} + \left(\frac{2.54 \cdot 10^{-5}}{0.2}\right)_{\text{pelicula}} + \left(\frac{\ln(60/59)}{2 \cdot \pi \cdot 0.24 \cdot 0.25}\right)_{\text{envase}}}$$

$$U = \frac{1}{0.12471}$$

$$U = 8.0186 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Una vez que ya se determino el valor de U para determinar la temperatura del horno tengo como datos:

Para el termoplástico PVC.

$$T_o = 17 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{salida}} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C_p = 1300 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{ }^\circ\text{K}^{-1}$$

$$\dot{m} = 0.00668 \frac{\text{Kg}}{\text{seg.}}$$

$$A_{\text{convección}} = 1.661 \text{ m}^2.$$

Remplazando los datos en 6.46 tengo que:

$$T_{\text{horno}} = 181.736 \text{ }^\circ\text{C}$$

De aquí que con este resultado se puede calcular la temperatura de salida de los demás componentes despejamos la temperatura de salida de la ecuación (6.28.1) se tiene:

$$T_{\text{componente}} = \frac{2 \cdot U \cdot A_{\text{comp.}} \cdot T_{\text{horno}} + T_{o_{\text{componente}}} \cdot (2 \cdot \dot{m} \cdot C_{p_{\text{comp.}}} - U \cdot A_{\text{comp.}})}{2 \cdot \dot{m} \cdot C_{p_{\text{componente}}} + U \cdot A_{\text{componente}}} \quad (6.47)$$

Como datos tenemos:

Envase PET.

$$T_{\text{horno}} = 181.367 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = 0.2545 \frac{\text{Kg}}{\text{seg.}}$$

$$C_p = 1 \text{ KJ.Kg}^{-1} \cdot \text{°K}^{-1}$$

$$T_o = 17 \text{ °C.}$$

$$A_{\text{transferencia}} = 1.65 \text{ m}^2$$

Producto (yogurt)

$$T_{\text{horno}} = 181.736 \text{ °C}$$

$$\dot{m} = 4.128 \frac{\text{Kg}}{\text{seg.}}$$

$$C_{p_{\text{leche entera}}} = 3890 \text{ J.Kg}^{-1} \cdot \text{°K}^{-1}$$

$$T_o = 17 \text{ °C.}$$

$$A_{\text{transferencia}} = 1.65 \text{ m}^2$$

Remplazando para cada caso en la ecuación 6.47 obtuvimos los siguientes resultados:

$$T_{PVC} = 160 \text{ °C}$$

$$T_{PET} = 25.906 \text{ °C}$$

$$T_{\text{Producto}} = 17.10485 \text{ °C}$$

La energía que adquiere cada componente del paquete está en función de la temperatura del componente a la salida del horno entonces tenemos que de:

$$\boxed{Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)} \quad (6.24)$$

Para el termoplástico PVC el calor requerido para contraer la película será:

$$Q_{PVC} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)$$

$$Q_{PVC} = 0.00668 \frac{Kg}{seg} * 1300 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ K} * (433 - 290)^\circ K$$

$$Q_{PVC} = 1242.812 W$$

Para el envase de PET el calor almacenado será:

$$Q_{envase} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)$$

$$Q_{envase} = 0.2545 \frac{Kg}{seg} * 1000 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ K} * (298.906 - 290)^\circ K$$

$$Q_{envase} = 2157.57 W$$

Para el producto el calor almacenado será:

$$Q_{Producto} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)$$

$$Q_{Producto} = 4 \frac{Kg}{seg} * 3890 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ K} * (288.10485 - 288)^\circ K$$

$$Q_{Producto} = 2213.668 W$$

Cuando la carga ingresa a la cámara de termocontracción recibe del aire la energía para calentarse; es decir absorbe del aire la temperatura y este queda con menos temperatura y sube al ducto de recirculación con una nueva temperatura por tal razón es necesario determinar la temperatura de recirculación realizando el siguiente balance de energía:

$$E_{paquete} = E_{recibida}$$

$$\sum [\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{comp.} - T_{o_{comp.}})]_{Comp.} = [\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{horno} - T_{recirculación})]_{aire} \quad (6.48)$$

$$T_{recirculación} = T_{horno} - \frac{\sum [\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{comp.} - T_{o_{comp.}})]_{Comp.}}{[\dot{m} \cdot C_p]_{aire}}$$

$$T_{recirculación} = 181.736 \text{ °C} - \frac{5612.042}{[\dot{m} \cdot 1018]_{aire}}$$

$$T_{recirculación} = 136.45 \text{ °C}$$

6.7.4.- Determinación del Coeficiente Convectivo.

Para determinar el coeficiente convectivo entre el aire a ser calentado y las paredes del recinto de las resistencias utilizaremos las ecuaciones indicadas en la fundamentación teórica de la propuesta que son las ecuaciones: (6.18), con la cual determinaremos el diámetro hidráulico puesto que para el flujo por tubos no circulares, el número de Reynolds así como el número de Nusselt se basan en el diámetro hidráulico D_h e iterar entre las ecuaciones (6.14), (6.17), (6.18), y (6.22) para calentamiento

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \quad (6.18)$$

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi D_h \mu} \quad (6.17)$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (6.14)$$

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \quad (6.13)$$

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \quad (6.22)$$

Sustituyendo en la Ec. 6.22 la Ec. 6.13, 6.17 y 6.14, tenemos:

$$\frac{h D_h}{k} = 0.023 \left(\frac{2 * \dot{m}}{\pi D_h \mu} \right)^{0.8} * \left(\frac{\mu C_p}{k} \right)^{0.4}$$

$$h = 0.023 \left(\frac{2 * \dot{m}}{\pi D_h \mu} \right)^{0.8} * \left(\frac{\mu C_p}{k} \right)^{0.4} * \left(\frac{k}{D_h} \right)$$

Donde μ , C_p , k , y ρ se evalúan a temperatura promedio del aire a la entrada al recinto de las resistencias es decir:

$$T_{prom.} = \frac{T_{horno} + T_{recirculación}}{2} = \frac{181.736 + 136.45}{2} = 164.093 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Como datos tenemos (Datos obtenidos por interpolación del Anexo E1):

$T_{prom.}$ ($^\circ\text{C}$)	C_p (J/Kg.K)	μ (Kg/m.s)	k (W/m.K)	D_h (m)	\dot{m} (Kg/s)	ρ (Kg/m ³)
174.093	1018.11	2.479E-5	0.03599	0.1846	0.1195	0.7894

De aquí tenemos que:

$$h = 16.16437 \frac{W}{m^2.K}$$

Con este nuevo valor de coeficiente convectivo se recalcula las temperaturas y los calores almacenados por cada uno de los componentes de la carga. Obteniendo los siguientes resultados:

$$U = 9.38074 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

$$T_{horno} = 166.51 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{PVC} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{PET} = 26.072 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{Producto} = 17.15^\circ\text{C}$$

$$Q_{PVC} = 1242 \text{ W}$$

$$Q_{envase} = 2307.9 \text{ W}$$

$$Q_{Producto} = 2378.66 \text{ W}$$

$$T_{recirculación} = 117.8 \text{ }^\circ\text{C}$$

6.7.5.- DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS

6.7.5.1.- Pérdidas por paredes

De la fundamentación teórico de la propuesta tenemos que las pérdidas de calor a través de las paredes planas, dependen fundamentalmente de las características de los materiales, considerando lo siguiente:

- Condiciones de estado estable.
- Conducción unidimensional.
- Intercambio de radiación entre el aire y la superficie de las paredes internas del túnel insignificante.
- Coeficiente convectivo constante y uniforme.

Es aplicable la siguiente expresión:

$$\frac{Q_{perdidas}}{A} = \frac{T_{hp} - T_4}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3}} \quad (6.38)$$

Donde:

T_{hp} = Temperatura promedio en el interior del horno.

T_4 = Temperatura de la superficie de la pared exterior.

e_1 = espesor de pared interior.

e_2 = espesor de la capa de aislamiento.

e_3 = espesor de pared exterior.

k_1, k_2, k_3 = Conductividades térmicas de los materiales.

h_i = Coeficiente global por radiación y convección en el interior del horno.

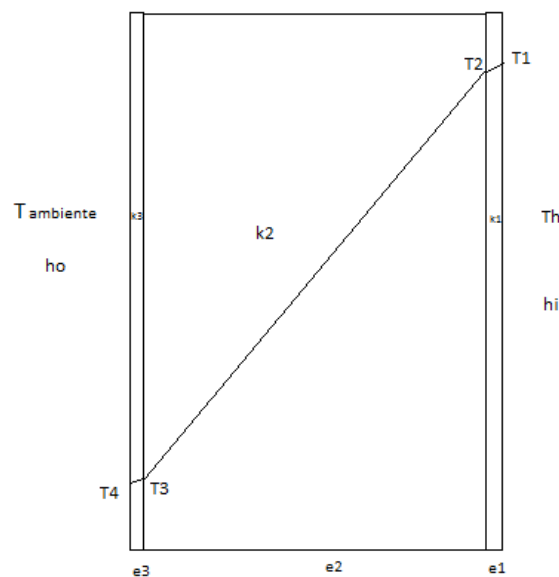


FIGURA 6.13 PARED COMPUESTA DE TRES CAPAS

Para lo cual es necesario estimar o asumir T_4 segura o que no cause daño y conociendo los materiales con los que se construirá el túnel que son láminas de acero galvanizado necesito calcular el espesor de aislante. Pero al desconocer el calor perdido es difícil calcular el espesor de aislante, por tal razón nos podemos apoyar en la siguiente expresión:

$$\frac{Q_{perdidas}}{A} = a * (T_4 - T_{ambiente})^{1.25} \cdot \varepsilon \cdot \left[\left(\frac{T_4 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ambiente} + 273}{100} \right)^4 \right] W/m^2 \quad ^{40}$$

(6.39)

Donde:

T_4 = Temperatura de la pared exterior del horno (°C).

$T_{Ambiente}$ = Temperatura ambiente (°C)

ε = Emisividad total de la pared

a = Coeficiente que depende de la velocidad del aire.

Por lo tanto tengo que:

$$\frac{T_{hp} - T_4}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} \right)} = a(T_4 - T_{amb})^{1.25} + 5.67 \varepsilon \left[\left(\frac{T_4 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{amb} + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (6.50)$$

Donde:

T_{hp} = Temperatura promedio del horno (°C).

T_4 = Temperatura de la pared exterior del horno (°C).

⁴⁰ Ecuación obtenida de Julio Astigarraga “Hornos Industriales de Resistencias” Pág.81 ecuación (3.2)

T_{amb} = Temperatura Ambiente (°C).

ε = Emisividad total de la pared ($\varepsilon = 0.4$ de la fundamentación teórica).

a = Coeficiente que depende de la velocidad del aire ($a = 2.2$ de la fundamentación teórica).

h = Coeficiente Convectivo (Wm^2/K)

e_1 = espesor tol interior (m)

e_2 = espesor aislante (m)

e_3 = Espesor tol exterior (m)

k_1 = conductividad térmica del tol interior (W/m.K)

k_2 = conductividad térmica del material aislante (W/m.K)

k_3 = conductividad térmica del tol exterior (W/m.K)

Despejando el espesor del aislamiento e_2 tenemos:

$$e_2 = k_2 \left[\frac{(T_{hp} - T_4)}{a \cdot (T_4 - T_{amb})^{1.25} + 5.67 * \varepsilon * \left[\left(\frac{T_4 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{amb} + 273}{100} \right)^4 \right]} - \frac{1}{h_i} - \frac{e_1}{k_1} - \frac{e_3}{k_3} \right] \quad (6.51)$$

Para evaluar las propiedades del aire se considero una temperatura promedio de horno de la misma forma lo volvemos a hacer con las nuevas temperaturas calculadas.

$$T_{hp} = \frac{T_{horno} + T_{resirculacion}}{2}$$

$$T_{hp} = 143.15 \text{ °C}$$

Asumiendo que la temperatura de las paredes exteriores del túnel deben estar entre el rango de 30 a 40 °C por razones de seguridad, se tomara 40° para el cálculo.

Las paredes interior y exterior del túnel de termo contracción será de Lámina de acero galvanizada ASTM A653de $e_1 = 1$ mm., $e_3 = 1.2$ mm. con una conductividad térmica de $k_1 = k_3 = 59.46$ W/m.°K

El material aislante será lana de vidrio con una conductividad térmica de $k_2 = 0.038$ W/m.°K. (Ver tabla N° 6.2)

Lo que nos da un espesor de aislante de: $e_2 = 0.03289$ m.

Las pérdidas totales de calor por paredes esta dado por:

$$Q_{perdidas\ pared} = 2 * Q_{pared\ vertical} + Q_{horizontal\ superior} + Q_{horizontal\ inferior} \quad (6.52)$$

Siendo la pérdida por pared igual a:

$$Q_{perdida\ pared} = \frac{(T_{hp} - T_4) * A}{\sum R} \quad (6.38)$$

De la fundamentación teórico de la propuesta tenemos:

“En hornos pequeños y medianos se toma en cuenta el mayor efecto aislante de arista y vértices, tomándose una superficie media calculada por la fórmula”⁴¹:

$$A_m = \sqrt{A_e * A_i} \quad (6.40)$$

⁴¹ Julio Astigarraga Urquiza “Hornos industriales de resistencias”. Pág. 83 Ec. (3.3)

Donde:

A_m = Área media de cálculo

A_e = Área exterior del túnel.

A_i = Área interna de cálculo.

Para pared vertical el área $A_i = 0.54 \text{ m}^2$, $A_e = 0.84 \text{ m}^2$ lo que nos da una área media de $A_m = 0.67 \text{ m}^2$ entonces para las Pérdidas tenemos.

$$Q_{\text{perdida pared}} = \frac{(T_{hp} - T_4) * A}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3}\right)} \quad (6.38.1)$$

Donde:

T_{hp} = Temperatura promedio del horno (°C).

T_4 = Temperatura de la pared exterior del horno (40 °C).

A_m = Área media de calculo

h = Coeficiente Convectivo (Wm^2/K)

e_1 = espesor tol interior (m)

e_2 = espesor aislante (m)

e_3 = Espesor tol exterior (m)

k_1 = conductividad térmica del tol interior (W/m.K)

k_2 = conductividad térmica del material aislante (W/m.K)

k_3 = conductividad térmica del tol exterior (W/m.K)

$$Q_{\text{perdida pared vertical}} = 113.2 \text{ W}$$

Para pared horizontal el área $A_i = 0.48 \text{ m}^2$, $A_e = 0.70 \text{ m}^2$ lo que nos da una área media $A_m = 0.58 \text{ m}^2$ entonces para las pérdidas horizontales tenemos:

$$Q_{\text{perdida pared}} = \frac{(T_{\text{horno}} - T_4) * A}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3}\right)} \quad (6.38.2)$$

$$Q_{\text{perdida inferior}} = 120.79 \text{ W}$$

$$Q_{\text{perdida pared}} = \frac{(T_{\text{recirculación}} - T_4) * A}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3}\right)} \quad (6.38.3)$$

Donde:

$T_{\text{recirculación}}$ = Temperatura de recirculación del horno (°C).

T_4 = Temperatura de la pared exterior del horno (40 °C).

A_m = Área media de cálculo (m^2)

h = Coeficiente Convectivo (Wm^2/K)

e_1 = espesor tol interior (m)

e_2 = espesor aislante (m)

e_3 = Espesor tol exterior (m)

k_1 = conductividad térmica del tol interior (W/m.K)

k_2 = conductividad térmica del material aislante (W/m.K)

k_3 = conductividad térmica del tol exterior (W/m.K)

$$Q_{perdida\ superior} = 74.86\ W$$

$$Q_{perdidas\ pared} = 2 * Q_{pared\ vertical} + Q_{horizontal\ superior} + Q_{horizontal\ inferior}$$

$$Q_{perdidas\ pared} = 2 * 113.2\ W + 74.86\ W + 120.7099\ W$$

$$Q_{perdidas\ pared} = 421.3\ W$$

6.7.5.2.-Pérdidas en la banda transportadora.-

Considerando la temperatura del horno y la velocidad de la banda transportadora constante en el funcionamiento del horno debe verificarse que:

$$Q_{conveccion} = Q_{almacenada\ por\ la\ banda}$$

Para realizar el cálculo de las pérdidas en la banda transportadora considerare lo siguiente:

- Condiciones de estado estable.
- Conducción unidimensional.
- Intercambio de radiación entre el aire y la superficie de la banda transportadora en la parte interna del túnel insignificante.
- Coeficiente convectivo constante y uniforme.

Entonces se tiene que:

$$\frac{A_{comvección} \cdot \left(T_{horno} - \frac{T_{banda} + T_{0banda}}{2} \right)}{R} = \dot{m} C_{p_{banda}} \cdot (T_{banda} - T_{0banda})$$

Despejando la temperatura final de la banda se tiene:

$$T_{banda} = \frac{T_{obanda} \cdot (2 \cdot \dot{m} \cdot R \cdot C_{pbanda} - A_{conv.}) + 2A_{conv} \cdot T_{horno}}{2 \cdot \dot{m} \cdot R \cdot C_{pbanda} + A_{conveccion}} \quad (6.53)$$

Considerando que la banda transportadora será de malla galvanizada se tiene, $A_{convectiva} = 0.2112 \text{ m}^2$, $C_p = 481.51 \text{ J/Kg} \cdot ^\circ\text{K}$, $\dot{m} = 0.3255 \text{ Kg/seg}$.

Remplazando y calculando la temperatura de salida de la banda es $T = 20.77^\circ\text{C}$ y la temperatura a la entrada es igual a la temperatura ambiente que es $T = 17^\circ\text{C}$, lo que nos da:

$$Q_{almacenada \text{ por la banda}} = \dot{m} C_{pbanda} \cdot (T_{banda} - T_{obanda}) \quad (6.54)$$

$$Q_{almacenada \text{ por la banda}} = 504.4 \text{ W}$$

6.7.5.3.-Pérdidas por infiltración de aire.-

Cuando el producto o paquete entra o sale del horno la cortina se levanta para luego retornar a su posición inicial este movimiento hace que la cortina en su retorno introduzca aire dentro de la cámara de contracción es decir se producirá una infiltración de aire, el calor requerido para calentar el aire hasta la temperatura del horno es calor perdido por tal razón es necesario determinar las pérdidas por abertura de cortinas.

Sin embargo a nivel de la boca del horno se puede considerar que la presión en el interior y en el exterior del horno son idénticas.

El volumen desplazado al ingreso y a la salida del paquete será:

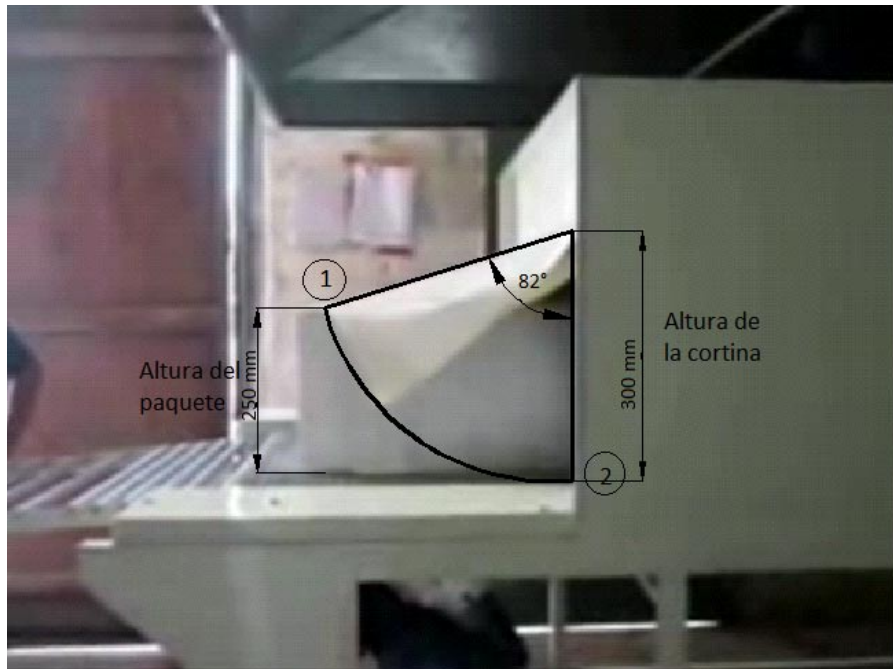


Figura 6-14 Movimiento de la cortina al salir el empaque.

En la figura 6-14 se puede observar el desplazamiento de la cortina desde la posición 1 hasta la posición 2 una vez que el paquete ha terminado de salir totalmente estas retornan desplazando un volumen de aire a temperatura ambiente.

Para calcular el volumen de aire desplazado se calcula el área del sector circular descrito por la cortina y esta multiplicada el ancho de la cortina tenemos entonces:

$$\gamma = A_{arco} * w_{cortina} \quad (6.55)$$

Donde:

A_{arco} = Área del arco descrita por el extremo inferior de la cortina (m^2).

$w_{cortina}$ = Ancho de la cortina (m)

γ = volumen de aire desplazado (m^3).

Tenemos que considerar que la medida angular tiene que estar en radianes por lo tanto:

$$\theta = \frac{82^\circ * \pi}{180^\circ} = 1.44 \text{ rad}$$

$$A_{\text{arco}} = \frac{1}{2} * h_{\text{cortina}}^2 * \theta$$

(6.56)

Remplazando 6.55 en 6.56

$$\gamma = \frac{1}{2} * h_{\text{cortina}}^2 * \theta * w_{\text{cortina}}$$

$$\gamma = 0.01475 \text{ m}^3$$

El fluido que fluye por un ducto por unidad de tiempo se llama gasto volumétrico para calcularlo nos basaremos en la producción requerida que es de 20 paquetes/ minuto:

$$\dot{\gamma} = 0.01475 \frac{\text{m}^3}{\text{paquete}} * 20 \frac{\text{paquetes}}{\text{minuto}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}}$$

$$\dot{\gamma} = 0.004919 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Considerando que el paquete al entrar al horno las cortinas desplaza el volumen de aire ya calculado hacia afuera del horno dicho fluido esta a la temperatura del horno mientras que cuando el paquete sale las cortinas ingresan un mismo volumen pero a temperatura ambiente por tal razón la densidad del aire se evalúa a temperatura ambiente y temperatura del horno. La energía que se pierde al desplazar los volúmenes de aire a la entrada y a la salida serán:

$$Q_{\text{perdida cortinas}} = \dot{\gamma} * (\rho_{\text{temperatura ambiente}} - \rho_{\text{temperatura horno}}) * C_p * (T_{\text{horno}} - T_{\text{ambiente}}) \quad (6.57)$$

Donde C_p se evalúa a temperatura ambiente.

$$Q_{\text{cortinas}} = 0.004919 * (1.217 - 0.7788) * 1007 * (166.51 - 17)$$

$$Q_{\text{cortinas}} = 316.9 \text{ W}$$

6.7.6.- CALOR DEL SISTEMA.

El principio de conservación de la energía (o balance energético) para cualquier sistema que pasa por un proceso se puede expresar como sigue:

$$E_{entra} = E_{sale}$$

De aquí que podemos decir que la energía requerida para el flujo de aire será:

$$Q_{sistema} = Q_{perdidas} + Q_{paquete} \quad (6.58)$$

6.7.6.1.-EL DISEÑO SUS CONSIDERACIONES Y ESPECIFICACIONES.

Tabla 6.3 Velocidad de producción

Variables	Valores
Producción requerida N° de paquetes por minuto	20 paquetes /minuto
Velocidad de transportación para el paquete más grande	9 m/min.

Fuente: Autor

6.7.6.2.-DIMENSIONES DEL TÚNEL TERMOENCOGIBLE

Tabla 6.4 Dimensiones de cámara de termo contracción

Variables	Valores	Unidades
Altura de entrada a la cámara	300	mm
Ancho de la cámara	330	mm
Longitud del de la cámara.	1200	mm

Fuente: Autor

6.7.6.3.- RESULTADOS DE PÉRDIDAS DE CALOR.

Tabla 6.5 Perdidas de calor

Pérdidas $Q_{\text{Pérdidas}}$	Valores
Paredes Q_{paredes}	421.3 W
Abertura de cortinas Q_{Cortinas}	3316.9 W
Transportadora Q_{banda}	504.4 W
Total Pérdidas	1242.2 W

Fuente: Autor

6.7.6.4.- ENERGÍA REQUERIDA POR EL PAQUETE

Tabla 6.6 Energía requerida por el paquete

Componente	Valores
P.V.C.	1242 W
Envase	2307.9 W
Producto	2378.6 W
Total energía requerida	5928.01 W

Fuente: Autor

6.7.6.5.- NÚMERO DE RESISTENCIAS

De estos dos últimos apartados 6.7.6.3 y 6.7.6.4 se determinan la energía requerida por el aire (fluido de operación) con la ecuación 6.58 que quedo ya establecida $Q_{\text{sistema}} = Q_{\text{perdidas}} + Q_{\text{paquete}}$, de aquí se tiene:

$$Q_{\text{sistema}} = 1242 \text{ W} + 5928 \text{ W}$$

$$Q_{\text{sistema}} = 7170 \text{ W}$$

De este resultado determino el número de resistencias que requiero para el túnel.

La energía que proporcionara la resistencia debe ser:

$$E_{resistencia} \geq 7170 W$$

Para la energía requerida seleccionaremos resistencias blindadas de 1000 W para lograr uniformidad de calentamiento a ambos lados por lo que el número de resistencias necesario será:

$$N_R = \frac{E_{requerida}}{E_{resistencia}}$$

$$N_R = \frac{7170W}{1000W}$$

$$N_R = 7.17 \rightarrow 8 \text{ Resistencias}$$

Del resultado obtenido el número de resistencias requerido para el túnel será de 8 resistencias mismas que se dispondrán 4 a cada lado.

6.7.7.- CÁLCULO Y SELECCIÓN DE TURBINA DE AIRE Y MOTOR

“El aire se hace circular en el interior del horno mediante grupos motor-ventilador adecuados, a la velocidad previamente determinada a través de la carga, realizándose el calentamiento del aire a su paso por las resistencias, normalmente separadas de la cámara útil del horno mediante la interposición de deflectores y convectores”⁴².

Entonces de la ecuación 6.19 y 6.23 se determina la caída de presión y se tiene que:

$$Re = \frac{4 \cdot \overset{o}{m}}{\pi D_h \mu} \quad (6.17)$$

$$Re = \frac{4 \cdot 0.1195}{\pi \cdot 0.1846 \cdot 2.479 E-5}$$

$$Re = 33248.32$$

⁴² Julio Astigarraga Urquiza “Hornos industriales de resistencias”. Pág. 121

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad 3\,000 < Re < 5 \times 10^6 \quad (6.19)$$

$$f = 0.023065$$

Como datos tenemos (Datos obtenidos por interpolación del Anexo E1):

$T_{prom.}$ (°C)	C_p (J/Kg.K)	μ (Kg/m.s)	k (W/m.K)	D_h (m)	\dot{m} (Kg/s)	ρ (Kg/m ³)
142.203	1018.11	2.479E-5	0.03599	0.1846	0.1195	0.7894

$$\Delta P = f * \frac{\rho * v_m^2}{2 * D_h} * H \quad (6.23)$$

$$\Delta P = 3.986 \text{ Pa.}$$

Del gasto de másico tenemos el flujo de aire:

$$\dot{m} = 0.1195 \text{ Kg/s}$$

$$\text{Flujo de aire} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0.1195}{0.7894} = 0.1514 * 3600 = 544.97 \text{ m}^3/\text{h}$$

Entonces la turbina seleccionada debe tener características aproximadas a las siguientes:

Flujo de aire (m ³ /h)	545
Caída de presión (Pa)	4

Entonces del Apéndice K se escogerá una turbina SE 180 x 72 con un punto de máximo rendimiento a 1500 rpm donde maneja un caudal de 600 m³ /h y una caída de presión de de 300 Pa.



Cálculo del motor de la Turbina

Para seleccionar el motor requerido se tiene los siguientes datos de la turbina seleccionada:

SE 200 x 82 con un punto de máximo rendimiento a 1500 rpm donde maneja un caudal de 750 m³ /h y una caída de presión de 400 Pa.

La potencia del motor será:

$$P = C * \Delta P$$

$$P = 600 * 300$$

$$P = 50 \text{ W}$$

Considerando una eficiencia del motor del 70 % entonces la potencia requerida por el motor será:

$$P = \frac{50}{0.7}$$

$$P = 71.43 \text{ W}$$

$$P = 0.16 \text{ Hk}$$

6.7.8.- CÁLCULO Y SELECCIÓN DE MOTOREDUCTOR

En la sección 6.3.1 se determino la masa de los componentes del paquete los cuales tenemos:

Termoplástico PVC

$$m = 0.02005 \text{ Kg/paquete}$$

Envase de PET:

$$m = 0.7634 \text{ Kg/paquete}$$

Liquido (yogurt

$$m = 12.384 \text{ Kg/paquete}$$

Sumando las masas de los componentes del paquete tendremos que la masa del paquete es:

$$m = 13.167 \text{ Kg} = \text{masa del paquete}$$

La malla tiene 15 kg y si la longitud de la transportadora es de 2.0 m. consideraremos que sobre esta podrán estar 5 paquetes simultáneamente entonces tendremos que:

$$F = (13.16 * 5 + 15) * 9.8 \text{ (N)}$$

$$F = 792.21 \text{ (N)}.$$

La velocidad máxima a la cual puede operar la banda transportadora es de 15 m/min

$$V = 15 \text{ m/min} * 1/60$$

$$V = 0.25 \text{ m/s}.$$

Definimos a la potencia como la razón a la que se efectúa un trabajo. También podemos expresar la potencia suministrada a un cuerpo en función de la velocidad del cuerpo y de la fuerza que actúa sobre él.

$$P = F * V$$

$$P = 792.21 \text{ (N)} * 0.25 \text{ m/s}$$

$$P = 198.05 \text{ W}$$

$$P = 0.198 \text{ KW}$$

Considerando una eficiencia del motor del 60 % por motivos de pérdidas de rozamiento, etc. entonces la potencia requerida por el motor será:

$$P = \frac{0.198}{0.6} \text{ KW}$$

Entonces el motor-reductor debe cumplir con las siguientes características:

$$P=0.33 \text{ Kw} = 0.45 \text{ HP.}$$

Del Apéndice I seleccionamos una caja reductora H-100, 0.5 HP ,1500 rpm relación 1:30.

6.8.- Modelo Operativo.

6.8.1.- Cronograma de construcción.-

Tomamos cronograma sugerido en la referencia 10

1).- Adquisición de materiales y componentes.

De acuerdo con los cálculos y las necesidades del equipo los materiales y componentes a considerar son:

Tabla 6.7 Materiales y componentes del túnel de termo contracción

Material/componente	Especificaciones/medidas	Cantidad
Resistencias eléctricas	1000 W	8
Motor eléctrico	(250W) 1/3 HP 1500 rpm 220V	1
Turbina de aire	SE 180 x 72 (160mm.)	1
Motorreductor	(373W) 0.5 HP 1800 rpm i=30	1
Malla (banda transportadora)	4.2 m x 0.33 m	1
Lana de vidrio	e = 0.04 m.	3 m
Perfil L (A 36)	1.5" * 5/32"	18 m.
Tubo galvanizado ASTM A53 Grado A	∅ = 1¼"	6 m.
Eje SAE 1018	D = 1/2"	6 m.
Remaches pop	3/16"	100
Braker principal (2 polos)	30 Amp.	1
Contactador (motor)	3 hp 220 V	1
Guarda motor	4 – 6 A	1
Contactador (resistencias)	7.5 KW 220 V	1
Pirómetro (0 – 400 °C)	1p 65 48 * 48	1
Termocupla bayoneta	J 12 mm1.8	1
Selector 2 posiciones	22 mm	3
Luces piloto	color tomate	3
Potenciómetro con	5k	1

perilla		
Variador de frecuencia	1hp	1
Ruedas	125 mm. Fijas	2
Ruedas	125 mm. Móviles	2
Platina de acero A36	½ " * 1 "	1
Placa de acero A36	6*120*80 mm.	4
Eje de transmisión SAE 1018	1 ½ "	0.6 m.
Pernos prisionero ANSI B18.3	¼ " * ¼ "	40
Eje de transmisión SAE 1018	7/8 * 1m.	1m.
Placa de acero A 36	140 * 70 * 6 mm.	2
Placa de acero A 36	160 * 60 * 6 mm.	2
Rodamientos	6204 2RS	4
Acero de transmisión SAE 1018	2 ¼ " *	15 cm.
Varilla roscada ANSI B18.8.1	5/16	4'.
Platina de acero	½ " * 1" * 0.20 m.	1
Perno tipo prisionero ANSI B18.3	¼ " * ½ "	4
Lámina de acero galvanizada ASTM A653	e = 1 mm.	3
Caja metálica (gabinete)	40 * 30 cm.	1
Espaciadores	2.5 * 2.5 * 1.5 cm.	4
Angulo acero inoxidable AISI 347	1.5 * 30 * 400 mm.	1
Platina de acero A36	¾ " * ¼ " * 34 cm.	1

Pernos de acero inoxidable ANSI B 18.2.1	1/4" * 1 1/2"	2
Pernos de acero inoxidable ANSI B 18.2.1	1/4 " * 1"	2
Placa de acero	6 * 30 * 200 mm.	4
Perfil L	1/8" * 3/4"	1m.
Eje de transmisión ASTM 1018	1 1/4 "	10 cm.
Alambre flexible	# 16 cobre	15 m.
Alambre concéntrico	3 * 16	5 m.
Alambre Termorresistente	# 12	12 m.
Tubo galvanizado ASTM A53	Ø = 3"	0.80 m.
Prensa estopas para cable	3/8 "	10
Perno con tuerca y rodela SAE 2	5/16" * 1"	20
Perno SAE 2	1/4" * 3/4"	40
Pernos SAE 2	1/4" * 1"	10
Pernos con tuerca SAE 2	3/8" * 1"	10
Tuercas ANSI B18	5/16"	6
Perno con tuerca y rodela SAE 2	1/4 " * 1 1/2"	10
Amarras plásticas		100

Fuente: Autor

2).- Construcción de las partes.

En virtud de que cada parte no se la puede comprar ya fabricada consideraremos dos partes importantes del equipo que son:

→ Sistema de transportación

→ Horno

Sistema de transportación o banda transportadora: para la banda transportadora tenemos los siguientes partes.

Tabla 6.8 Tiempo de construcción del sistema de transportación.

Elemento	Cantidad	Tiempo de construcción (h)
Bancada	1	19
Rodillos y tapas	18	28
Rodillos de extremos	2	9
Ajuste banda	1	5
Pintura	1	2
Total		63

Fuente: MECATEC (Manufacturer of best Equipements)

Horno o cámara.- dentro de la construcción de la cámara se tiene los siguientes elementos con sus respectivos tiempos estimados de construcción:

Tabla 6.9 Tiempo de construcción de la cámara de contracción.

Elemento	Cantidad	Tiempo de construcción (h)
Primera estructura Cámara interior	1	20
Segunda estructura Cámara interior	1	8
Plancha vertical Cámara interior	2	6
Plancha superior Cámara interior	1	3
Plancha vertical Cámara exterior	2	6
Plancha horizontal inferior Cámara exterior	1	3
Plancha horizontal superior Cámara exterior	1	3
Plancha cubre resistencias	2	3
Plancha anterior y posterior Cámara externa	2	4
Plancha superior conductora De aire de recirculación	2	2
Deflectores de aire	10	5
Total		63

Fuente: MECATEC (Manufacturer of best Equipements)

3).- Ensamble:

Según el diseño las partes del horno se construirán en el siguiente orden se estimara los posibles tiempos de construcción.

Tabla 6.10 Tiempo de ensamble.

Elemento	cantidad	Tiempo de ensamble (h)
Soldada y pulida bancada	1	6
Pintada de la bancada	1	4
Montaje de Cama de rodillos	1	9
Montaje de rodillos de extremo	2	3
Montaje y ajuste de banda	1	2
Instalación Motorreductor	1	2
Montaje plancha superior	1	1
Montaje de la primera cámara Interior	2	6
Montaje y alojamiento de las resistencias	2	6
Montaje de la segunda cámara Interior	2	6
Aislamiento de la	1	3

cámara Interior		
Montaje plancha vertical Exterior	2	3
Montaje plancha posterior y anterior cámara exterior	2	3
Montaje plancha horizontal superior cámara externa	1	2
Cableado	Varios	8
Montaje de turbina y motor de aire	1	6
Instalación de cortinas	2	2
Conformación del gabinete de control	1	8
Montaje del gabinete de control	1	3
Total		83

Fuente: MECATEC (Manufacturer of best Equipements)

6.9.- ADMINISTRACIÓN

6.9.1.- Costo del túnel de termo contracción.

A continuación se procederá a determinar el costo de construcción túnel de termo contracción detallando el costo de producción de cada uno de los elementos o partes constitutivas del equipo.

Tabla 6.11 Costos de materiales y equipos

Descripción	Cantidad	Valor UNIT(\$).	Valor TOT.(\$).
Resistencias Eléctricas 1000W.	8 u	55	440
Variador de frecuencias1HP	1	360	360
Motor eléctrico 0.250 Kw	1 u	60	60
Turbina de aire SE 200 x 82.	1 u	297	297
Motor-reductor H-100; 0,5 HP,	1u	450	450
Banda transportadora Malla galvanizada.	4.20m	6	26
Lámina de acero galvanizada ASTM A653 e = 1 mm.	3u	160	480
Lana de vidrio , e =4cm.	3m	9	27
Perfil L 1½ * 5/32.	18m	7.92	142.56
Tubo galvanizado ASTM A53 Ø = 1 ¼"	6 m.	4.97	30
Tubo galvanizado ASTM A53 Ø = 3"	0.80 m.	4.97	4.97
Eje SAE 1018 d = ½"	6m.	2.66 c/Kg	16
Eje SAE 1018 d = 1 ½"	0.6m.	3.5 c/Kg	20.50

Eje SAE 1018 d = 7/8 "	1m.	2.66 c/Kg	10.32
Acero de transmisión	0.15m	3.70 c/Kg	11.10
Placas de acero A 36	7	20.08	140.56
Pernos	158	0.45	71.10
Rodamientos 6204	4	1.30	5.20
Remaches pop 3/16"	100	0.20	20
Automatización y Control	1	340	340
Ruedas 125 mm. Fijas	2	22.41	44.82
Ruedas 125 mm. Móviles	2	26.97	54
Soldadura.	5 Kg	3	15
Pintura.	2 GlS	10	20
Horas maquinado.	35	10	350
Horas soldadura.	2	2	4
Horas de ensamble y puesta a punto.	83	5	415
Gastos Administrativos	n	500	500
Imprevistos	n	650	650

Fuente: MECATEC (Manufacturer of best Equipements)

Costo total del Túnel termo contracción \$ 5005.13

BIBLIOGRAFÍA

1. YUNUS A. ÇENGEL (2007), "Transferencia de calor y masa", Tercera Edición Mc Graw Hill, México
2. INCROPERA P. FRANK (1999), "Fundamentos de transferencia de calor", Cuota Edición, Prentice Hall, México.
3. URQUIZA J. ASTIGARRAGA (1999), "Hornos industriales de resistencias", Mc Graw Hill, Colombia
4. ALAN J. CHAPMAN (1990), "Transmisión de calor", Bellisco, Tercera Edición, Madrid
5. DONALD Q. KERN (1999), "Procesos de transferencia de calor", Editorial Continental, trigésima primera reimpresión, México
6. Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 20, N. 1, 1-9, (Octubre, 2007), ISSN : 0257-1749
7. DONALD R. ASKELAND (1998), "Ciencia e Ingeniería De Los Materiales", Thomson, Tercera Edición, México.
8. ESCOBAR L. – MACHADO L. (1995), "Diseño y Construcción de un Equipo Para Almacenar, Secar y Conservar los Electroodos" (Tesis Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica del Chimborazo).
9. ZANBRANO C. GUSTAVO A., "Diseño de un Túnel de Termocontraccion para Etiquetar botellas con Película PVC"

(Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2007)

10. MAYANCELA C. RONALD E, "Diseño de un Túnel de Termocontracción para películas Termoencogibles usado en el Embalaje de Productos" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2004)
11. ROBERT L. MOTT, P. E. "Diseño de elementos de máquinas", Pearson Educación, Segunda Edición, México.
12. NARANJO LÓPEZ G. (2004), "Tutoría de la Investigación Científica", Diemerino Editores, Quito – Ecuador.
13. www.plastivida.com.ar
14. www.empaquesplasticos.com.mx
15. www.plasticbages.com/pvcplastico.html
16. www.amiclor.org
17. es.wikipedia.org
18. http://editorial.cda.ulpgc.es/ambiente/1_calor/4_transm/index.htm
19. <http://www.arqhys.com/arquitectura/embalaje-flexible-historia.html>
20. www.tutiempo.net

Anexo A

FICHA DE CAMPO.

Anexo A1: Embalaje en el túnel de termo contracción

Anexo A2: Embalaje en forma manual

Anexo A1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Fecha:

hora:

Temperatura ambiente:

Embalaje en el túnel de termo contracción

Velocidad	Presentación cc	Tiempo	Observaciones
	50		
	100		
	200		
	250		
	300		
	500		
	50		
	100		
200			
250			
300			
500			
	50		
	100		
	200		
	250		
300			
500			

Anexo A2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Fecha:

hora:

Temperatura ambiente:

Embalaje en forma manual

Velocidad	Presentación cc	Tiempo	Observaciones
	50		
	100		
	200		
	250		
	300		
	500		

Anexo B

DATOS TÉCNICOS DE TERMOPLÁSTICOS

Anexo B1: Datos técnicos de termoplástico PVC vendido en el mercado extranjero.

Anexo B2: Datos técnicos de termoplásticos vendidos en el mercado nacional.

Anexo B1



EMPAQUES PLASTICOS DE MEXICO S.A. DE C.V.

PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA PELÍCULA.

PELÍCULA ENCOGIBLE DE PVC

Entre las características básicas que definen a la película termoencogible de PVC están:

PRINCIPALES PARÁMETROS CONTROLADOS EN LA PRODUCCIÓN

PARÁMETRO	RANGO DE FABRICACIÓN	TOLERANCIA
Peso (Kg.)	-	+1%.
Medida (cm)	5 a 120 (Doblada o Plana)	(Doblada). +1 cm para 5 a 20 cm ancho nominal +2 cm para 21 a 60 cm ancho nominal +3 cm para más de 60 cm ancho nominal
	15 a 120 (Tubular)	(Plana o Tubular). +0.5 cm para 5 a 20 cm ancho nominal +1.0 cm para 21 a 60 cm ancho nominal +1.5 cm para más de 60 cm ancho nominal
Calibre (0.0001")	100 a 250 (para 12 a 20 cm de ancho)	+10% del calibre nominal.
	50 a 250 (para 21 a 120 cm de ancho)	
Encogimiento (%)	10 a 50% (D/M ó D/T)	+5% adicional al nominal.
Tiempo de Encogimiento	5 a 8 seg. (para 80 a 200 °C)	+ 5% del tiempo máximo.

Como valores adicionales de referencia intrínsecos al material y que son útiles para evaluar sus propiedades están los siguientes:

Valores para película encogible con formulación estándar (CALIBRE 100, ENC.: 30%DT / 30%DM)

PROPIEDADES	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR D.T.	VALOR D.M.
Densidad. (g/cm ³)	-	1.30	
Resistencia a la Tensión (lbf/pulg ²)	ASTM-D-882-97	7876.20	8294.60
Elongación. (%)	ASTM-D-882-97	145	120
Resistencia Inicial al Rasgado. Fuerza. (lbf) -Resist.(lbf/pulg)	ASTM-D-1004-94a	1.12 -790.87	1.08 - 768.67
Resistencia del Sello. Fuerza. (lbf) -Resist.(lbf/pulg)	ASTM-F-88-99	11.17 - 11.27	-
Índice de Transmisión de Oxígeno. (cm ³ /100pulg ² /d)	ASTM-D-3985-90	45.08336	-
Índice de Transmisión de Vapor de Agua. (g/100pulg ² /d)	ASTM-F-1249-90	3.612	-
Coefficiente de Fricción Estático.	ASTM-D-1984-81T	0.146	0.140
Coefficiente de Fricción Dinámico.	ASTM-D-1984-81-T	0.155	0.148

www.empaquesplasticos.com.mx

PASTOR NO. 5. COL. TECAMACHALCO.
LOS REYES LA PAZ.
C.P. 56500 ESTADO DE MÉXICO

TELÉFONOS Y FAX: 2613-8418
2613-8596
2632-5679

Anexo B2

DATOS TECNICOS DE PELICULA DE PVC

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	1.35 g/cc	0.0488 lb/in ³	ASTM D792
Water Absorption	0.06 %	0.06 %	24 hrs.; ASTM D570
Water Absorption at Saturation	0.15 %	0.15 %	7 days; ASTM D570
Mechanical Properties			
Hardness, Rockwell R	94	94	ASTM D785
Hardness, Shore D	77	77	ASTM D2240
Tensile Strength, Ultimate	42 MPa	6090 psi	ASTM D638
Tensile Strength @ Yield	39.6 MPa	5750 psi	ASTM D638
Elongation at Break	160 %	160 %	
Modulus of Elasticity	2.319 GPa	336 ksi	
Flexural Modulus	2.39 GPa	347 ksi	ASTM D790
Flexural Yield Strength	64 MPa	9280 psi	ASTM D790
Compressive Yield Strength	55.2 MPa	8000 psi	ASTM D695
Ultimate Bearing Strength	37.9 MPa	5500 psi	ASTM D593
Shear Strength	31 MPa	4500 psi	ASTM D732
Izod Impact, Notched	9.53 J/cm	17.9 ft-lb/in	at 23°C; ASTM D256
Izod Impact, Notched, Low Temp	1.07 J/cm	2 ft-lb/in	at 32°F (0°C); ASTM D256
Tensile Impact Strength	158 kJ/m ²	75 ft-lb/in ²	ASTM D1822
Taber Abrasion, mg/1000 Cycles	0.038	0.038	ASTM D1044
Electrical Properties			
Dielectric Constant	2.46	2.46	800 MHz; ASTM D150
Dielectric Constant	2.8	2.8	1 GHz; ASTM D150
Dielectric Constant, Low Frequency	3.4	3.4	60 Hz; ASTM D150
Dielectric Strength	Min 16.9 kV/mm	Min 430 V/mil	ASTM D149
Dissipation Factor	0.013	0.013	1 GHz; ASTM D150
Dissipation Factor	0.023	0.023	800 MHz; ASTM D150
Dissipation Factor, Low Frequency	0.022	0.022	60 Hz; ASTM D150
Arc Resistance	80 sec	80 sec	ASTM D495
Comparative Tracking Index	Min 600 V	Min 600 V	UL PLC 0 at 3.05 mm
Hot Wire Ignition, HWI	60 - 120 sec	60 - 120 sec	UL PLC 1 at 2.03 through 6.33 mm
High Amp Arc Ignition, HAI	30 - 60 arcs	30 - 60 arcs	UL PLC 2 at 1.57 through 6.33 mm
High Voltage Arc-Tracking Rate, HVTR	Min 150 mm/min	Min 5.91 in/min	UL PLC 4 at 1.57 through 6.33 mm
Thermal Properties			
CTE, linear 20°C	75.6 µm/m-°C	42 µm/in-°F	at 60°F (16°C); R&H P-4
Specific Heat Capacity	1.21 J/g-°C	0.289 BTU/lb-°F	R&H P-37
Thermal Conductivity	0.16 W/m-K	1.11 BTU-in/hr-°F	ASTM C177
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	78 °C	172 °F	annealed; ASTM D648
UL RTI, Electrical	50 °C	122 °F	at 1.57 through 6.33 mm
UL RTI, Mechanical with Impact	50 °C	122 °F	at 1.57 through 6.33 mm
UL RTI, Mechanical without Impact	50 °C	122 °F	at 1.57 through 6.33 mm
Flammability, UL94	V-0	V-0	V-0, 5V; Underwriter's Lab; UL Standard 94
Oxygen Index	37.5 %	37.5 %	ASTM D2863
Processing Properties			
Processing Temperature	163 - 200 °C	325 - 392 °F	Forming Temperature

Anexo C

PROPIEDADES DE POLÍMEROS

TERMOPLÁSTICOS

Anexo C

TABLA C.4
Propiedades de polímeros termoplásticos y termoestables seleccionados.


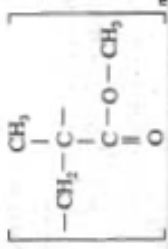
Nombre, unidad repetitiva	Estado	Densidad (g/cm ³)	Módulo elástico a tracción [ksi (MPa)]	Resistencia a la rotura [ksi (MPa)]	Elongación a rotura (%)	T _g (°C)	T _m (°C)	Conductividad térmica (W/m-K)	Resistencia eléctrica (Ω-m)	Coefficiente de dilatación [(°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶]
Termoplásticos										
Poliétileno [-CH ₂ -CH ₂ -] _n	Alta densidad, 70-80% cristalino Baja densidad, 40-50% cristalino	0,952-0,965 0,917-0,932	155-158 (1,07-1,09) 25-41 (0,17-0,28)	3,2-4,5 (22-31) 1,2-4,5 (8,3-31,0)	10-1200	-90	130-137	0,48	10 ¹³ -10 ¹⁷	60-110
Politetrafluoroetileno [-CF ₂ -CF ₂ -] _n	50-70% cristalino	2,14-2,20	58-80 (0,40-0,55)	2,0-5,0 (14-34)	200-400	-90	327	0,25	>10 ¹⁶	70-120
Cloruro de polivinilo [-CH ₂ -CH-] _n Cl	Altamente amorfo	1,30-1,58	350-600 (2,4-4,1)	6,0-7,5 (41-52)	40-80	75-105	212	0,18	—	50-100
Polipropileno [-CH ₂ -CH-] _n CH ₃	50-60% cristalino	0,90-0,91	165-225 (1,14-1,55)	4,5-6,0 (31-41)	100-600	-20	168-175	0,12	>10 ¹⁵	80-100
Poliestireno [-CH ₂ -CH-] _n 	Amorfo	1,04-1,05	330-475 (2,28-3,28)	5,2-7,5 (36-52)	1,2-2,5	74-105	—	0,13	>10 ¹⁴	50-83
Poli(metacrilato de metilo) 	Amorfo	1,17-1,20	325-470 (2,24-3,24)	7-11 (48-76)	2-10	85-105	—	0,21	>10 ¹²	50-90

TABLA C.4 (Continuación)
Propiedades de polímeros termoplásticos y termoestables seleccionados.

Nombre, unidad repetitiva	Estado	Densidad (g/cm ³)	Módulo elástico a tracción [kst (GPa)]	Resistencia a la rotura [kst (MPa)]	Elonga- ción a la rotura (%)	T _g (°C)	T _m (°C)	Conductivi- dad térmica (W/m-K)	Resistencia eléctrica (Ω-m)	Coficiente de dilatación [(°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶]
Nilón 6,6 Poli(hexametilén adipamida)	30-40% cristalino	1,13-1,15	230-550 (1,58-3,79)	11-13,7 (76-94)	15-300	57	255-265	0,24	10 ¹² -10 ¹³	80
$\left[\begin{array}{c} \text{---N---(CH}_2\text{)}_6\text{---N---C---(CH}_2\text{)}_4\text{---C---} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{O} \quad \parallel \quad \text{O} \\ \text{---} \end{array} \right]_n$										
Poli(tereftalato de etilo)	0-30% cristalino	1,29-1,40	400-600 (2,76-4,14)	7,0-10,5 (48-72)	30-300	73-80	245-265	0,14	10 ¹²	65
$\left[\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{---C---} \end{array} \right] \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{C}(=\text{O})\text{---O---CH}_2\text{---CH}_2\text{---O---} \left. \right]_n$										
Policarbonato Poli(bisfenol-A Carbonato)	Amorfo	1,20	345 (2,38)	9,5 (65,5)	110	150	—	0,20	10 ¹⁵	68
$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{---C---} \end{array} \right] \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{C}(\text{CH}_3)_2 \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{O---C---O---} \left. \right]_n$										
Epoxi	Redes complejas, amorfas	1,11-1,40	350 (2,41)	4,0-13,0 (28-90)	3-6	—	—	0,19	~10 ¹⁴	45-65
Fenólico	Redes complejas, amorfas	1,24-1,32	400-700 (2,76-4,83)	5-9 (34-62)	1,5-2,0	—	—	0,15	10 ⁹ -10 ¹⁰	68
Poliéster	Redes complejas, amorfas	1,04-1,46	300-640 (2,07-4,41)	6-13 (41-90)	<2	—	—	0,19	10 ¹¹	55-100

Fuente: Adaptado de *Modern Plastics Encyclopedia* 1988. Copyright 1987, McGraw-Hill, Inc. Reproducida con permiso.

Anexo D

PROPIEDADES DE ALIMENTOS COMUNES

Anexo D1: Propiedades de alimentos comunes (S.I.)

Anexo D2: Propiedades de alimentos comunes
(Sistema Ingles)

Anexo D1

Propiedades de alimentos comunes a) Calores específicos y propiedades en el punto de congelación

Alimento	Calor específico, ^a kJ/kg · K				Calor latente de fusión, ^c kJ/kg
	Contenido de agua, ^a % (masa)	Punto de congelación, ^a °C	Arriba del punto de congelación	Debajo del punto de congelación	
Alimento					
Vegetales					
Alcachofas	84	-1.2	3.65	1.90	281
Espárragos	93	-0.6	3.96	2.01	311
Frijoles	89	-0.7	3.82	1.96	297
Brócoli	90	-0.5	3.86	1.97	301
Col	92	-0.9	3.92	2.00	307
Zanahorias	88	-1.4	3.79	1.98	294
Coliflor	92	-0.8	3.92	2.00	307
Apio	94	-0.5	3.99	2.02	314
Maíz tierno	74	-0.5	3.32	1.77	247
Peperinos	96	-0.5	4.06	2.05	321
Berenjena	93	-0.8	3.96	2.01	311
Rábano	75	-1.8	3.35	1.78	251
Porc	85	-0.7	3.69	1.91	284
Lechuga	95	-0.2	4.02	2.04	317
Hongos	91	-0.9	3.80	1.99	304
Quimbombó	90	-1.8	3.86	1.97	301
Cebollas frescas	89	-0.9	3.82	1.96	297
Cebollas secas	88	-0.8	3.79	1.95	294
Perejil	85	-1.1	3.69	1.91	284
Chicharos frescos	74	-0.6	3.32	1.77	247
Pimientos	92	-0.7	3.92	2.00	307
Papas	78	-0.6	3.45	1.82	261
Calabazas	91	-0.8	3.89	1.99	304
Espinaca	93	-0.3	3.96	2.01	311
Tomate rojo	94	-0.5	3.99	2.02	314
Nabos	92	-1.1	3.92	2.00	307
Frutas					
Manzanas	84	-1.1	3.55	1.90	281
Chabacanos	85	-1.1	3.59	1.91	284
Aguaqueates	65	-0.3	3.02	1.66	217
Plátanos	75	-0.8	3.35	1.78	251
Moras azules	82	-1.6	3.59	1.87	274
Melones	92	-1.2	3.92	2.00	307
Cerezas ácidas	84	-1.7	3.65	1.90	281
Cerezas dulces	80	-1.8	3.52	1.85	267
Higos secos	93	-	-	1.15	77
Higos frescos	78	-2.4	3.45	1.82	261
Toronja	89	-1.1	3.82	1.96	297
Uvas	82	-1.1	3.59	1.87	274
Limonas	89	-1.4	3.62	1.96	297
Aceitunas	75	-1.4	3.35	1.78	251
Naranjas	87	-0.8	3.75	1.94	291
Alimento					
Duraznos	89	-0.9	3.82	1.96	297
Peras	83	-1.6	3.62	1.89	277
Piñas	85	-1.0	3.69	1.91	284
Ciruelas	86	-0.8	3.72	1.92	287
Membrillos	85	-2.0	3.69	1.91	284
Pasas	18	-	-	1.07	60
Fresas	90	-0.8	3.66	1.97	301
Mandarinas	87	-1.1	3.75	1.94	291
Sandías	93	-0.4	3.96	2.01	311
Pescado/mariscos					
Bacalao entero	78	-2.2	3.45	1.82	261
Hipopótamo entero	75	-2.2	3.35	1.78	251
Langosta	79	-2.2	3.49	1.84	264
Macarela	57	-2.2	2.75	1.56	190
Salmón entero	64	-2.2	2.98	1.65	214
Camaron	83	-2.2	3.62	1.89	277
Carnes					
Res, canal de	49	-1.7	2.48	1.46	164
Higado	70	-1.7	3.18	1.72	234
Bistec	67	-	3.08	1.68	224
Lomo	56	-	2.72	1.55	187
Pollo	74	-2.8	3.32	1.77	247
Cordero, pierna de	55	-	3.02	1.66	217
Cerdo, canal de	37	-	2.08	1.31	124
Jamón	56	-1.7	2.72	1.55	187
Salchicha de puerco	38	-	2.11	1.32	127
Pavo	64	-	2.98	1.65	214
Otros					
Almendras	5	-	-	0.89	17
Mantequilla	16	-	-	1.04	53
Queso americano	37	-12.9	2.08	1.31	124
Queso suizo	39	-10.0	2.15	1.33	130
Chocolata con leche	1	-	-	0.85	3
Huevos enteros	74	-0.6	3.32	1.77	247
Miel de abeja	17	-	-	1.05	57
Mantecado	63	-5.6	2.95	1.63	210
Leche entera	88	-0.6	3.79	1.95	294
Cacahuates	6	-	-	0.92	20
Cacahuates tostados	2	-	-	0.87	7
Nueces encareadas	3	-	-	0.87	10
Nueces	4	-	-	0.88	13

Fuentes: ^aLos datos sobre los contenidos de agua y los puntos de congelación se tomaron del *Handbook of Fundamentals de la ASHRAE*, versión en el SI (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), Cap. 30, tabla 1. Usado con autorización. El punto de congelación es la temperatura a la cual esa congelación se inicia para las frutas y los vegetales, y la temperatura promedio de congelación para los otros alimentos.

^bLos datos de calor específico están basados en los valores del calor específico del agua y el hielo a 0°C y se determinan con base en las fórmulas de Stiebel: $C_{p, \text{fresco}} = 3.35 \times (\text{contenido de agua}) - 0.84$, arriba del punto de congelación, y $C_{p, \text{congelado}} = 1.26 \times (\text{contenido de agua}) + 0.84$, debajo del punto de congelación.

^cEl calor latente de fusión se determina al multiplicar el calor de fusión del agua (334 kJ/kg) por el contenido de agua del alimento.

Propiedades de alimentos comunes (conclusión)

b) Otras propiedades

Alimento	Contenido de agua, % (masa)	Temperatura, T°C	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, kW/m · °C	Difusividad térmica, α m ² /s	Calor específico, c_p kJ/kg · K
Frutas/Vegetales						
Manzana, jugo de	87	20	1 000	0.559	0.14×10^{-6}	3.86
Manzanas	85	8	840	0.418	0.13×10^{-6}	3.81
Manzanas secas	41.6	23	856	0.219	0.096×10^{-6}	2.72
Chabacanos secos	43.6	23	1 320	0.375	0.11×10^{-6}	2.77
Plátanos frescos	76	27	980	0.481	0.14×10^{-6}	3.59
Brócoli	—	-6	560	0.385	—	—
Moras frescas	92	0-30	1 050	0.545	0.13×10^{-6}	3.99
Higos	40.4	23	1 241	0.310	0.096×10^{-6}	2.69
Toronja, jugo de	89	20	1 000	0.567	0.14×10^{-6}	3.91
Duraznos	89	2-32	960	0.526	0.14×10^{-6}	3.91
Ciruelas	—	-16	610	0.247	—	—
Membrillos						
Papas	78	0-70	1 055	0.498	0.13×10^{-6}	3.64
Pasas	32	23	1 380	0.376	0.11×10^{-6}	2.48
Carnes						
Res, bistec de	67	6	950	0.406	0.13×10^{-6}	3.36
Res, carne magra de	74	3	1 090	0.471	0.13×10^{-6}	3.54
Res, carne grasosa de	0	35	810	0.190	—	—
Res, hígado de	72	35	—	0.448	—	3.49
Gatos, alimento para	39.7	23	1 140	0.326	0.11×10^{-6}	2.68
Pollo, pechuga de	75	0	1 050	0.476	0.13×10^{-6}	3.56
Perros, alimento para	30.6	23	1 240	0.319	0.11×10^{-6}	2.45
Bacalao	81	3	1 180	0.534	0.12×10^{-6}	3.71
Salmón	67	3	—	0.531	—	3.36
Jamón	71.8	20	1 030	0.480	0.14×10^{-6}	3.48
Cordero	72	20	1 030	0.456	0.13×10^{-6}	3.49
Puerco, carne magra	72	4	1 030	0.456	0.13×10^{-6}	3.49
Pavo, pechuga de	74	3	1 050	0.496	0.13×10^{-6}	3.54
Ternera	75	20	1 060	0.470	0.13×10^{-6}	3.56
Otros						
Mantequilla	16	4	—	0.197	—	2.08
Chocolate, pastel de	31.9	23	340	0.106	0.12×10^{-6}	2.48
Margarina	16	5	1 000	0.233	0.11×10^{-6}	2.08
Leche descremada	91	20	—	0.566	—	3.96
Leche entera	88	28	—	0.580	—	3.89
Olivo, aceite de	0	32	910	0.168	—	—
Cacahuete, aceite de	0	4	920	0.168	—	—
Agua	100	0	1 000	0.569	0.14×10^{-6}	4.217
	100	30	995	0.618	0.15×10^{-6}	4.178
Pastel blanco	32.3	23	450	0.082	0.10×10^{-6}	2.49

Fuente: Los datos se obtuvieron principalmente del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE, versión en el SI (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), Cap. 30, tablas 7 y 9. Usado con autorización.

La mayor parte de los calores específicos se calculan a partir de $c_p = 1.68 + 2.51 \times (\text{contenido de agua})$, lo cual es una buena aproximación en el rango de temperatura de 3 hasta 32°C. La mayor parte de las difusividades térmicas se calculan a partir de $\alpha = k/\rho c_p$. Los valores patentados dados son válidos para el contenido específico de agua.

Anexo D2

Propiedades de alimentos comunes a) Calores específicos y propiedades en el punto de congelación		Calor específico, ^b Btu/lbm · °F					Calor latente de fusión, ^c Btu/lb
		Contenido de agua, ^a % (masa)	Punto de congelación ^a °F	Arriba del punto de congelación	Debajo del punto de congelación	Calor específico, ^b Btu/lbm · °F	
Alimento							
Vegetales							
Alcachofas	84	30	0.873	0.453	83	29	119
Aspáragos	93	31	0.945	0.481	85	30	122
Enjolés	89	31	0.913	0.468	86	31	124
Brócoli	90	31	0.921	0.477	85	28	122
Col	92	30	0.937	0.478	18	31	26
Zanahorias	88	29	0.905	0.465	90	30	129
Coliflor	92	31	0.937	0.478	87	30	125
Apio	94	31	0.953	0.484	93	31	134
Maíz tierno	74	31	0.793	0.423			
Pepinos	96	31	0.969	0.490			
Berenjena	93	31	0.945	0.481			
Rabano	75	29	0.801	0.426			
Poro	85	31	0.881	0.456			
Lechuga	95	32	0.961	0.487			
Hongos	91	30	0.929	0.474			
Quiimbombó	90	29	0.921	0.471			
Cebollas frescas	89	30	0.913	0.468			
Cebollas secas	88	31	0.905	0.465			
Perejil	85	30	0.881	0.456			
Chicoríos frescos	74	31	0.793	0.423			
Pimientos	92	31	0.937	0.478			
Papas	78	31	0.825	0.435			
Calabazas	91	31	0.929	0.474			
Espinaca	93	31	0.945	0.481			
Tomate rojo	94	31	0.953	0.484			
Nabos	92	30	0.937	0.478			
Fruitas							
Manzanas	84	30	0.873	0.453			
Chabacanos	85	30	0.881	0.456			
Aguacates	65	31	0.721	0.396			
Plátanos	75	31	0.801	0.426			
Moras azules	82	29	0.857	0.447			
Melones	92	30	0.937	0.478			
Cerezas agrias	84	29	0.873	0.453			
Cerezas dulces	80	29	0.841	0.441			
Higos secos	23			0.270			
Higos frescos	78	28	0.825	0.435			
Toronja	89	30	0.913	0.468			
Uvas	82	29	0.857	0.447			
Limonas	89	29	0.913	0.468			
Aceitunas	75	29	0.801	0.426			
Naranjas	87	31	0.897	0.462			
Duraznos	89	30	0.913	0.468			
Otros							
Almendras	5			0.216			7
Mantequilla	16			0.249			23
Queso	37	9	0.497	0.312			53
americano	39	14	0.513	0.318			56
Queso suizo	1			0.204			1
Chocolate con leche	74	31	0.793	0.423			106
Huevos enteros	17			0.252			24
Miel de abeja	63	22	0.705	0.390			90
Mantecado	88	31	0.905	0.465			126
Leche entera	6			0.219			9
Cacahuates	2			0.207			3
Cacahuates tostados	3			0.210			4
Nueces encarameladas	4			0.213			6
Nueces							

Fuentes: ^aLos datos sobre los contenidos de agua y los puntos de congelación se tomaron del *Handbook of Fundamentals de la ASHRAE*, versión I-P (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), Cap. 30, tabla 1. Usado con autorización. El punto de congelación es la temperatura a la cual esa congelación se inicia para las frutas y los vegetales, y la temperatura promedio de congelación para los otros alimentos.

^bLos datos del calor específico están basados en los valores del calor específico del agua y el hielo a 32°F y se determinan con base en las fórmulas de Siebel: $C_p, \text{Hielo} = 0.800 \times (\text{contenido de agua}) + 0.200$, arriba del punto de congelación, y $C_p, \text{congelado} = 0.300 \times (\text{contenido de agua}) + 0.200$, debajo del punto de congelación.

^cEl calor latente de fusión se determina al multiplicar el calor de fusión del agua (143 Btu/lbm) por el contenido de agua del alimento.

Propiedades de alimentos comunes (conclusión)

b) Otras propiedades

Alimento	Contenido de agua, % (masa)	Temperatura, T , °F	Densidad, ρ , lbm/ft ³	Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · °F	Difusividad térmica, α , ft ² /S	Calor específico, c_p , Btu/lbm · R
Frutas/Vegetales						
Manzana, jugo de	87	68	62.4	0.323	1.51×10^{-6}	0.922
Manzanas	85	32-86	52.4	0.242	1.47×10^{-6}	0.910
Manzanas secas	41.6	73	53.4	0.127	1.03×10^{-6}	0.650
Chabacanos secos	43.6	73	82.4	0.217	1.22×10^{-6}	0.662
Plátanos frescos	76	41	61.2	0.278	1.51×10^{-6}	0.856
Brócoli	—	21	35.0	0.223	—	—
Cerezas frescas	92	32-86	65.5	0.315	1.42×10^{-6}	0.952
Higos	40.4	73	77.5	0.179	1.03×10^{-6}	0.642
Toronja, jugo de	89	68	62.4	0.328	1.51×10^{-6}	0.934
Duraznos	36-90	2-32	59.9	0.304	1.51×10^{-6}	0.934
Ciruelas	—	3	38.1	0.143	—	—
Papas	32-158	0-70	65.7	0.288	1.40×10^{-6}	0.868
Pasas	32	73	86.2	0.217	1.18×10^{-6}	0.592
Carnes						
Res, bistec de	67	43	59.3	0.235	1.40×10^{-6}	0.802
Res, carne magra de	74	37	68.0	0.272	1.40×10^{-6}	0.844
Res, carne grasosa de	0	95	50.5	0.110	—	—
Res, hígado de	72	95	—	0.259	—	0.832
Gatos, alimento para	39.7	73	71.2	0.188	1.18×10^{-6}	0.638
Pollo, pechuga de	75	32	65.5	0.275	1.40×10^{-6}	0.850
Perros, alimento para	30.6	73	77.4	0.184	1.18×10^{-6}	0.584
Bacalao	81	37	73.7	0.309	1.29×10^{-6}	0.886
Salmón	67	37	—	0.307	—	0.802
Jamón	71.8	72	64.3	0.277	1.51×10^{-6}	0.831
Cordero	72	72	64.3	0.263	1.40×10^{-6}	0.832
Puerco, carne magra	72	39	64.3	0.263	1.40×10^{-6}	0.832
Pavo, pechuga de	74	37	65.5	0.287	1.40×10^{-6}	0.844
Ternera	75	72	66.2	0.272	1.40×10^{-6}	0.850
Otros						
Mantequilla	16	39	—	0.114	—	0.496
Chocolate, pastel de	31.9	73	21.2	0.061	1.29×10^{-6}	0.591
Margarina	16	40	62.4	0.135	1.18×10^{-6}	0.496
Leche descremada	91	72	—	0.327	—	0.946
Leche entera	88	82	—	0.335	—	0.928
Olivo, aceite de	0	90	56.8	0.097	—	—
Cacahuete, aceite de	0	39	57.4	0.097	—	—
Agua	100	0	62.4	0.329	1.51×10^{-6}	1.000
	100	30	59.6	0.357	1.61×10^{-6}	1.000
Pastel blanco	32.3	73	28.1	0.047	1.08×10^{-6}	0.594

Fuente: Los datos se obtuvieron principalmente del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE, versión I-P (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), Cap. 30, tablas 7 y 9. Usado con autorización.

La mayor parte de los calores específicos se calculan a partir de $c_p = 0.4 + 0.6 \times$ (contenido de agua), lo cual es una buena aproximación en el rango de temperatura de 40 hasta 90°F. La mayor parte de las difusividades térmicas se calculan a partir de $\alpha = k/\rho c_p$. Los valores patentados son válidos para el contenido específico de agua.

Anexo E

PROPIEDADES DEL AIRE

Anexo E1: Propiedades del aire a la presión de una atmósfera (1 atm.) (S.I)

Anexo E2: Propiedades del aire a la presión de una atmósfera (1 atm.) (Sistema Ingles)

Anexo E1

Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-306067020-8.

Anexo E2

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T , °F	Densidad, ρ , lbm/ft ³	Calor específico, c_p , Btu/lbm · R	Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · R	Difusividad térmica, α , ft ² /h	Viscosidad dinámica, μ , lbm/ft · h	Viscosidad cinemática, ν , ft ² /h	Número de Prandtl, Pr
-300	0.24844	0.5072	0.00508	0.0403	0.01454	0.0585	1.4501
-200	0.15276	0.2247	0.00778	0.2266	0.02438	0.1596	0.7042
-100	0.11029	0.2360	0.01037	0.3985	0.03255	0.2951	0.7404
-50	0.09683	0.2389	0.01164	0.5029	0.03623	0.3741	0.7439
0	0.08630	0.2401	0.01288	0.6215	0.03970	0.4601	0.7403
10	0.08446	0.2402	0.01312	0.6468	0.04038	0.4781	0.7391
20	0.08270	0.2403	0.01336	0.6726	0.04104	0.4963	0.7378
30	0.08101	0.2403	0.01361	0.6990	0.04170	0.5148	0.7365
40	0.07939	0.2404	0.01385	0.7259	0.04236	0.5335	0.7350
50	0.07783	0.2404	0.01409	0.7532	0.04300	0.5525	0.7336
60	0.07633	0.2404	0.01433	0.7810	0.04365	0.5718	0.7321
70	0.07489	0.2404	0.01457	0.8093	0.04428	0.5913	0.7306
80	0.07350	0.2404	0.01481	0.8381	0.04491	0.6110	0.7290
90	0.07217	0.2404	0.01505	0.8673	0.04554	0.6310	0.7275
100	0.07088	0.2405	0.01529	0.8969	0.04615	0.6512	0.7260
110	0.06963	0.2405	0.01552	0.9270	0.04677	0.6716	0.7245
120	0.06843	0.2405	0.01576	0.9575	0.04738	0.6923	0.7230
130	0.06727	0.2405	0.01599	0.9884	0.04798	0.7132	0.7216
140	0.06615	0.2406	0.01623	1.0198	0.04858	0.7344	0.7202
150	0.06507	0.2406	0.01646	1.0515	0.04917	0.7558	0.7188
160	0.06402	0.2406	0.01669	1.0836	0.04976	0.7774	0.7174
170	0.06300	0.2407	0.01692	1.1160	0.05035	0.7992	0.7161
180	0.06201	0.2408	0.01715	1.1489	0.05093	0.8213	0.7148
190	0.06106	0.2408	0.01738	1.1821	0.05151	0.8435	0.7136
200	0.06013	0.2409	0.01761	1.2156	0.05208	0.8660	0.7124
250	0.05590	0.2415	0.01874	1.3884	0.05488	0.9818	0.7071
300	0.05222	0.2423	0.01985	1.5690	0.05758	1.1027	0.7028
350	0.04899	0.2433	0.02094	1.7566	0.06020	1.2288	0.6995
400	0.04614	0.2445	0.02200	1.9507	0.06274	1.3598	0.6971
450	0.04361	0.2458	0.02305	2.1508	0.06522	1.4955	0.6953
500	0.04134	0.2472	0.02408	2.3565	0.06762	1.6359	0.6942
600	0.03743	0.2503	0.02608	2.7834	0.07225	1.9300	0.6934
700	0.03421	0.2535	0.02800	3.2292	0.07666	2.2411	0.6940
800	0.03149	0.2568	0.02986	3.6925	0.08088	2.5684	0.6956
900	0.02917	0.2599	0.03164	4.1721	0.08494	2.9112	0.6978
1 000	0.02718	0.2630	0.03336	4.6671	0.08883	3.2688	0.7004
1 500	0.02024	0.2761	0.04106	7.3465	0.10644	5.2584	0.7158
2 000	0.01613	0.2855	0.04752	10.3200	0.12163	7.5418	0.7308
2 500	0.01340	0.2922	0.05309	13.5532	0.13501	10.0733	0.7432
3 000	0.01147	0.2972	0.05811	17.0526	0.14696	12.8170	0.7516
3 500	0.01002	0.3010	0.06293	20.8709	0.15771	15.7428	0.7543
4 000	0.00889	0.3040	0.06789	25.1094	0.16745	18.8252	0.7497

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y *Thermophysical Properties of Matter*, Vol. 3: *Thermal Conductivity*, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: *Viscosity*, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Anexo F

PROPIEDADES DE LOS METALES SÓLIDOS

Anexo F1: Propiedades de los metales sólidos (S.I.).

Anexo F2: Propiedades de los metales sólidos
(Sistema Ingles).

Anexo F1

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(W/m \cdot K)/c_p(J/kg \cdot K)$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Aluminio:											
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	
						482	798	949	1 033	1 146	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	65	163	186	186		
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2	473	787	925	1 042		
Berilio	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8
						203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018
Bismuto	545	9 780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04			
						112	120	127			
Boro	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85
						128	600	1 463	1 892	2 160	2 338
Cadmio	594	8 650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7			
						198	222	242			
Cromo	2 118	7 160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4
						192	384	484	542	581	616
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1
						236	379	450	503	550	628
Cobre:											
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482	413	393	379	366	352
						252	356	397	417	433	451
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42	52	59		
							785	160	545		
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41	65	74		
							—	—	—		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149		
							360	395	425		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19				
						237	362				
Germanio	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4
						190	290	337	348	357	375
Oro	1 336	19 300	129	317	127	327	323	311	298	284	270
						109	124	131	135	140	145
Iridio	2 720	22 500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126
						90	122	133	138	144	153
Hierro:											
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8
						216	384	490	574	680	975
Armco (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3
						215	384	490	574	680	975
Aceros al carbono:											
Simple al carbono (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0
								487	559	685	1 169
AISI 1010		7 832	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3
								487	559	685	1 168
Al carbono-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3
								501	582	699	971

Propiedades de metales sólidos (continuación)

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c _p (J/kg · K)					
		ρ	c _p	k	α × 10 ⁶	100	200	400	600	800	1 000
		kg/m ³	J/kg · K	W/m · K	m ² /s						
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn < 1.65% 0.1% < Si < 0.6%)	8 131	434	41.0	11.6				42.2	39.7	35.0	27.6
								487	559	685	1 090
Aceros al cromo (bajo): 1/2 Cr-1/2 Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)	7 822	444	37.7	10.9				38.2	36.7	33.3	26.9
								492	575	688	969
1Cr-1/2 Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)	7 858	442	42.3	12.2				42.0	39.1	34.5	27.4
								492	575	688	969
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)	7 836	443	48.9	14.1				46.8	42.1	36.3	28.2
								492	575	688	969
Aceros inoxidables:											
AISI 302		8 055	480	15.1	3.91			17.3	20.0	22.8	25.4
								512	559	585	606
AISI 304	1 670	7 900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	16.6	19.8	22.6	25.4
						272	402	515	557	582	611
AISI 316		8 238	468	13.4	3.48			15.2	18.3	21.3	24.2
								504	550	576	602
AISI 347		7 978	480	14.2	3.71			15.8	18.9	21.9	24.7
								513	559	585	606
Plomo	601	11 340	129	35.3	24.1	39.7	36.7	34.0	31.4		
						118	125	132	142		
Magnesio	923	1 740	1 024	156	87.6	169	159	153	149	146	
						649	934	1 074	1 170	1 267	
Molibdeno	2 894	10 240	251	138	53.7	179	143	134	126	118	112
						141	224	261	275	285	295
Níquel: Puro	1 728	8 900	444	90.7	23.0	164	107	80.2	65.6	67.6	71.8
						232	383	485	592	530	562
Nicromo (80% Ni, 20% Cr)	1 672	8 400	420	12	3.4			14	16	21	
								480	525	545	
Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6.7% Fe)	1 665	8 510	439	11.7	3.1	8.7	10.3	13.5	17.0	20.5	24.0
								—	372	473	510
								510	546	626	
Niobio	2 741	8 570	265	53.7	23.6	55.2	52.6	55.2	58.2	61.3	64.4
						188	249	274	283	292	301
Paladio	1 827	12 020	244	71.8	24.5	76.5	71.6	73.6	79.7	86.9	94.2
						168	227	251	261	271	281
Platino: Puro	2 045	21 450	133	71.6	25.1	77.5	72.6	71.8	73.2	75.6	78.7
						100	125	136	141	146	152
Aleación 60Pt-40Rh (60% Pt, 40% Rh)	1 800	16 630	162	47	17.4			52	59	65	69
								—	—	—	—
Renio	3 453	21 100	136	47.9	16.7	58.9	51.0	46.1	44.2	44.1	44.6
						97	127	139	145	151	156
Rodio	2 236	12 450	243	150	49.6	186	154	146	136	127	121
						147	220	253	274	293	311

Propiedades de metales sólidos (conclusión)

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K})/c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^5$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Silicio	1 685	2 330	712	148	89.2	884	264	98.9	61.9	42.4	31.2
						259	556	790	867	913	946
Plata	1 235	10 500	235	429	174	444	430	425	412	396	379
						187	225	239	250	262	277
Tantalio	3 269	16 600	140	57.5	24.7	59.2	57.5	57.8	58.6	59.4	60.2
						110	133	144	146	149	152
Torio	2 023	11 700	118	54.0	39.1	59.8	54.6	54.5	55.8	56.9	56.9
						99	112	124	134	145	156
Estaño	505	7 310	227	66.6	40.1	85.2	73.3	62.2			
						188	215	243			
Titanio	1 953	4 500	522	21.9	9.32	30.5	24.5	20.4	19.4	19.7	20.7
						300	465	551	591	633	675
Tungsteno	3 660	19 300	132	174	68.3	208	186	159	137	125	118
						87	122	137	142	146	148
Uranio	1 406	19 070	116	27.6	12.5	21.7	25.1	29.6	34.0	38.8	43.9
						94	108	125	146	176	180
Vanadio	2 192	6 100	489	30.7	10.3	35.8	31.3	31.3	33.3	35.7	38.2
						258	430	515	540	563	597
Zinc	693	7 140	389	116	41.8	117	118	111	103		
						297	367	402	436		
Zirconio	2 125	6 570	278	22.7	12.4	33.2	25.2	21.6	20.7	21.6	23.7
						205	264	300	332	342	362

De Frank P. Incropera y David P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 3a. ed., 1990. Este material se utilizó con autorización de John Wiley & Sons, Inc.

Anexo F2

Propiedades de metales sólidos											
Composición	Punto de fusión, R	Propiedades a 540 R				Propiedades a varias temperaturas (R)					
		ρ lbm/ft ³	c_p (Btu/lbm · R)	k (Btu/h · ft · R)	$\alpha \times 10^6$ ft ² /s	k/c_p (Btu/lbm · R)					
						180	360	720	1 080	1 440	1 800
Aluminio:	1 679	168	0.216	137	1045	174.5	137	138.6	133.4	126	
Puro						0.115	0.191	0.226	0.246	0.273	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	1 395	173	0.209	102.3	785.8	37.6	94.2	107.5	107.5		
Aleación 195, cast (4.5% Cu)		174.2	0.211	97	734	0.113	0.188	0.22	0.249		
Berilio	2 790	115.5	0.436	115.6	637.2	572	174	93	72.8	61.3	52.5
Bismuto	981	610.5	0.029	4.6	71	0.048	0.266	0.523	0.621	0.624	0.72
Boro	4 631	156	0.264	15.6	105	9.5	5.6	4.06			
						0.025	0.028	0.03			
Cadmio	1 069	540	0.055	55.6	521	109.7	32.06	9.7	6.1	5.5	5.7
						0.03	0.143	0.349	0.451	0.515	0.558
Cromo	3 812	447	0.107	54.1	313.2	117.3	57.4	54.7			
						0.047	0.053	0.057			
Cobalto	3 184	553.2	0.101	57.3	286.3	91.9	64.1	52.5	46.6	41.2	37.8
						0.045	0.091	0.115	0.129	0.138	0.147
Cobre:						96.5	70.5	49.3	39	33.6	30.1
Puro	2 445	559	0.092	231.7	1 259.3	278.5	238.6	227.07	219	212	203.4
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	2 328	550	0.1	30	150.7	0.06	0.085	0.094	0.01	0.103	0.107
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 987	548.1	0.084	31.2	183		24.3	30	34		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	2 139	532.5	0.09	63.6	364.9	43.3	54.9	79.2	86.0		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	2 687	557	0.092	13.3	72.3	9.8	0.09	0.09	0.101		
Germanio	2 180	334.6	0.08	34.6	373.5	134	56	25	15.7	11.4	10.05
Oro	2 405	1 205	0.03	183.2	1 367	189	186.6	179.7	172.2	164.09	156
						0.026	0.029	0.031	0.032	0.033	0.034
Iridio	4 896	1 404.6	0.031	85	541.4	99.4	88.4	83.2	79.7	76.3	72.8
						0.021	0.029	0.031	0.032	0.034	0.036
Hierro:											
Puro	3 258	491.3	0.106	46.4	248.6	77.4	54.3	40.2	31.6	25.01	19
Armco (99.75% puro)		491.3	0.106	42	222.8	55.2	46.6	38	30.7	24.4	18.7
Aceros al carbono:						0.051	0.091	0.117	0.137	0.162	0.232
Simple al carbono (Mn \leq 1%, Si \leq 0.1%)	490.3	0.103	35	190.6				32.8	27.7	22.7	17.4
AISI 1010	489	0.103	37	202.4				0.116	0.113	0.163	0.279
Al carbono-silicio (Mn \leq 1%, 0.1% < Si \leq 0.6%)	488	0.106	30	160.4				33.9	28.2	22.7	18
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn \leq 1.65%, 0.1% < Si \leq 0.6%)	508	0.104	23.7	125				0.116	0.133	0.163	0.278
Aceros al (bajo) cromo: $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)	488.3	0.106	21.8	117.4				28.8	25.4	21.6	17
1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)	490.6	0.106	24.5	131.3				0.119	0.139	0.166	0.231
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)	489.2	0.106	28.3	151.8				0.117	0.137	0.164	0.231

Propiedades de metales sólidos (conclusión)

Composición	Punto de fusión, R	Propiedades a 540 R				Propiedades a varias temperaturas (R)						
		ρ lbm/ft ³	c_p (Btu/lbm · R)	k Btu/h · ft · R	$\alpha \times 10^6$ ft ² /s	180	360	720	1 080	1 440	1 800	
Aceros inoxidables:												
AISI 302	503	0.114	8.7	42				10	11.6	13.2	14.7	
AISI 304	3 006	493.2	0.114	8.6	42.5	5.31	7.3	9.6	11.5	13	14.7	0.144
AISI 316	514.3	0.111	7.8	37.5				8.8	10.6	12.3	14	
AISI 347	498	0.114	8.2	40				9.1	1.1	12.7	14.3	
Plomo	1 082	708	0.03	20.4	259.4	23	21.2	19.7	18.1			
Magnesio	1 661	109	0.245	90.2	943	87.9	91.9	88.4	86.0	84.4		
Molibdeno	5 209	639.3	0.06	79.7	578	1 034	82.6	77.4	72.8	68.2	64.7	
Níquel:												
Puro	3 110	555.6	0.106	52.4	247.6	94.8	61.8	46.3	37.9	39	41.4	
Nicromo (80% Ni, 20% Cr)	3 010	524.4	0.1	6.9	36.6			8.0	9.3	12.2		
Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6.7% Fe)	2 997	531.3	0.104	6.8	33.4	5	5.9	7.8	9.8	11.8	13.9	
Niobio	4 934	535	0.063	31	254	31.9	30.4	32	33.6	35.4	32.2	
Paladio	3 289	750.4	0.058	41.5	263.7	44.2	41.4	42.5	46	50	54.4	
Platino:												
Puro	3 681	1 339	0.031	41.4	270	44.7	42	41.5	42.3	43.7	45.5	
Aleación 60Pt-40Rh (60% Pt, 40% Rh)	3 240	1 038.2	0.038	27.2	187.3	0.024	0.03	0.032	0.034	0.035	0.036	
Renio	6 215	1 317.2	0.032	27.7	180	34	30	26.6	25.5	25.4	25.8	
Rodio	4 025	777.2	0.058	86.7	534	107.5	89	84.3	78.5	73.4	70	
Silicio	3 033	145.5	0.17	85.5	960.2	510.8	152.5	57.2	35.8	24.4	18.0	
Plata	2 223	656	0.056	248	1873	257	248.4	245.5	238	228.8	219	
Tantalio	5 884	1 036.3	0.033	33.2	266	34.2	33.2	33.4	34	34.3	34.8	
Torio	3 641	730.4	0.028	31.2	420.9	34.6	31.5	31.4	32.2	32.9	32.9	
Estaño	909	456.3	0.054	38.5	431.6	49.2	42.4	35.9				
Titanio	3 515	281	0.013	12.7	100.3	17.6	14.2	11.8	11.2	11.4	12	
Tungsteno	6 588	1 204.9	0.031	100.5	735.2	120.2	107.5	92	79.2	72.2	68.2	
Uranio	2 531	1 190.5	0.027	16	134.5	12.5	14.5	17.1	19.6	22.4	25.4	
Vanadio	3 946	381	0.117	17.7	110.9	20.7	18	18	19.3	20.6	22.0	
Zinc	1 247	445.7	0.093	67	450	67.6	68.2	64.1	59.5			
Zirconio	3 825	410.2	0.067	13.1	133.5	19.2	14.6	12.5	12	12.5	13.7	

Fuente: Las tablas A-31 y A-41 se obtienen a partir de las tablas respectivas en unidades SI del apéndice 1, aplicando los factores apropiados de conversión.

Anexo G

**TABLAS DE CONVERSIÓN PARA EL
CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

Anexo G

TABLAS DE CONVERSIÓN DE UNIDADES SI PARA EL CÁLCULO TRANSMISIÓN CALOR

Dimensión	Unidades Inglesas	Unidades SI
Aceleración	1 ft/s ²	= 3.0480 × 10 ⁻¹ m/s ²
	1 ft/h ²	= 2.3519 × 10 ⁻⁸ m/s ²
Area	1 ft ²	= 9.2903 × 10 ⁻² m ²
	1 in ²	= 6.4516 × 10 ⁻⁴ m ²
Conductancia, térmica	1 Btu/h-ft ² -°F	= 5.6784 W/m ² -°C
Conductividad, térmica	1 Btu/h-ft-°F	= 1.7308 W/m-°C
Densidad	1 lb _m /ft ³	= 1.6018 × 10 kg/m ³
Difusividad, térmica	1 ft ² /s	= 9.2903 × 10 ⁻² m ² /s
	1 ft ² /h	= 2.5806 × 10 ⁻⁵ m ² /s
Energía	1 Btu	= 1.0551 kJ
	1 kW-h	= 3.6000 × 10 ³ kJ
	1 ft-lb _f	= 1.3558 × 10 ⁻³ kJ
	1 hp-h	= 2.6845 × 10 ³ kJ
Fuerza	1 lb _f	= 4.4482 N
Calor	1 Btu	= 1.0551 kJ
Velocidad del flujo de calor	1 Btu/s	= 1.055 × 10 ³ W
	1 Btu/h	= 2.9308 × 10 ⁻¹ W
Flujo de calor (unidad de área)	1 Btu/h-ft ²	= 3.1546 W/m ²
	1 Btu/h-ft	= 9.6152 × 10 ⁻¹ W/m
Velocidad de generación del calor (unidad de masa)	1 Btu/h-ft ² -°F	= 5.6784 W/m ² -°C
	1 Btu/h-lb _m	= 6.4612 × 10 ⁻¹ W/kg
Velocidad de generación del calor (unidad del volumen)	1 Btu/h-ft ³	= 1.0350 × 10 W/m ³
	1 Btu/h-ft ² -°F	= 5.6784 W/m ² -°C
Coefficiente de transmisión del calor	1 Btu/h-ft ² -°F	= 5.6784 W/m ² -°C
Calor latente	1 Btu/lb _m	= 2.3260 kJ/kg
Longitud	1 ft	= 3.0480 × 10 ⁻¹ m
	1 μm	= 1.000 × 10 ⁻⁶ m
	1 in	= 2.5400 × 10 ⁻² m
	1 mile	= 1.6093 × 10 ³ m
Masa	1 lb _m	= 4.5359 × 10 ⁻¹ kg
Velocidad de flujo de masa	1 lb _m /s	= 4.5359 × 10 ⁻¹ kg/s
	1 lb _m /h	= 1.2600 × 10 ⁻⁴ kg/s
Flujo de masa	1 lb _m /s-ft ²	= 4.8824 kg/s-m ²
	1 lb _m /h-ft ²	= 1.3562 × 10 ⁻³ kg/s-m ²
	1 lb _m /s-in ²	= 7.0362 × 10 ² kg/s-m ²
	1 lb _m /h-in ²	= 1.9545 × 10 ⁻¹ kg/s-m ²
Momento lineal	1 lb _m -ft/s	= 1.3825 × 10 ⁻¹ kg-m/s
	1 lb _m -ft/h	= 3.8404 × 10 ⁻⁵ kg-m/s
Potencia	1 Btu/s	= 1.055 × 10 ³ W
	1 ft-lb _f /s	= 1.3558 W
	1 Btu/h	= 2.9308 × 10 ⁻¹ W
	1 hp	= 7.4570 × 10 ² W

Anexo G (continuación)

Dimensión	Unidades Inglesas	Unidades SI
Presión	1 lb _f /ft ²	= 4.7880 × 10 ⁻² kN/m ²
	1 lb _f /in ²	= 6.8948 kN/m ²
	1 standard atmosférico	= 1.0133 × 10 ² kN/m ²
	1 in agua	= 2.4909 × 10 ⁻¹ kN/m ²
	1 ft agua	= 2.9891 kN/m ²
	1 in mercurio	= 3.3866 kN/m ²
Resistencia térmica (Total) (unitaria)		= 1.8956° C/W
	1 h·°F/Btu	= 1.7611 × 10 ⁻¹
Energía específica	1 h·ft ² ·°F/Btu	m ² ·°C/W
	1 Btu/lb _m	= 2.3260 kJ/kg
Calor específico	1 ft·lb _f /lb _m	= 2.9891 × 10 ⁻³ kJ/kg
	1 Btu/lb _m ·°F	= 4.1868 kJ/kg·°C
Volumen específico	1 ft ³ /lb _m	= 6.2428 × 10 ⁻² m ³ /kg
Tensión superficial	1 lb _f /in	= 1.7513 × 10 ² N/m
Temperatura	° R	° K = 5/9 × ° R
	° F	° C = 5/9 × (° F - 32)
Diferencia de la temperatura	1° F(° R)	= 5/9° C (°K)
Tiempo	1 h	= 3.6000 × 10 ³ s
	1 min	= 6.000 × 10 s
Velocidad	1 ft/s	= 3.0480 × 10 ⁻¹ m/s
	1 ft/h	= 8.4667 × 10 ⁻⁵ m/s
	1 mph	= 4.4704 × 10 ⁻¹ m/s
Viscosidad, dinámica	1 poise (g/cm·s)	= 1.0000 × 10 ⁻¹
		kg/m·s (N·s/m ²)
	1 lb _m /ft·s	= 1.4882 kg/m·s
	1 lb _m /ft·h	= 4.1338 × 10 ⁻⁴ kg/m·s
	1 lb _f ·s/in ²	= 6.8947 × 10 ³ kg/m·s
	1 lb _f ·h/ft ²	= 1.7237 × 10 ⁵ kg/m·s
Viscosidad cinemática	1 stoke (cm ² /s)	= 1.0000 × 4 m ² /s
	1 ft ² /s	= 9.203 × 10 ⁻² m ² /s
	1 ft ² /h	= 2.5806 × 10 ⁻⁵ m ² /s
Volumen	1 ft ³	= 2.8317 × 10 ⁻² m ³
	1 in ³	= 1.6387 × 10 ⁻⁵ m ³
Velocidad del flujo de volumen	1 ft ³ /s	= 2.8317 × 10 ⁻² m ³ /s
	1 ft ³ /min	= 4.7195 × 10 ⁻⁴ m ³ /s
	1 ft ³ /h	= 7.8658 × 10 ⁻⁶ m ³ /s

REFERENCIA

1. MECHTLY, E. A., «The International System of Units, Physical Constants and Conversion Factors», *NASA SP-7012*, National Aeronautic and Space Administration, Washington, D. C., 1964.

Anexo H

AISLAMIENTO INDUSTRIAL

Anexo H

Descripción/ composición	Temperatura máxima de servicio (K)	Densidad típica (kg/m ³)	Conductividad térmica típica, k (W/m · K), a varias temperaturas (K)													
			200	215	230	240	255	270	285	300	310	365	420	530	645	750
Mantas																
Manta, fibra mineral de metal reforzada	920	96-192									0.038	0.046	0.056	0.078		
	815	40-96									0.035	0.045	0.058	0.088		
Manta, fibra mineral, vidrio; fibra fina, unión orgánica	450	10				0.036	0.038	0.040	0.043	0.048	0.052	0.076				
		12				0.035	0.036	0.039	0.042	0.046	0.049	0.069				
		16				0.033	0.035	0.036	0.039	0.042	0.046	0.062				
		24				0.030	0.032	0.033	0.036	0.039	0.040	0.053				
		32				0.029	0.030	0.032	0.033	0.036	0.038	0.048				
		48				0.027	0.029	0.030	0.032	0.033	0.035	0.045				
Manta, fibra de óxido de silicio-alúmina	1530	48												0.071	0.105	0.150
		64												0.059	0.087	0.125
		96												0.052	0.076	0.100
		128												0.049	0.068	0.091
Filtro, semirrígido;	480	50-125						0.035	0.036	0.038	0.039	0.051	0.063			
filtro de unión orgánica laminado;	730	50	0.023	0.025	0.026	0.027	0.029	0.030	0.032	0.033	0.035	0.051	0.079			
sin unión	920	120											0.051	0.065	0.087	
Aislantes de bloques, tableros y tubería																
Papel asbestino, laminado y corrugado																
4-pliegues	420	190								0.078	0.082	0.098				
6-pliegues	420	255								0.071	0.074	0.085				
8-pliegues	420	300								0.068	0.071	0.082				
Óxido de magnesio,	590	185									0.051	0.055	0.061			
Silicato de calcio	920	190									0.055	0.059	0.063	0.075	0.089	0.104

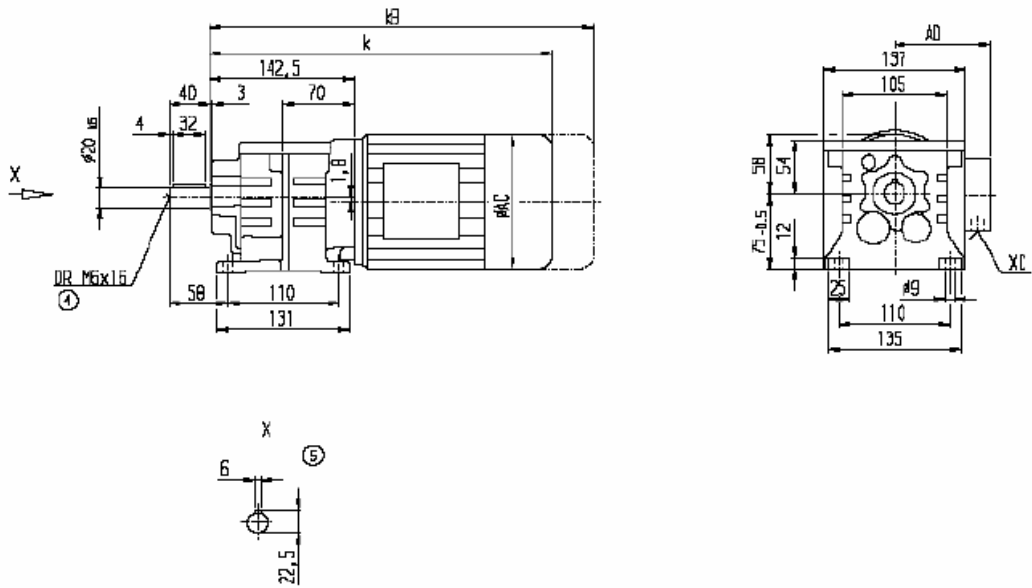
Anexo I

**TABLA DE DATOS TÉCNICOS MOTO-
REDUCTORES FLENDER**

Anexo I

Relacion		1:10	1:20	1:30	1:40	1:50
Tipo	RPM	HP	HP	HP	HP	HP
H-100	1500	0.80	0.35	0.40	0.25	0.25
	1200	0.70	0.30	0.35	0.35	0.25
SIZE 40	900	0.60	0.30	0.30	0.25	0.20
H-200	1500	2.10	1.20	1	0.75	0.70
	1200	1.90	1	0.95	0.70	0.65
SIZE 60	900	1.60	0.85	0.80	0.60	0.50
H-400	1500	8	5	4	3	2.20
	1200	7	4.10	3.50	2.60	2
SIZE 100	900	6	3.50	3	2	1.70
H-500	1500	20	10	9	6.50	5.50
	1200	16	9	8	5.70	4.5
SIZE 135	900	14	8	7	5	3.70
H-600	1500	45	20	17.5	12.5	9
	1200	38	18.2	15.5	10.5	8.1
SIZE 175	900	32	15.5	13.1	9.1	6.8

Anexo I (continuación)



Motor	Z18 / D18					Gewicht/Weight	
	k	kB	AC	AD	XC	Z18	D18
M71	330	374	138	118,5	2xM20x1,5	10	10
M71MP	345	400	138	118,5	2xM20x1,5	12	12

① DIN 332

② Paßfeder / -nut DIN 6885
Key / Keyway DIN 6885

Anexo J

**TABLA DE DATOS TÉCNICOS DE
VARIADOR DE FRECUENCIA**

Anexo J

MICROMASTER 420

Datos para selección y pedidos

Convertidores MICROMASTER 420

Potencia		Corriente de entrada asignada ¹⁾		Corriente asignada de salida	Tamaño constructivo	Referencia	
kW	hp	A	A	A	(FS)	MICROMASTER 420 sin filtro	MICROMASTER 420 con filtro integrado clase A ²⁾
Tensión de red 1 AC 200 V a 240 V							
0,12	0,16	1,4	0,9	A	A	6SE6420-2UC11-2AA0	6SE6420-2AB11-2AA0
0,25	0,33	2,7	1,7	A	A	6SE6420-2UC12-5AA0	6SE6420-2AB12-5AA0
0,37	0,50	3,7	2,3	A	A	6SE6420-2UC13-7AA0	6SE6420-2AB13-7AA0
0,55	0,75	5,0	3,0	A	A	6SE6420-2UC15-5AA0	6SE6420-2AB15-5AA0
0,75	1,0	6,6	3,9	A	A	6SE6420-2UC17-5AA0	6SE6420-2AB17-5AA0
1,1	1,5	9,6	5,5	B	B	6SE6420-2UC21-1BA0	6SE6420-2AB21-1BA0
1,5	2,0	13,0	7,4	B	B	6SE6420-2UC21-5BA0	6SE6420-2AB21-5BA0
2,2	3,0	17,6	10,4	B	B	6SE6420-2UC22-2BA0	6SE6420-2AB22-2BA0
3,0	4,0	23,7	13,6	C	C	6SE6420-2UC23-0CA0	6SE6420-2AB23-0CA0
Tensión de red 3 AC 200 V a 240 V							
0,12	0,16	0,6	0,9	A	A	6SE6420-2UC11-2AA0	–
0,25	0,33	1,1	1,7	A	A	6SE6420-2UC12-5AA0	–
0,37	0,50	1,6	2,3	A	A	6SE6420-2UC13-7AA0	–
0,55	0,75	2,1	3,0	A	A	6SE6420-2UC15-5AA0	–
0,75	1,0	2,9	3,9	A	A	6SE6420-2UC17-5AA0	–
1,1	1,5	4,1	5,5	B	B	6SE6420-2UC21-1BA0	–
1,5	2,0	5,6	7,4	B	B	6SE6420-2UC21-5BA0	–
2,2	3,0	7,6	10,4	B	B	6SE6420-2UC22-2BA0	–
3,0	4,0	10,5	13,6	C	C	6SE6420-2UC23-0CA0	6SE6420-2AC23-0CA0
4,0	5,0	13,1	17,5	C	C	6SE6420-2UC24-0CA0	6SE6420-2AC24-0CA0
5,5	7,5	17,5	22,0	C	C	6SE6420-2UC25-5CA0	6SE6420-2AC25-5CA0
Tensión de red 3 AC 380 V a 480 V							
0,37	0,50	1,1	1,2	A	A	6SE6420-2UD13-7AA0	–
0,55	0,75	1,4	1,6	A	A	6SE6420-2UD15-5AA0	–
0,75	1,0	1,9	2,1	A	A	6SE6420-2UD17-5AA0	–
1,1	1,5	2,8	3,0	A	A	6SE6420-2UD21-1AA0	–
1,5	2,0	3,9	4,0	A	A	6SE6420-2UD21-5AA0	–
2,2	3,0	5,0	5,9	B	B	6SE6420-2UD22-2BA0	6SE6420-2AD22-2BA0
3,0	4,0	6,7	7,7	B	B	6SE6420-2UD23-0BA0	6SE6420-2AD23-0BA0
4,0	5,0	8,5	10,2	B	B	6SE6420-2UD24-0BA0	6SE6420-2AD24-0BA0
5,5	7,5	11,6	13,2	C	C	6SE6420-2UD25-5CA0	6SE6420-2AD25-5CA0
7,5	10,0	15,4	19,0	C	C	6SE6420-2UD27-5CA0	6SE6420-2AD27-5CA0
11	15,0	22,5	26,0	C	C	6SE6420-2UD31-1CA0	6SE6420-2AD31-1CA0



Indicación para el pedido: ver el anexo.

Todos los MICROMASTER 420 se suministran con panel SDP (Status Display Panel). Los paneles BOP, AOP y demás accesorios se deberán pedir por separado (ver págs. 2/11 a 2/15).

Motores para MICROMASTER 420

Para datos de selección y pedido de motores particularmente idóneos para operar asociados a convertidores MICROMASTER 420, ver el catálogo M 11 (ver la sinopsis en el anexo).

1) Estos valores rigen para tensiones nominales de la red de 240 V ó 400 V.

2) En redes no puestas a tierra no está permitido usar convertidores MICROMASTER con filtro integrado.

Anexo K

TURBINAS CENTRIFUGAS

Anexo K



Aircurtains Fans Ventilation Actuators

- » Atención al cliente
- » Descarga tarifa actualizada



Turbinas centrífugas de simple aspiración, palas hacia adelante

- Construidas en acero galvanizado
- Equilibrado, clase Q 6,3
- Moyú a definir por el cliente
- Rotación horaria estándar, antihoraria en opción
- Temperatura de utilización de -30 a +120°C. Hasta 300°C en opción
- Para algunos modelos se requieren cantidades mínimas

Modelo	Velocidad máxima RPM	Punto de máximo rendimiento a 3000 rpm m³/h	Punto de máximo rendimiento a 3000 rpm Pa	Punto de máximo rendimiento a 1500 rpm m³/h	Punto de máximo rendimiento a 1500 rpm Pa	Punto de máximo rendimiento a 1000 rpm m³/h	Punto de máximo rendimiento a 1000 rpm Pa	Precio Euros/Ud.
SE 120x60	6300	350	500	180	110	-	-	28
SE 133x60	5100	500	700	240	150	-	-	28
SE 140x60	4800	600	750	300	180	-	-	28
SE 146x70	4600	750	800	350	200	220	70	30
SE 160x62	4700	800	900	400	230	250	110	31
SE 180x72	4250	1300	1200	600	300	400	150	33
SE 200x82	3820	1600	1500	750	400	500	150	42
SE 225x92	3400	2500	1900	1200	500	800	220	50
SE 250x102	3050	3000	2000	1800	600	1000	250	55
SE 280x114	2730	-	-	2400	700	1500	350	58
SE 315x128	2420	-	-	3100	1000	2200	500	81
SE 355x143	2100	-	-	5000	1300	3200	600	109

Modelo	Velocidad máxima RPM	Punto de máximo rendimiento a 1000 rpm m³/h	Punto de máximo rendimiento a 1000 rpm Pa	Punto de máximo rendimiento a 750 rpm m³/h	Punto de máximo rendimiento a 750 rpm Pa	Punto de máximo rendimiento a 500 rpm m³/h	Punto de máximo rendimiento a 500 rpm Pa	Precio Euros/Ud.
SE 400x163	1900	7000	1500	4500	700	2200	180	119
SE 450x183	1700	10000	2000	7000	1000	3200	220	151
SE 500x204	1490	10000	1300	7000	600	4500	300	174
SE 560x229	1210	12000	1400	9500	800	6000	350	196

Anexo L

**CLIMA EN LATACUNGA DURANTE EL AÑO
2009**

Anexo L

Clima en Latacunga durante el año 2009⁴³

Datos climáticos históricos de Latacunga registrados durante el año 2009, con medias anuales, medias mensuales y datos ampliados para un día.

Los datos fueron reportados por la estación meteorológica: **841230 (SELT)**
Latitud: **-0.9** | Longitud: **-78.61** | Altitud: **2785**

Medias y totales anuales

Para la realización de los cálculos de las medias anuales se han utilizado datos de 365 días (100% del año).

Si para la realización de las medias o totales anuales de algún dato falta información de 10 o más días, esta no se mostrará.

En la precipitación total un valor 0 (cero) puede indicar que no se ha realizado esa medición y/o la estación meteorológica no la difundió.

Datos	Valor	Días computados
Temperatura media anual:	15.1°C	365
Temperatura máxima media anual:	20.1°C	365
Temperatura mínima media anual:	8.9°C	365
Humedad media anual:	70.3%	365
Precipitación total acumulada anual:	-	-
Visibilidad media anual:	10.9 Km	365
Velocidad del viento media anual:	14.4 km/h	365

Para calcular la temperatura media se han analizado 6550 mediciones.

Para calcular la velocidad media del viento se han analizado 6550 mediciones

⁴³ <http://www.tutiempo.net/clima/Latacunga/2009/841230.htm>

Anexo M

RESUMEN DE CÁLCULOS REALIZADOS

$$N_{\text{paquetes}} = 20 \text{ [paquetes/min]}$$

$$L_{\text{paquete}} = 44 \text{ [m/paquetes]}$$

$$V_{\text{trans}} = \frac{N_{\text{paquetes}} \cdot L_{\text{paquete}}}{100}$$

$$t = 8 \text{ [s]}$$

$$L_{\text{tunnel}} = V_{\text{trans}} \cdot \frac{t}{60}$$

$$L_{\text{pvc}} = 123 \text{ [cm]}$$

$$\text{Ancho}_{\text{pvc}} = 46 \text{ [cm]}$$

$$\rho_{\text{pvc}} = 1,395 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

$$m_{\text{a}_{\text{pvc}}} = \frac{\rho_{\text{pvc}} \cdot e_{\text{pvc}} \cdot 100 \cdot L_{\text{pvc}} \cdot \text{Ancho}_{\text{pvc}}}{1000}$$

$$e_{\text{pet}} = 0,1 \text{ [cm]}$$

$$D_{\text{pet}} = 12 \text{ [cm]}$$

$$H_{\text{pet}} = 25 \text{ [cm]}$$

$$\rho_{\text{pet}} = 1,35 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

$$m_{\text{a}_{\text{pet}}} = \frac{\rho_{\text{pet}} \cdot \pi \cdot e_{\text{pet}} \cdot D_{\text{pet}} \cdot H_{\text{pet}} \cdot 6}{1000}$$

$$\rho_{\text{prod}} = 1032 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{prod}} = \frac{2}{1000} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$m_{\text{a}_{\text{prod}}} = \rho_{\text{prod}} \cdot V_{\text{prod}} \cdot 6$$

$$k_{\text{pvc}} = 0,2 \text{ [W/m-k]}$$

$$k_{\text{pet}} = 0,24 \text{ [W/m-k]}$$

$$Cp_{\text{prod}} = 3,89 \cdot 1000 \text{ [J/Kg-K]}$$

$$r_e = \frac{60}{100} \text{ [m]}$$

$$r_i = \frac{59}{100} \text{ [m]}$$

$$e_{\text{pvc}} = 0,0000254 \text{ [m]}$$

$$T_{\text{amb}} = 17 \text{ [C]}$$

$$T_{\text{pvc}} = 160 \text{ [C]}$$

$$T_{\text{O}_{\text{prod}}} = 17 \text{ [C]}$$

$$Cp_{\text{pvc}} = 1300 \text{ [J/Kg-K]}$$

$$Cp_{\text{pet}} = 1000 \text{ [J/Kg-K]}$$

$$Cp_{\text{aire}} = 1018,11 \text{ [J/Kg-K]}$$

$$A_{\text{pvc}} = \frac{\text{Ancho}_{\text{pvc}}}{100} \cdot L_{\text{pvc}} \cdot \frac{3}{100} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{pet}} = \pi \cdot \frac{D_{\text{pet}}}{100} \cdot \frac{H_{\text{pet}}}{100} \cdot 18 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{prod}} = A_{\text{pet}}$$

$$m_{\text{pvc}} = m_{\text{a}_{\text{pvc}}} \cdot \frac{N_{\text{paquetes}}}{60} \text{ [Kg/s]}$$

$$m_{\text{pet}} = m_{\text{a}_{\text{pet}}} \cdot \frac{N_{\text{paquetes}}}{60} \text{ [Kg/s]}$$

$$m_{\text{prod}} = m_{\text{a}_{\text{prod}}} \cdot \frac{N_{\text{paquetes}}}{60} \text{ [Kg/s]}$$

$$m_{\text{aire}} = 0,1195 \text{ [Kg/s]}$$

$$a = 0,1 \text{ [m]}$$

$$b = 1,2 \text{ [m]}$$

$$a_{\text{vel}} = 2,2$$

$$T_4 = 40 \text{ [C]}$$

$$e_1 = \frac{1}{1000} \text{ [m]}$$

$$e_3 = \frac{1,2}{1000} \text{ [m]}$$

$$k_{\text{total}} = 59,46 \text{ [W/m-k]}$$

$$k_{\text{aisl}} = 0,046 \text{ [W/m-k]}$$

$$\mu_{\text{aire}} = 0,00002479 \text{ [Kg/m-s]}$$

$$k_{\text{aire}} = 0,03612225 \text{ [W/m-k]}$$

$$l_{\text{env}} = 0,25 \text{ [m]}$$

$$Ae_{\text{vert}} = 0,84 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$Ai_{\text{vert}} = 0,54 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$Ai_{\text{hor}} = 0,48 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{e_{hor}} = 0,7 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$e_{banda} = \frac{2 \text{ [m]}}{1000}$$

$$m_{banda} = 0,3255 \text{ [Kg/s]}$$

$$A_{banda} = 0,2112 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$C_{p_{banda}} = 481,51 \text{ [J/Kg-K]}$$

$$V_{fluj} = 0,004919 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$\rho_{amb} = 1,2166 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

$$\rho_{horno} = 0,7894 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

$$C_{p_{aireamb}} = 1007 \text{ [J/Kg-K]}$$

$$\sigma = 5,669 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{-K}^4\text{]}$$

$$A_{e_{horno}} = 2,38 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\varepsilon = 0,4$$

$$P_r = 1000 \text{ [W]}$$

$$Pr\# = \frac{\mu_{aire} \cdot C_{p_{aire}}}{k_{aire}}$$

$$D_{hid} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{aire}} + \frac{e_{pvc}}{k_{pvc}} + \frac{\ln \left[\frac{r_o}{r_i} \right]}{2 \cdot \pi \cdot k_{pet} \cdot l_{env}}}$$

$$T_{horno} = \frac{m_{pvc} \cdot C_{p_{pvc}} \cdot [T_{pvc} - T_{amb}]}{U \cdot A_{pvc}} + \frac{T_{pvc} + T_{amb}}{2}$$

$$T_{pet} = \frac{2 \cdot U \cdot A_{pet} \cdot T_{horno} + T_{amb} \cdot [2 \cdot m_{pet} \cdot C_{p_{pet}} - U \cdot A_{pet}]}{2 \cdot m_{pet} \cdot C_{p_{pet}} + U \cdot A_{pet}}$$

$$T_{prod} = \frac{2 \cdot U \cdot A_{prod} \cdot T_{horno} + T_{o_{prod}} \cdot [2 \cdot m_{prod} \cdot C_{p_{prod}} - U \cdot A_{prod}]}{2 \cdot m_{prod} \cdot C_{p_{prod}} + U \cdot A_{prod}}$$

$$Nu\# = h_{aire} \cdot \frac{D_{hid}}{k_{aire}}$$

$$Re\# = 4 \cdot \frac{m_{aire}}{\pi \cdot D_{hid} \cdot \mu_{aire}}$$

$$Nu\# = 0,023 \cdot Re\#^{0,8} \cdot Pr\#^{0,4}$$

$$Q_{pvc} = m_{pvc} \cdot Cp_{pvc} \cdot [T_{pvc} - T_{amb}]$$

$$Q_{pet} = m_{pet} \cdot Cp_{pet} \cdot [T_{pet} - T_{amb}]$$

$$Q_{prod} = m_{prod} \cdot Cp_{prod} \cdot [T_{prod} - T_{O_{prod}}]$$

$$Q_{paquete} = Q_{pvc} + Q_{pet} + Q_{prod}$$

$$T_{recir} = T_{horno} - \left[\frac{Q_{pvc} + Q_{pet} + Q_{prod}}{m_{aire} \cdot Cp_{aire}} \right]$$

$$T_{hp} = \frac{T_{horno} + T_{recir}}{2}$$

$$e_2 = k_{aisl} \cdot \left[\frac{T_{hp} - T_4}{a_{vel} \cdot (T_4 - T_{amb})^{1,25} + 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left(\left[\frac{T_4 + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{amb} + 273}{100} \right]^4 \right)} - \frac{1}{h_{aire}} - \frac{e_1}{k_{total}} - \frac{e_3}{k_{total}} \right]$$

$$Am_{vert} = \sqrt{Ae_{vert} \cdot Ai_{vert}}$$

$$Am_{hor} = \sqrt{Ae_{hor} \cdot Ai_{hor}}$$

$$Q_{perdvert} = \frac{[T_{hp} - T_4] \cdot Am_{vert}}{\frac{1}{h_{aire}} + \frac{e_1}{k_{total}} + \frac{e_2}{k_{aisl}} + \frac{e_3}{k_{total}}}$$

$$Q_{perdhor} = \frac{[T_{horno} - T_4] \cdot Am_{hor}}{\frac{1}{h_{aire}} + \frac{e_1}{k_{total}} + \frac{e_2}{k_{aisl}} + \frac{e_3}{k_{total}}}$$

$$Q_{S_{perdhor}} = \frac{[T_{recir} - T_4] \cdot Am_{hor}}{\frac{1}{h_{aire}} + \frac{e_1}{k_{total}} + \frac{e_2}{k_{aisl}} + \frac{e_3}{k_{total}}}$$

$$Q_{pared_{total}} = 2 \cdot Q_{perdvert} + Q_{perdhor} + Q_{S_{perdhor}}$$

$$R = \frac{1}{h_{aire}} + \frac{e_{banda}}{k_{total}}$$

$$T_{banda} = \frac{T_{amb} \cdot [2 \cdot R \cdot m_{banda} \cdot Cp_{banda} - A_{banda}] + 2 \cdot A_{banda} \cdot T_{horno}}{A_{banda} + 2 \cdot R \cdot m_{banda} \cdot Cp_{banda}}$$

$$Q_{banda} = m_{banda} \cdot Cp_{banda} \cdot [T_{banda} - T_{amb}]$$

$$Q_{cortinas} = V_{fluj} \cdot [\rho_{amb} - \rho_{horno}] \cdot Cp_{aireamb} \cdot [T_{horno} - T_{amb}]$$

$$Q_{perdidas} = Q_{pared_{total}} + Q_{banda} + Q_{cortinas}$$

$$Q_{sistema} = Q_{perdidas} + Q_{paquete}$$

$$Nr_{resistencias} = \frac{Q_{sistema}}{P_r}$$

$$f = [0,79 \cdot \ln(Re\#) - 1,64]^{-2}$$

$$A_c = a \cdot b$$

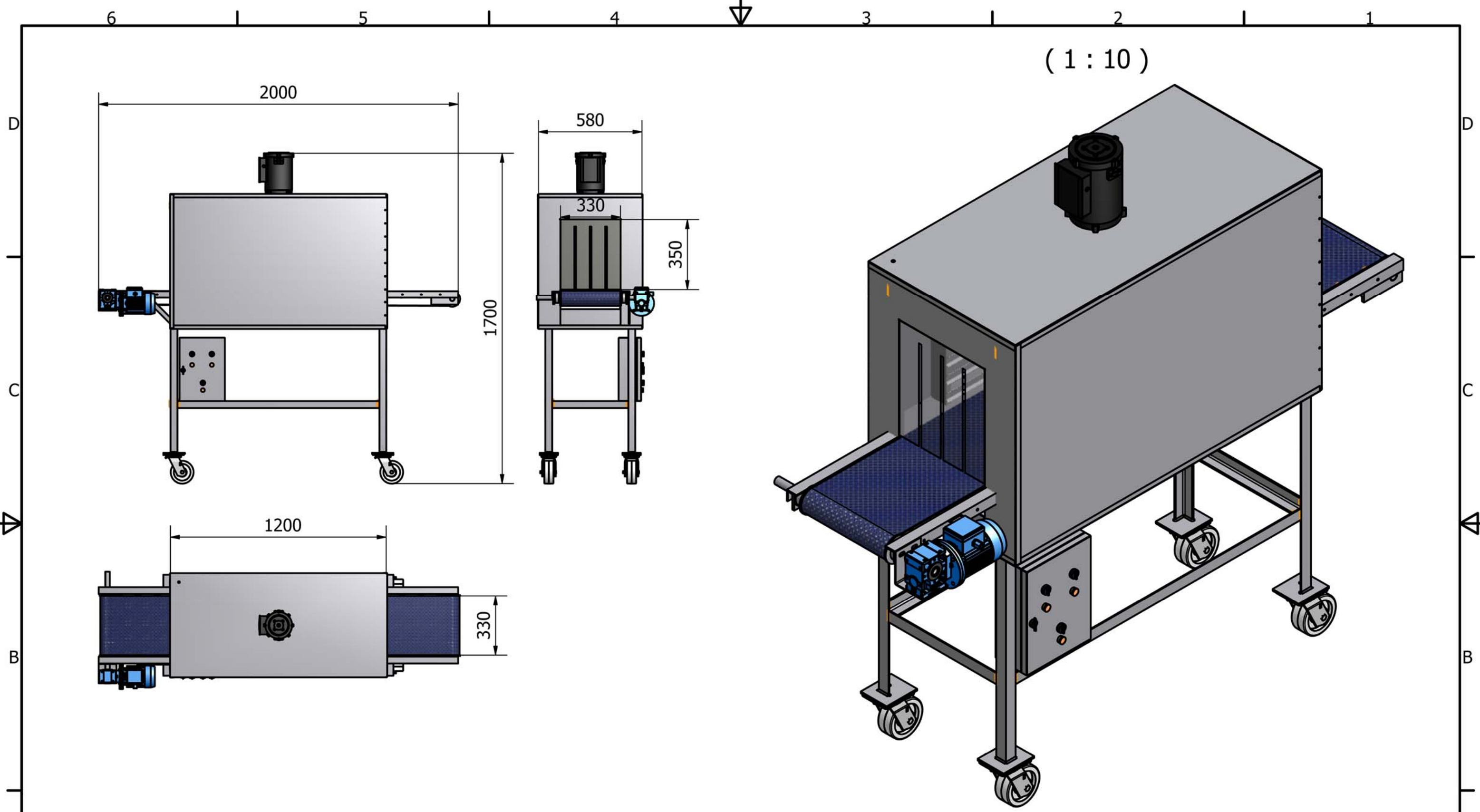
$$V_{aire} = m_{aire} \cdot \frac{10}{\rho_{horno} \cdot A_c}$$

$$\Delta P = f \cdot \frac{\rho_{horno} \cdot V_{aire}^2 \cdot 0,5}{2 \cdot D_{hid}}$$

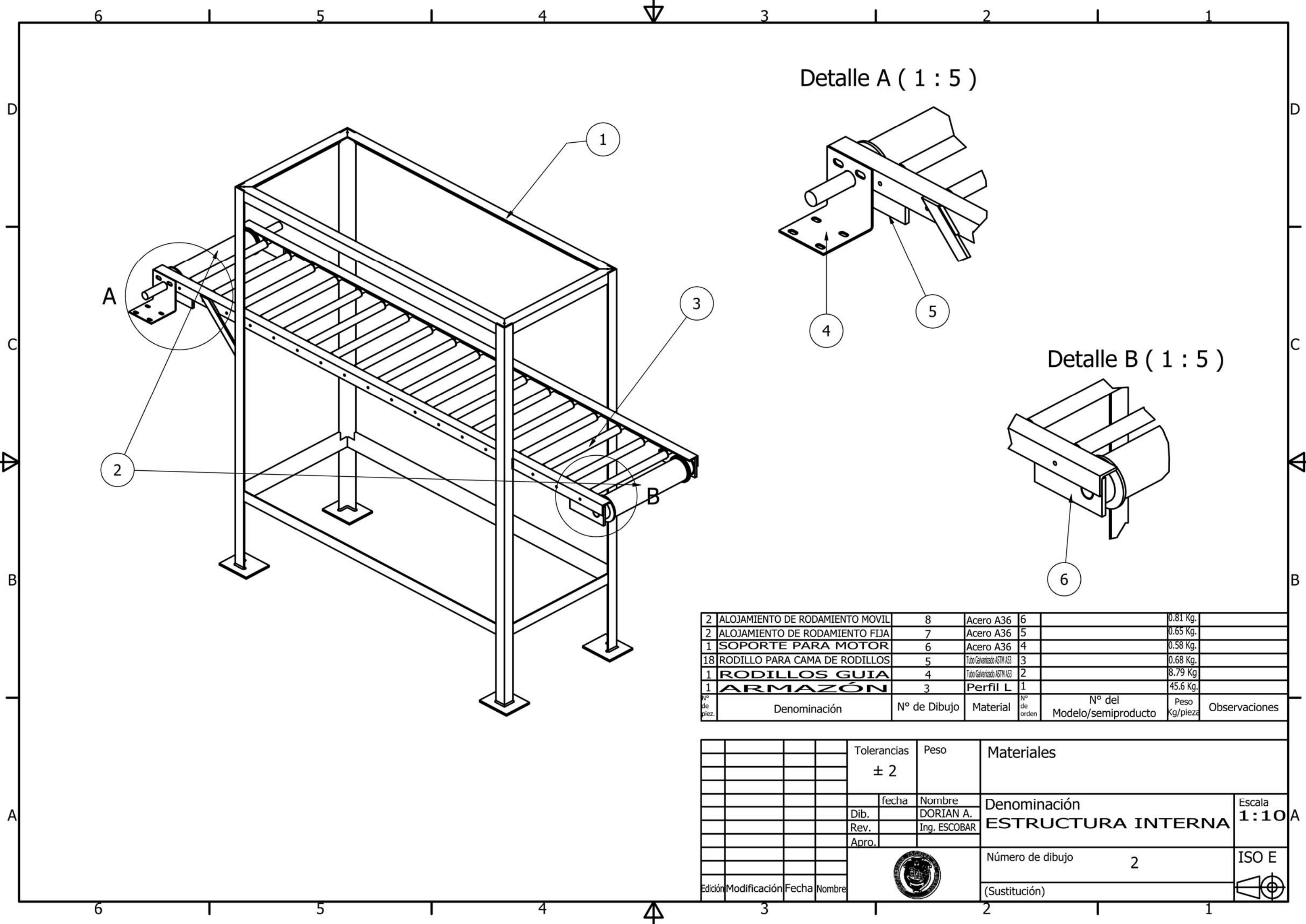
$a = 0,1$ [m]
 $A_{e_{horno}} = 2,38$ [m²]
 $A_{i_{hor}} = 0,48$ [m²]
 $Am_{hor} = 0,5797$
 $Ancho_{pvc} = 46$ [cm]
 $A_c = 0,12$
 $A_{prod} = 1,696$ [m²]
 $a_{vel} = 2,2$
 $Cp_{aire} = 1018$ [J/Kg-K]
 $Cp_{banda} = 481,5$ [J/Kg-K]
 $Cp_{prod} = 3890$
 $\Delta P = 3,923$
 $D_{pet} = 12$ [cm]
 $e_1 = 0,001$
 $e_3 = 0,0012$
 $e_{pet} = 0,1$ [cm]
 $f = 0,02306$
 $H_{pet} = 25$ [cm]
 $k_{aisl} = 0,046$ [W/m-k]
 $k_{pvc} = 0,2$ [W/m-k]
 $l_{entr} = 0,25$ [m]
 $L_{pvc} = 123$ [cm]
 $ma_{pet} = 0,7634$
 $ma_{pvc} = 0,02005$
 $m_{aire} = 0,1195$ [Kg/s]
 $m_{pet} = 0,2545$ [Kg/s]
 $m_{pvc} = 0,006683$ [Kg/s]
 $Nu\# = 82,57$
 $Pr\# = 0,6987$
 $Qi_{perdhor} = 120,7$
 $Qs_{perdhor} = 74,2$
 $Q_{cortinas} = 316,4$
 $Q_{perdidas} = 1242$
 $Q_{pet} = 2307$
 $Q_{pvc} = 1242$
 $R = 0,06193$
 $\rho_{amb} = 1,217$ [Kg/m³]
 $\rho_{pet} = 1,35$ [g/cm³]
 $\rho_{pvc} = 1,395$ [g/cm³]
 $r_i = 0,59$
 $t = 8$ [s]
 $T_4 = 40$ [C]
 $T_{banda} = 20,22$
 $T_{hp} = 142,2$
 $T_{prod} = 17,15$
 $T_{rect} = 117,8$
 $V_{aire} = 12,62$
 $V_{prod} = 0,002$

$A_{e_{hor}} = 0,7$ [m²]
 $A_{e_{vert}} = 0,84$ [m²]
 $A_{i_{vert}} = 0,54$ [m²]
 $Am_{vert} = 0,6735$
 $A_{banda} = 0,2112$ [m²]
 $A_{pet} = 1,696$ [m²]
 $A_{pvc} = 1,697$ [m²]
 $b = 1,2$ [m]
 $Cp_{aireamb} = 1007$ [J/Kg-K]
 $Cp_{pet} = 1000$ [J/Kg-K]
 $Cp_{pvc} = 1300$ [J/Kg-K]
 $D_{hid} = 0,1846$
 $\varepsilon = 0,4$
 $e_2 = 0,02511$
 $e_{banda} = 0,002$
 $e_{pvc} = 0,0000254$ [m]
 $h_{aire} = 16,16$
 $k_{aire} = 0,03612$ [W/m-k]
 $k_{pet} = 0,24$ [W/m-k]
 $k_{total} = 59,46$ [W/m-k]
 $L_{paquete} = 44$ [m/paquetes]
 $L_{tunel} = 1,173$
 $ma_{prod} = 12,38$
 $\mu_{aire} = 0,00002479$ [Kg/m-s]
 $m_{banda} = 0,3255$ [Kg/s]
 $m_{prod} = 4,128$ [Kg/s]
 $Nr_{resistencia} = 7,17$
 $N_{paquetes} = 20$ [paquetes/min]
 $P_r = 1000$ [W]
 $Q_{pared_{total}} = 421,3$
 $Q_{banda} = 504,4$
 $Q_{paquete} = 5928$
 $Q_{perdvert} = 113,2$
 $Q_{prod} = 2378$
 $Q_{sistema} = 7170$
 $Re\# = 33246$
 $\rho_{horno} = 0,7894$ [Kg/m³]
 $\rho_{prod} = 1032$ [Kg/m³]
 $r_o = 0,6$
 $\sigma = 5,669E-08$ [W/m²-K⁴]
 $T_{O_{prod}} = 17$ [C]
 $T_{amb} = 17$ [C]
 $T_{horno} = 166,5$
 $T_{pet} = 26,07$
 $T_{pvc} = 160$ [C]
 $U = 9,38$
 $V_{flujp} = 0,004919$ [m³/s]
 $V_{trans} = 8,8$

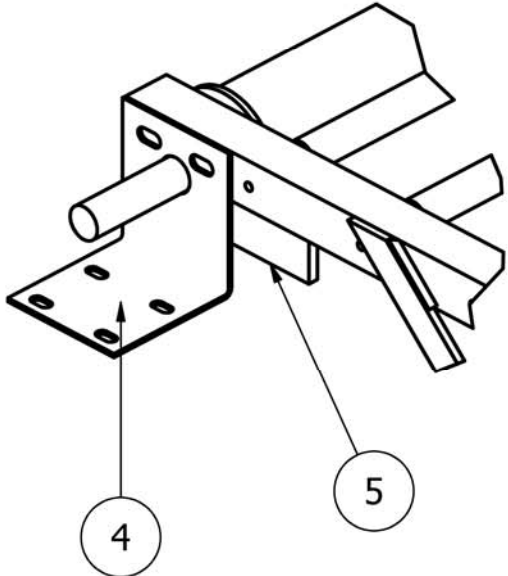
Planos



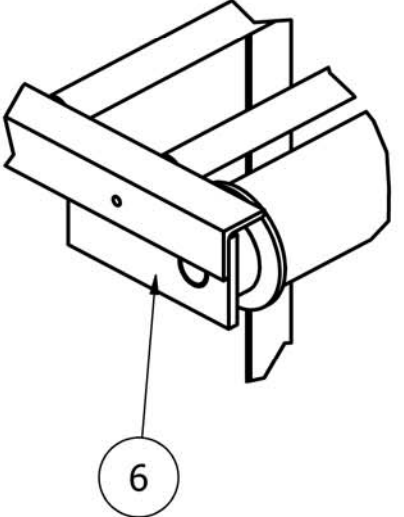
				Tolerancias	Peso	Materiales	
				± 2	173.13 kg		
				fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib.	DORIAN A.		
				Rev.	Ing. ESCOBAR		
				Apro.			
						Número de dibujo	ISO E
						1	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



Detalle A (1 : 5)

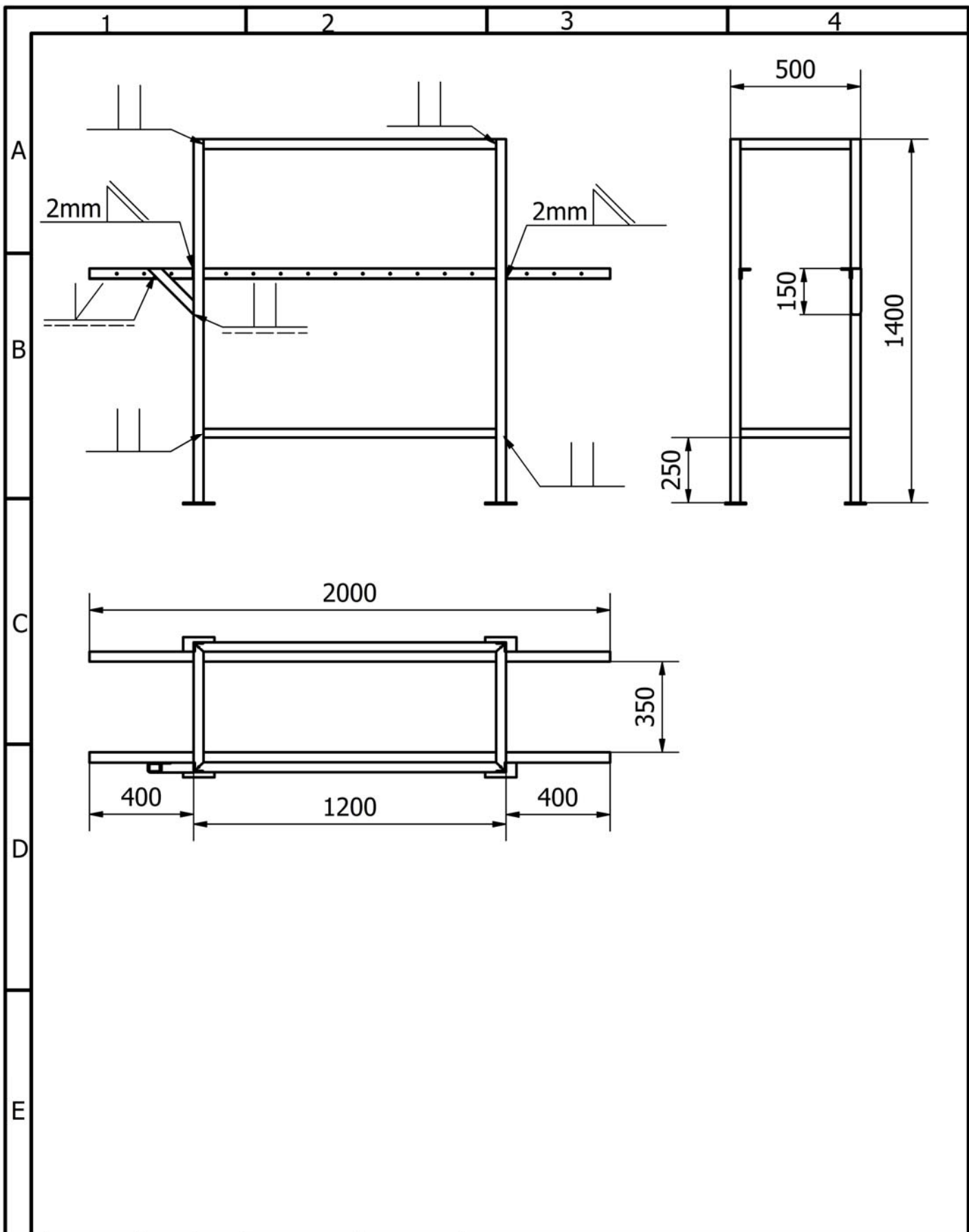


Detalle B (1 : 5)

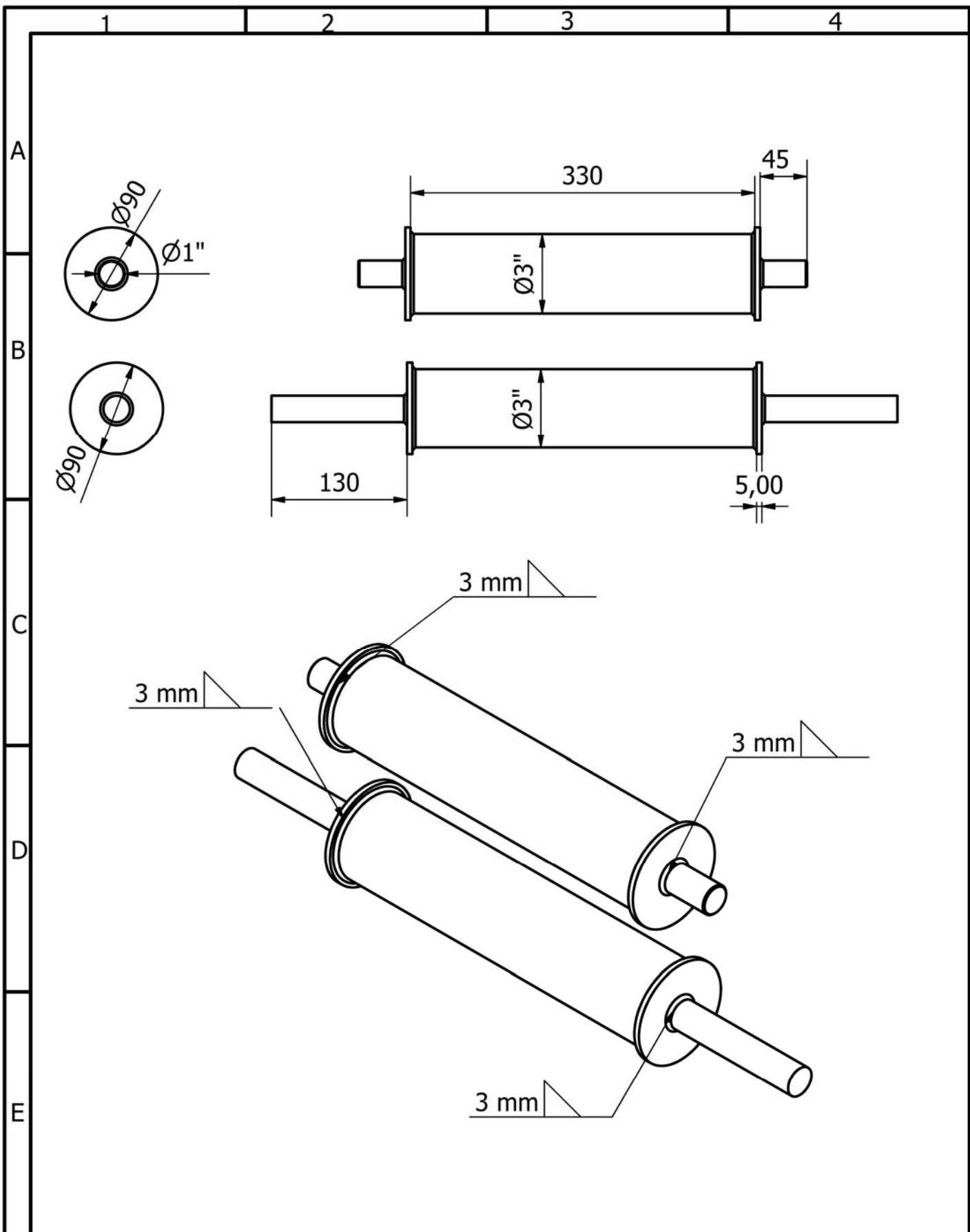


2	ALOJAMIENTO DE RODAMIENTO MOVIL	8	Acero A36	6		0.81 Kg.	
2	ALOJAMIENTO DE RODAMIENTO FIJA	7	Acero A36	5		0.65 Kg.	
1	SOPORTE PARA MOTOR	6	Acero A36	4		0.58 Kg.	
18	RODILLO PARA CAMA DE RODILLOS	5	Tubo Galvanizado ASTM A53	3		0.68 Kg.	
1	RODILLOS GUIA	4	Tubo Galvanizado ASTM A53	2		8.79 Kg	
1	ARMAZÓN	3	Perfil L	1		45.6 Kg.	
Nº de pieza.	Denominación	Nº de Dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo/semiproducto	Peso Kg/piezas	Observaciones

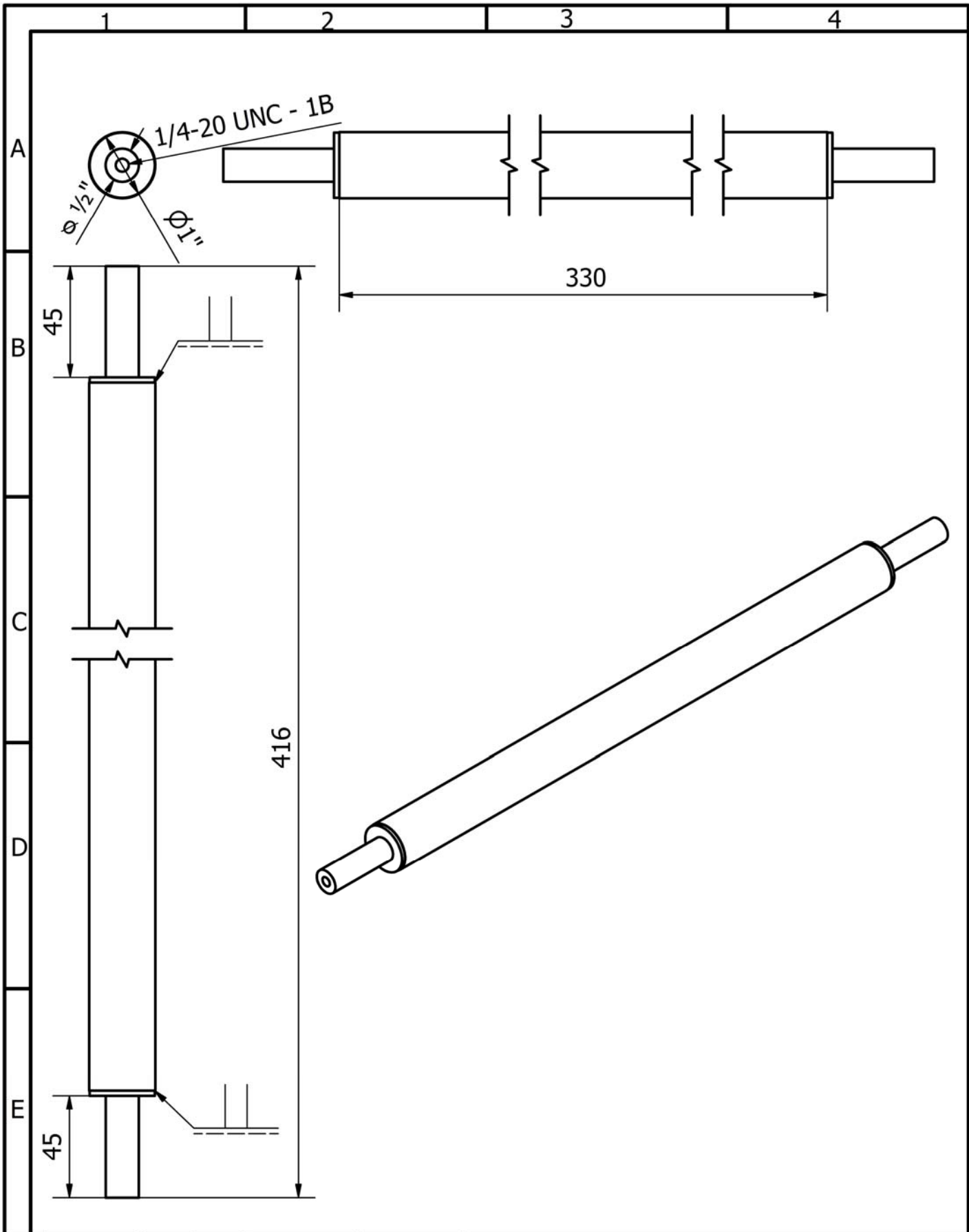
		Tolerancias	Peso	Materiales	
		± 2			
		fecha	Nombre	Denominación	
		Dib.	DORIAN A.	ESTRUCTURA INTERNA	
		Rev.	Ing. ESCOBAR	Escala	
		Apro.		1:10 A	
				Número de dibujo	2
				(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	ISO E	



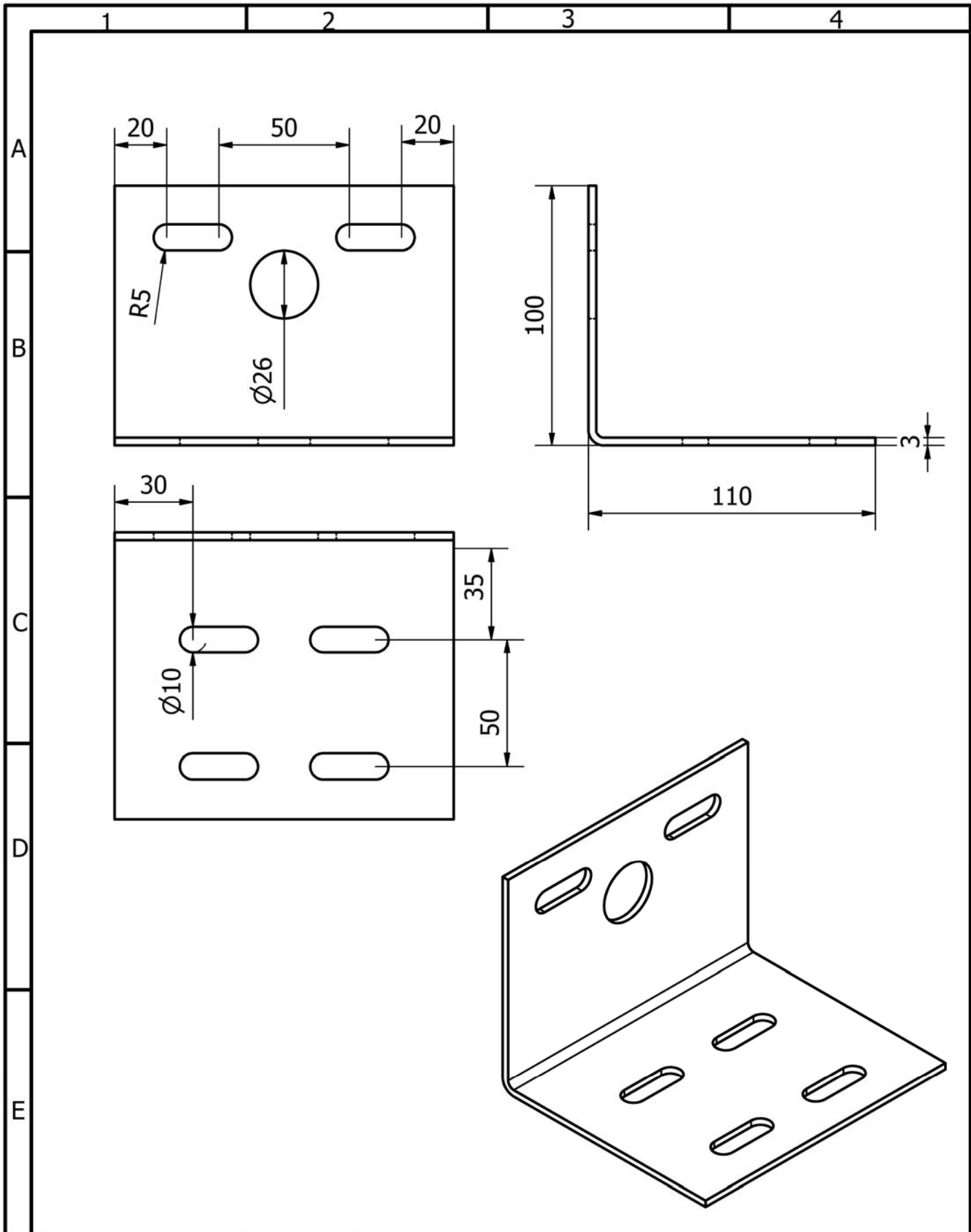
				Tolerancias ± 2	Peso 45,6 kg	Materiales Perfil L	
						Denominación ARMAZÓN	Escala 1:20
				fecha	Nombre		
				Dib.	DORIAN A.		
				Rev.	Ing. ESCOBAR		
				Apro.		Número de dibujo 3	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



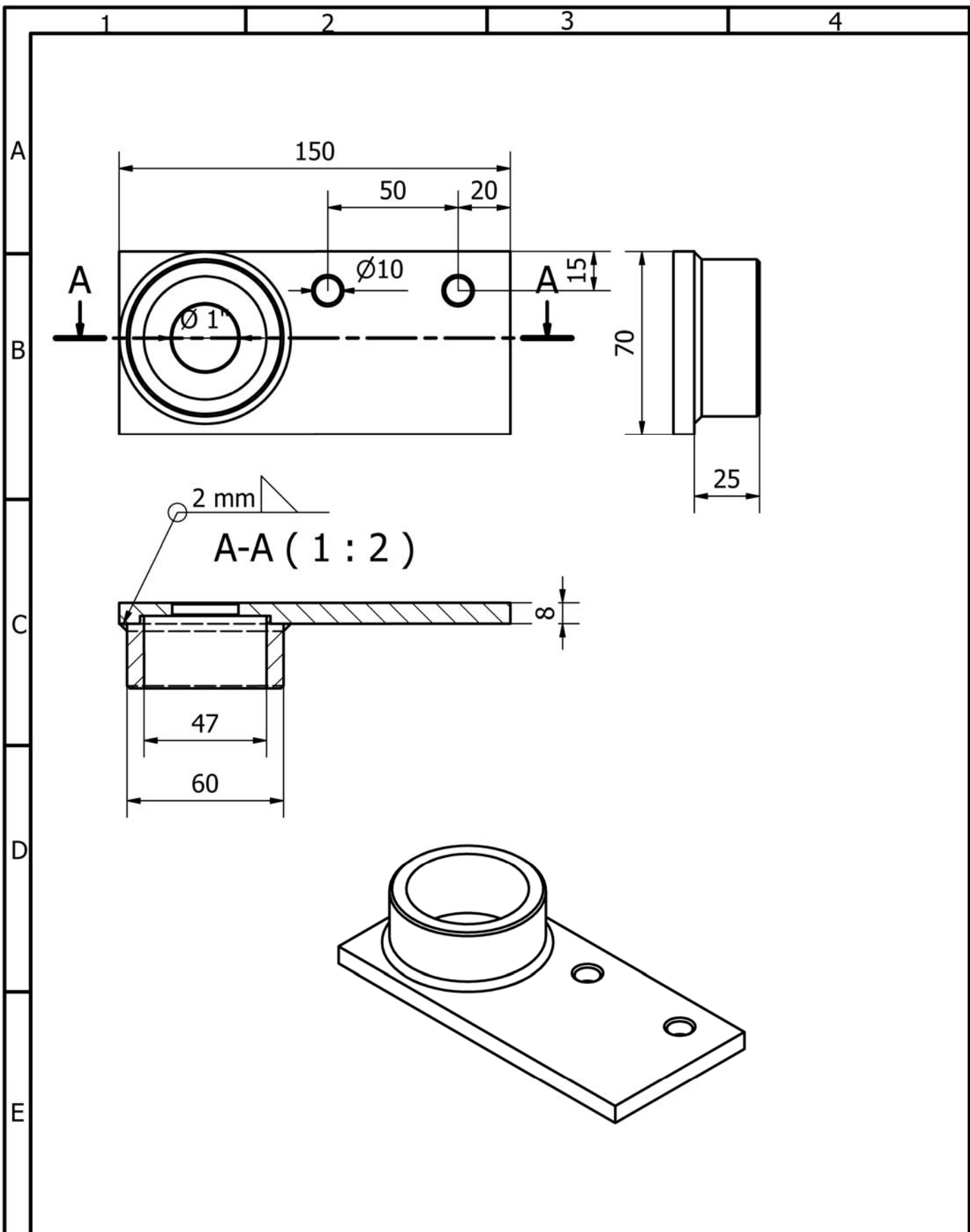
				Tolerancias ± 2	Peso 8.79 Kg	Materiales TUBO GALVANIZADO ASTM A 53		
						Denominación RODILLOS GUIA	Escala 1 : 5	
				fecha	Nombre DORIAN A.		Número de dibujo 4	ISO E
				Dib.	Ing. ESCOBAR			
				Rev.				
				Apro.				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		



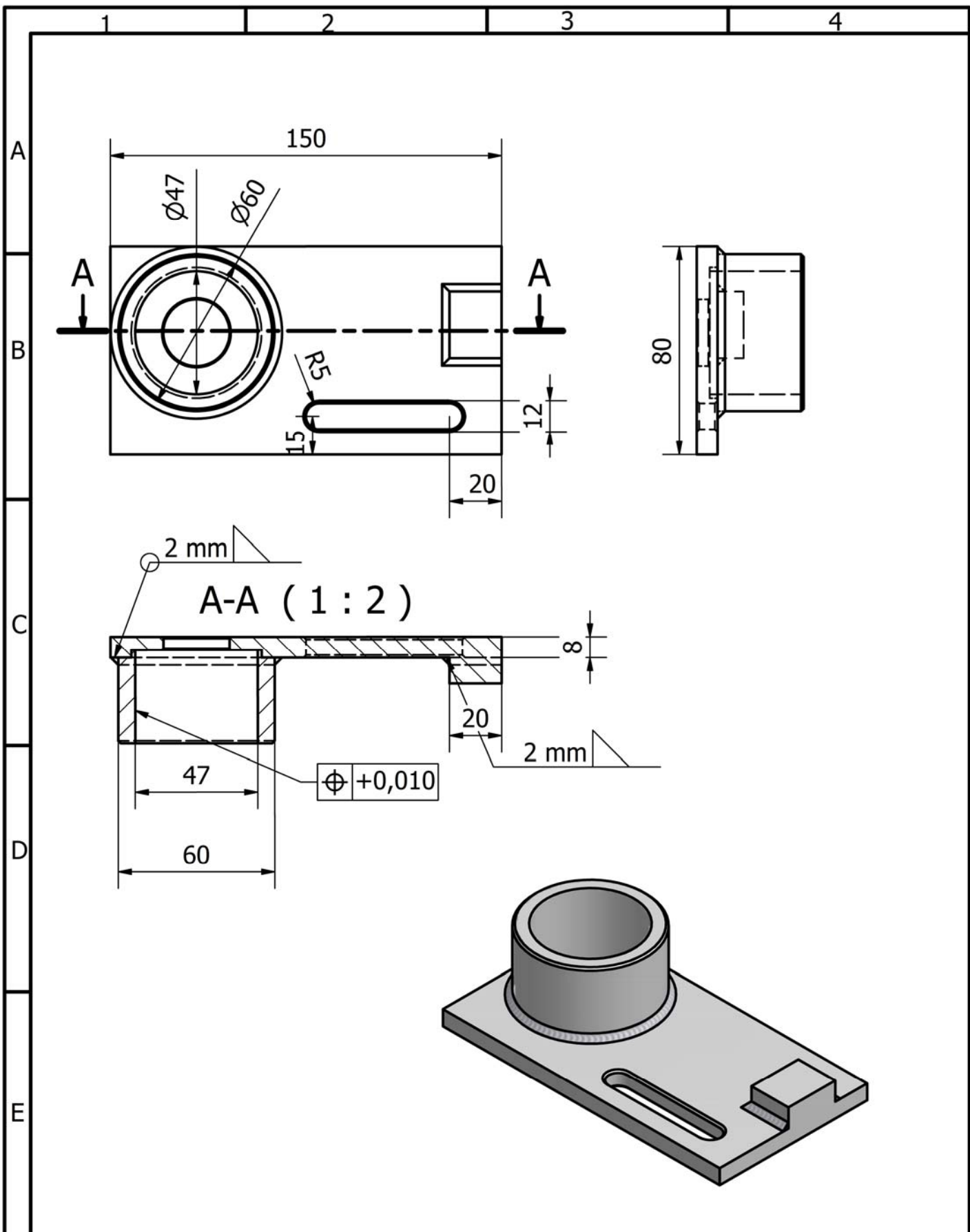
				Tolerancias ± 2	Peso 0,68 kg	Materiales TUBO GALVANIZADO ASTM A53	
				fecha	Nombre	Denominación RODILLO PARA CAMA DE RODILLOS	Escala 1:2.5
				Dib.	DORIAN A.		
				Rev.	Ing. ESCOBAR		
				Apro.		Número de dibujo 5	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



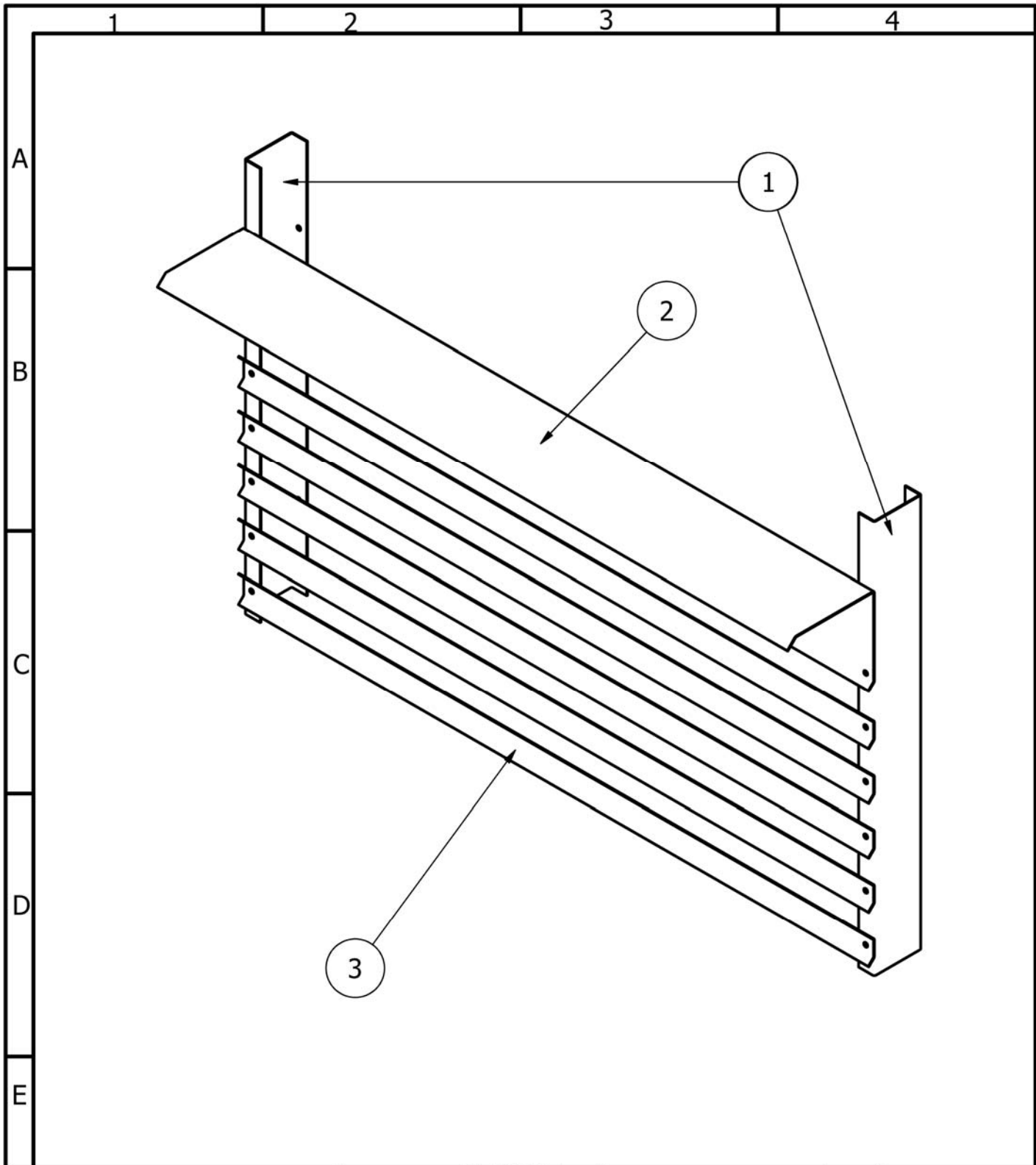
				Tolerancias ± 2	Peso 0,58 kg	Materiales Acero ASTM A36	
						Denominación	Escala 1:2.5
				Dib.	Nombre DORIAN A.	SOPORTE PARA MOTOR	
				Rev.	Ing. ESCOBAR		
				Apro.			
						Número de dibujo 6	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancias ± 1	Peso 0,80 kg	Materiales Acero ASTM A36	
				fecha	Nombre	Denominación SOPORTE FIJO PARA RODAMIENTO	Escala 1:2.5
				Dib.	DORIAN A.		
				Rev.	Ing. ESCOBAR		
				Apro.		Número de dibujo 7	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



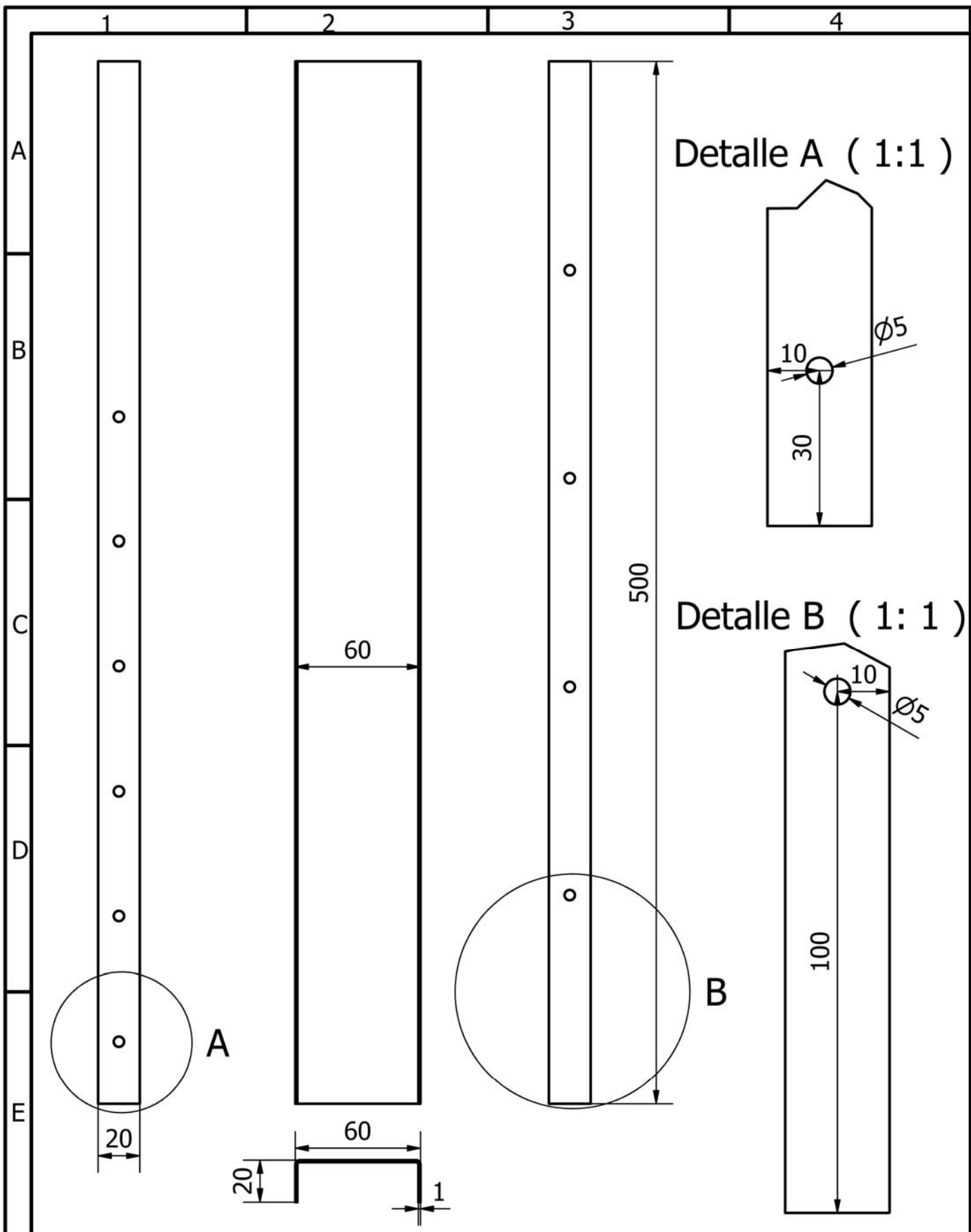
				Tolerancias ± 1	Peso 0,98 kg	Materiales Acero ASTM A 36	
						Denominación SOPORTE PARA RODAMIENTO	Escala 1:2.5
			fecha	Nombre			
			Dib.	DORIAN A.			
			Rev.	Ing. ESCOBAR			
			Apro.			Número de dibujo 8	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



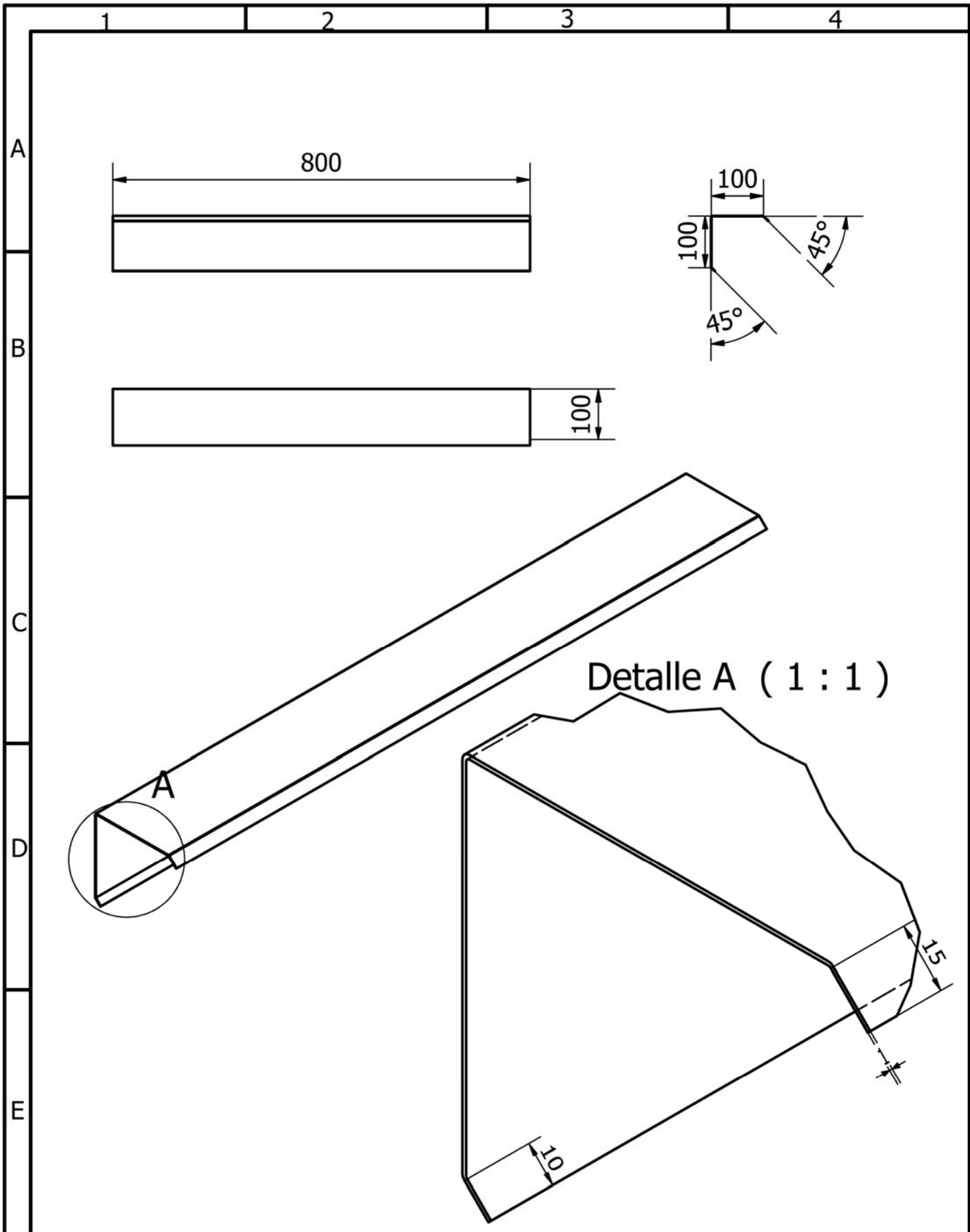
10	Deflector de aire	12	galvanizado ASTM A653	3		0.24 Kg.	
2	Conductor de aire de recirculación	11	galvanizado ASTM A653	2		1.40 Kg.	
4	Laterales ducto de aire	10	galvanizado ASTM A653	1		0.4 Kg.	
Nº de pieza.	Denominación	Nº de Dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pieza	Observaciones

		Tolerancias ± 2		Peso		Materiales Lámina de acero galvanizado ASTM653	
		fecha		Nombre		Denominación	
		Dib.		DORIAN A.		DUCTO DE AIRE CALIENTE	
		Rev.		Ing. ESCOBAR		Escala 1:5	
		Apro.				Número de dibujo 9	
						ISO E	
Edición		Modificación		Fecha		Nombre	
						(Sustitución)	

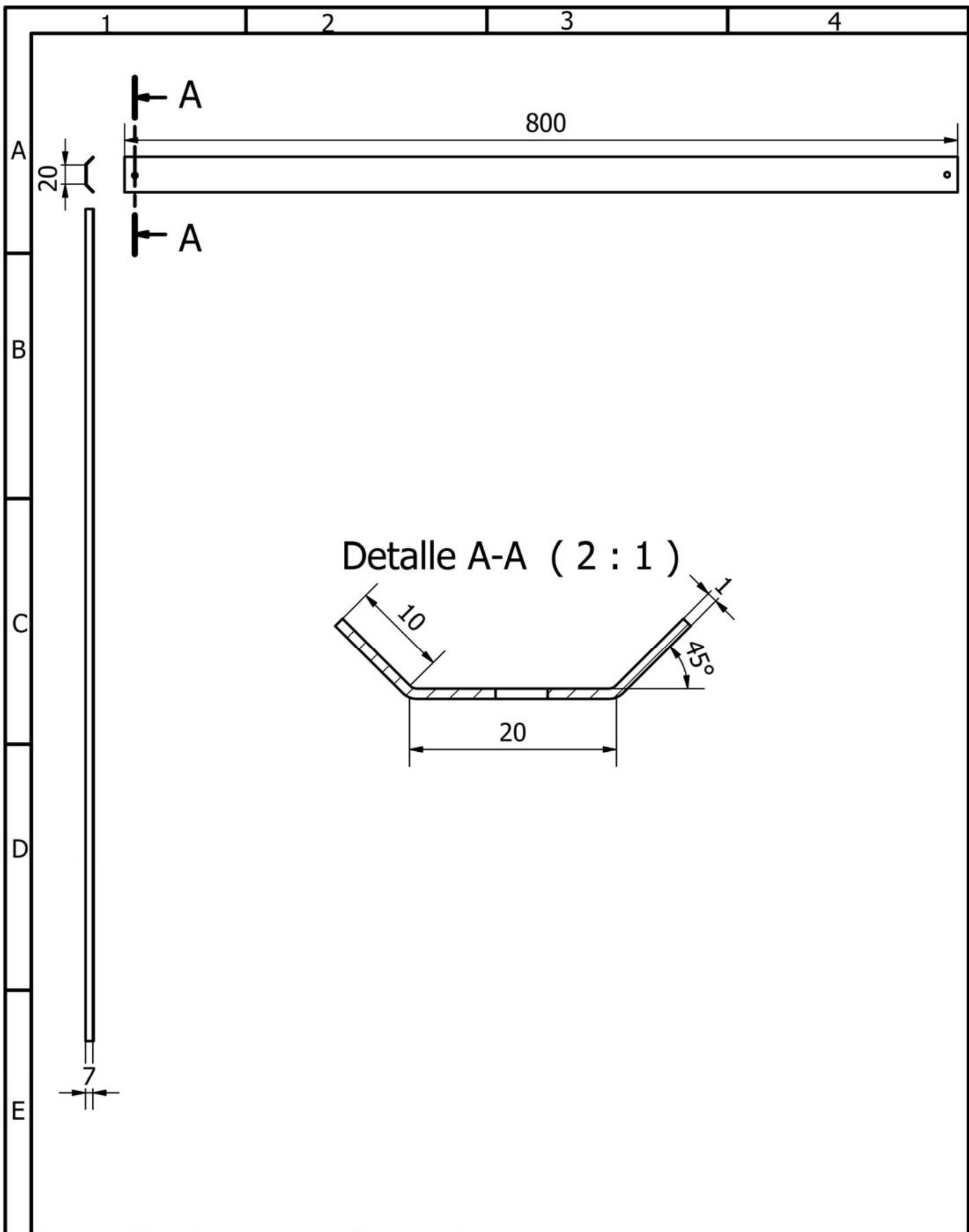




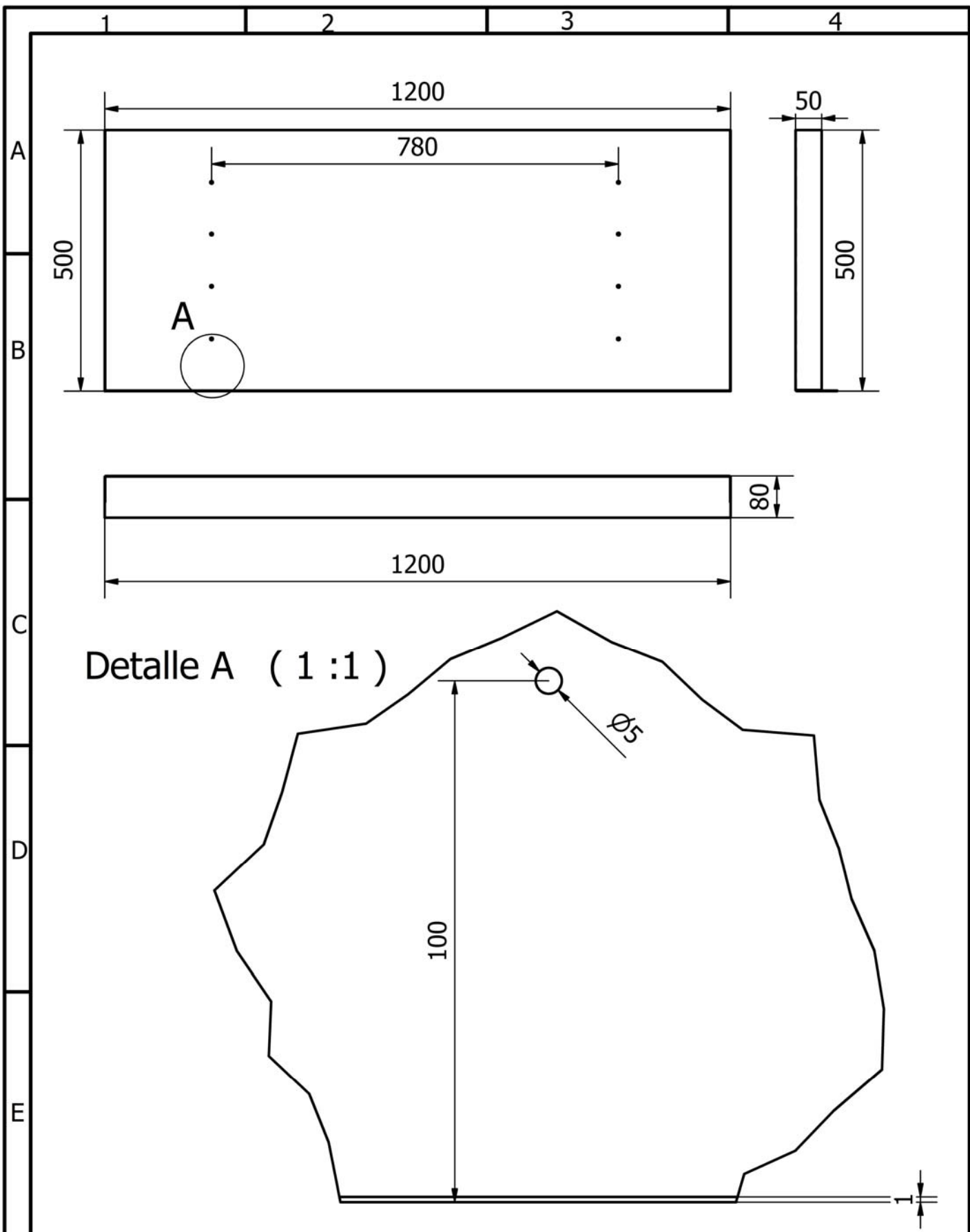
				Tolerancias ± 2	Peso 0,4 kg	Materiales Lámina de acero galvanizado ASTM A 653	
						Denominación	Escala
				fecha	Nombre	LATERALES DUCTO DE AIRE	1 : 2.5
				Dib.	DORIAN A.		
				Rev.	ING. ESCOBAR		
				Apro.		Número de dibujo	ISO E
						10	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



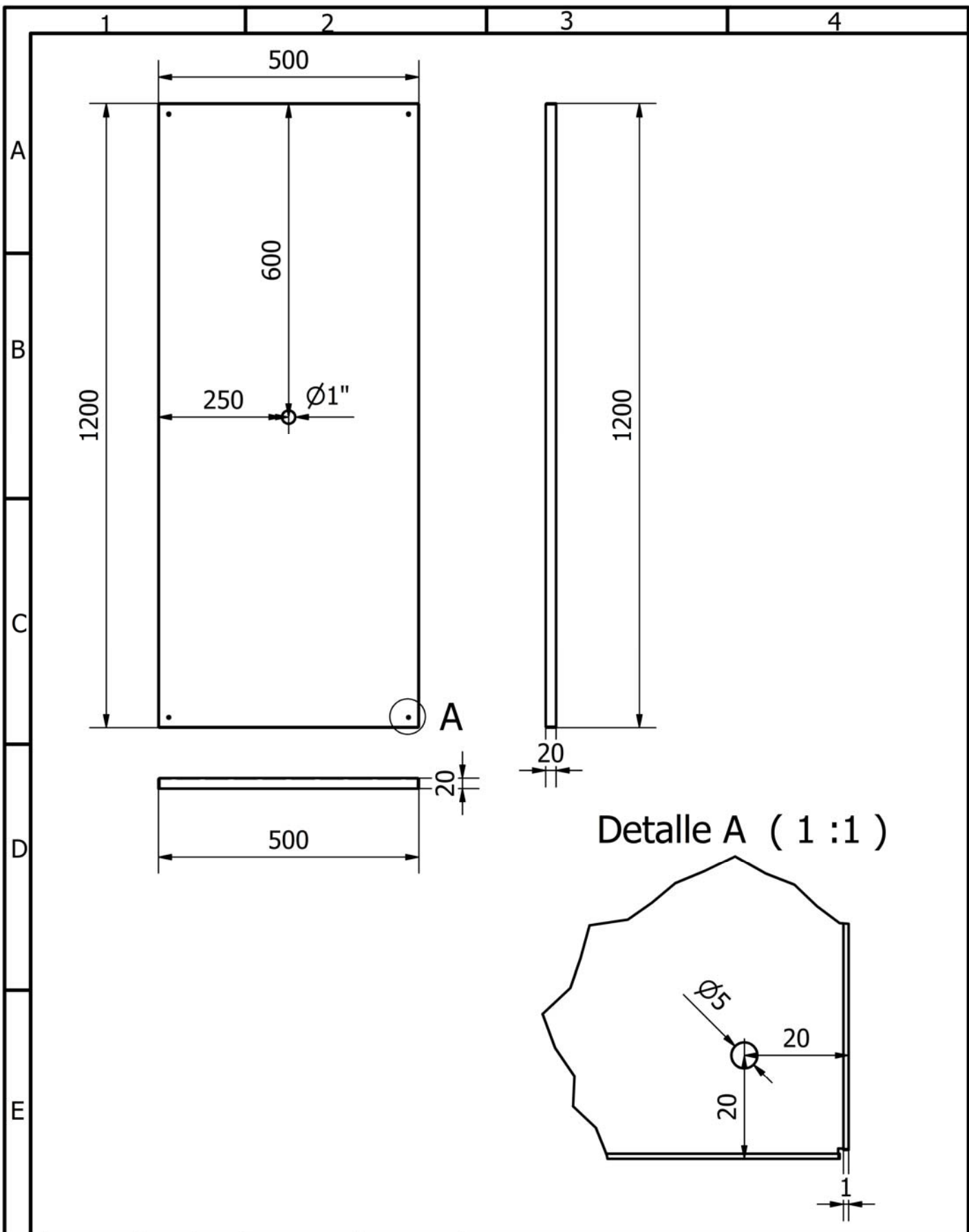
				Tolerancias ± 1	Peso 1,40 kg	Materiales Lamina de acero galvanizado ASTM A 653	
				fecha	Nombre	Denominación PLANCHA SUPERIOR CONDUCTOR DE AIRE DE RESIRCULACION	Escala 1 : 10
				Dib.	DORIAN A.		
				Rev.	ING. ESCOBAR		
				Apro.		Número de dibujo 11	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



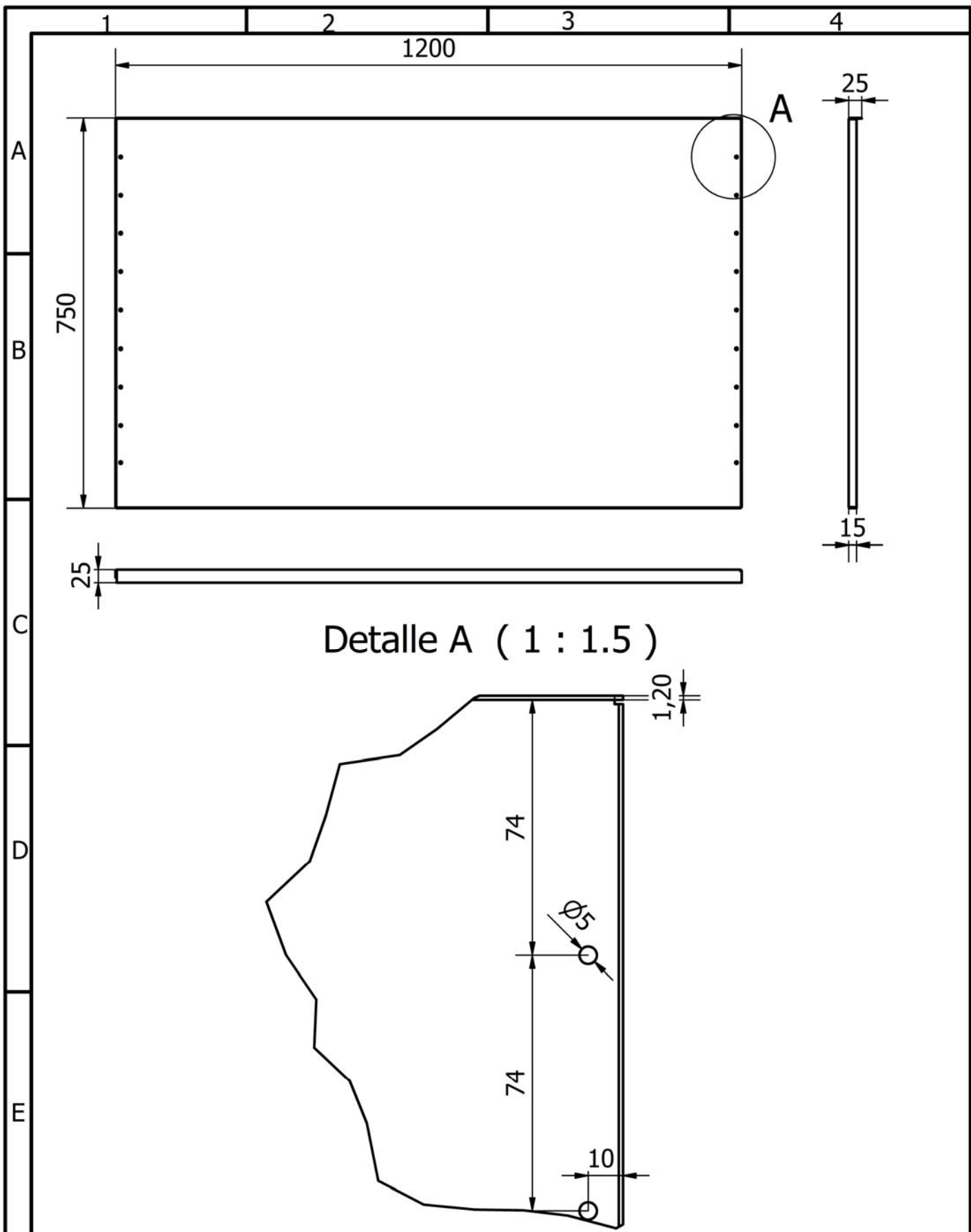
				Tolerancias ± 2	Peso 0,24 kg	Materiales Lámina de acero galvanizado ASTM A 653	
				fecha	Nombre	Denominación DEFLECTOR DE AIRE	Escala 1 : 5
			Dib.		DORIAN A.		
			Rev.		ING. ESCOBAR		
			Apro.				
						Número de dibujo 12	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	




				Tolerancias ± 2	Peso 5,82 kg	Materiales Lamina de acero galvanizado ASTM A 653	
				fecha	Nombre	Denominación PLANCHA VERTICAL PARED INTERIOR	Escala 1:10
			Dib.		DORIAN A.		
			Rev.		Ing. ESCOBAR		
			Apro.				
						Número de dibujo 13	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

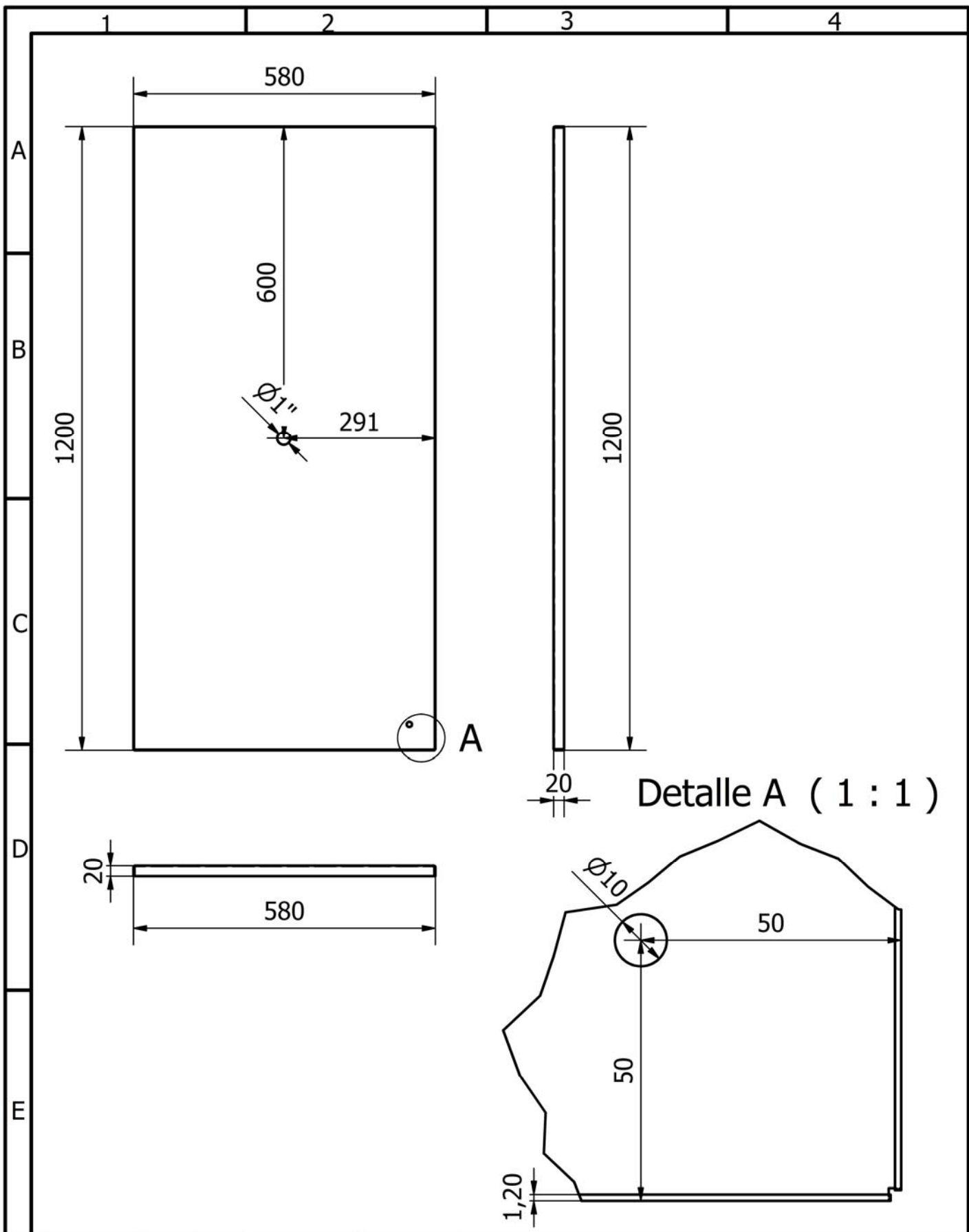


				Tolerancias ± 2	Peso 5,19 kg	Materiales Lamina de acero galvanizado ASTM A 653	
				fecha	Nombre	Denominación PLANCHA HORIZONTAL PARED INTERIOR	Escala 1 : 10
				Dib.	DORIAN A.		
				Rev.	Ing. ESCOBAR		
				Apro.		Número de dibujo 14	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

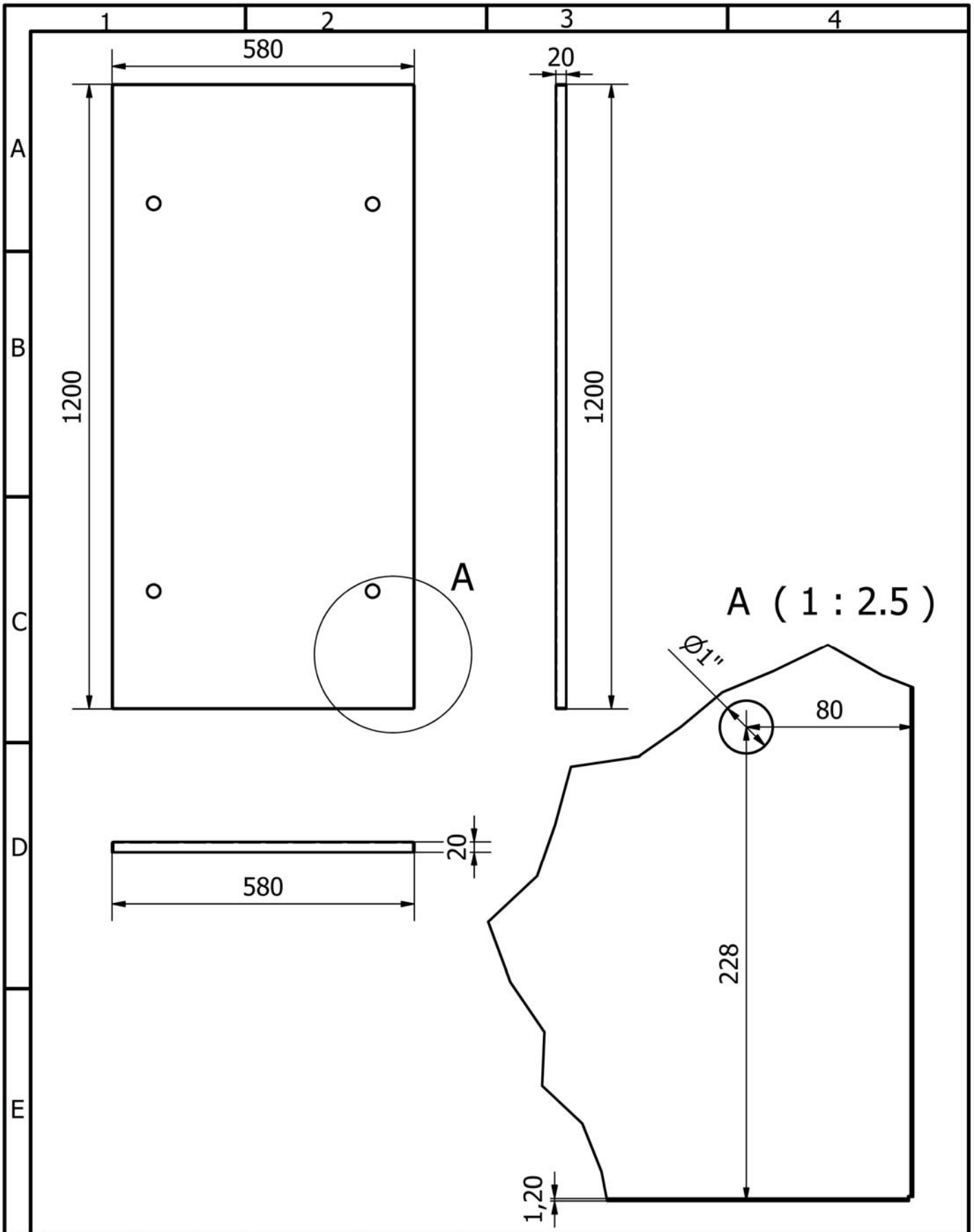


Detalle A (1 : 1.5)

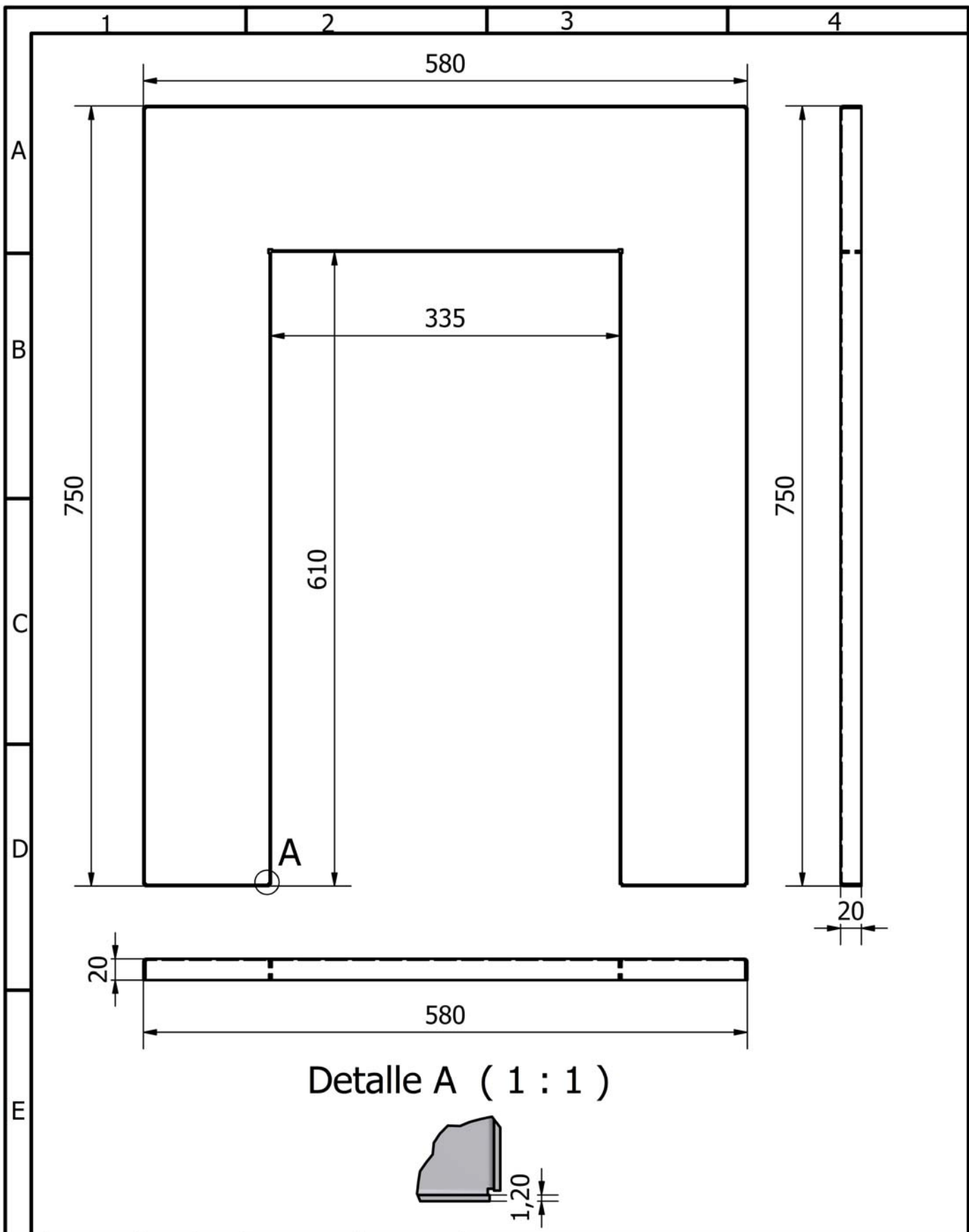
				Tolerancias ± 2	Peso 9,06 kg	Materiales Lámina de acero galvanizado ASTM A 653	
				fecha	Nombre	Denominación PLANCHA VERTICAL PARED EXTERIOR	Escala 1 : 10
				Dib.	DORIAN A.		
				Rev.	Ing. ESCOBAR		
				Apro.		Número de dibujo 15	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



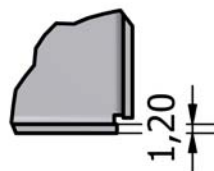
				Tolerancias	Peso	Materiales	
				± 2	7,15 kg	Lámina de acero galvanizado ASTM A 653	
				fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib.	DORIAN A.		
				Rev.	Ing. ESCOBAR		
				Apro.			
						Número de dibujo	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			16	(Sustitución)



				Tolerancias ± 2	Peso 7,14 kg	Materiales Lámina de acero galvanizado ASTM A 653	
						Denominación	Escala
			fecha	Nombre	PLANCHA HORIZONTAL INFERIOR PARED EXTERIOR		1 : 10
			Dib.	DORIAN A.			
			Rev.	Ing. ESCOBAR			
			Apro.				
					Número de dibujo	17	ISO E
					(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



Detalle A (1 : 1)



				Tolerancias ± 2	Peso 2,83 kg	Materiales Lámina de acero galvanizado ASTM A 653	
						Denominación PLANCHA ANERIOR Y POSTERIOR DE PARED EXTERIOR	Escala 1 : 5
				Dib.	Nombre DORIAN A.		Número de dibujo 18
				Rev.	ING. ESCOBAR	(Sustitución)	
				Apro.			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

