

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES



Proyecto integrador

Pre diseño de un sistema de enfriamiento para bandejas de dulces y frascos de mermeladas, pos envasado en una industria alimenticia

Alumnos: Giraudó, Hernán - Tuma, Gali Nicolás

Carrera: Ingeniería Mecánica

Tutor docente: Walter Miguel Keil

Año de ejecución: 2015

Córdoba

*A nuestros maestros,
por tan buena disposición, incentivando nuestro espíritu creativo*

*A nuestras familias,
quienes nos apoyan desde siempre para concretar nuestros sueños.*

*A nuestros compañeros,
expresándoles nuestra gratitud por los tiempos compartidos.*

Agradecimientos

Expresamos nuestros sinceros agradecimientos, a quienes colaboraron con nosotros en el presente proyecto:

Al Ingeniero Walter Miguel Keil, por su acertada dirección del proyecto.

Al Ingeniero Ángel Andrés Galeasso, por el tiempo dedicado y la colaboración desinteresada, se agradece el trato percibido.

Introducción

En las industrias alimenticias, el control de los procesos es vital para garantizar la calidad de los productos, de forma que lleguen a manos de los consumidores finales en óptimas condiciones para su consumo. Particularmente en el caso estudiado se identifica una falla en la cadena productiva que da origen al presente estudio.

A continuación se podrá ver en este informe el desarrollo del pre diseño de un sistema de enfriamiento para industrias alimenticias para productos envasados, específicamente dulces en bandejas y mermeladas en frascos.

El proceso de diseño comenzó al indagar el proceso implementado, entender a fondo la problemática, y así analizar el escenario, conociendo la empresa en cuanto a su estructura jerárquica y los departamentos presentes que forman parte del sistema productivo, ya que es fuente de información indispensable para lograr el conocimiento de las problemáticas presentes. Se podrá apreciar que se destinó una mayor parte de los esfuerzos y tiempo a determinar los parámetros, requisitos y características del producto a enfriar y así de esta manera llegar a obtener un sensible resultado final.

Actuando de manera convergente, se identifican los productos críticos por medio de datos provistos por los departamentos de producción y calidad, y se procede al análisis de los mismos mediante el estudio de las recetas con la que se constituyen los dulces y mermeladas logrando determinar características térmicas como calor específico y conductividad térmica.

En la lista de componentes del producto (recetas) se logró identificar el componente responsable de la calidad de gelificación del producto. Ahora podemos decir que garantizando la correcta aplicación de este componente se obtendrá el producto en óptimas condiciones. La gelificación es considerada una de las problemáticas críticas, ya que influyen en la presentación final del producto y también nos proporciona indicios de una incorrecta cocción de los mismos.

Finalmente, luego de haber estudiado las problemáticas y haber propuesto la mejor solución desde nuestro punto de vista, logramos el diseño conceptual del túnel, tratándolo

como un intercambiador de calor en el que el medio de enfriamiento es aire y el producto a enfriar es el dulce o mermelada, así se llega a una respuesta analítica que es comparada con resultados obtenidos a través de un software de análisis numérico.

Como última etapa del proyecto comparamos si la alternativa conseguida es competitiva desde el punto de vista económico frente a los costos asociados al sistema de enfriamiento utilizado por la empresa.

Objetivos del proyecto

- Objetivo principal:

Pre diseñar un sistema de enfriamiento para insertar en la línea de producción de dulces de la Empresa Orieta. El propósito fundamental será proyectar una unidad automática y regulada para minimizar el tiempo de enfriamiento, teniendo en cuenta aspectos de calidad alimenticia de los productos elaborados en la firma y de esta manera resolver la problemática de los dulces y mermeladas luego del envasado.

- Objetivo específico:

- Disminuir la temperatura del producto a la salida de la línea de producción, dejándolo listo para el paletizado definitivo.
- Optimizar espacio utilizado en planta, ya que con la estrategia actual se necesita determinado espacio para estacionar el producto hasta que tenga las condiciones acordes para el paletizado.
- Mejorar el proceso “just in time”, logrando que inmediatamente después del envasado se pueda tener el producto listo para entregar al cliente.
- Disminuir mano de obra, ya que disminuirían a la mitad las tareas luego del envasado.
- Disminuir riesgos de trabajo para el empleado, ya que se eliminan tareas con alto riesgo ergonómico.

ÍNDICE

Índice de figuras	- 1 -
Índice de tablas	- 3 -
LISTA DE SÍMBOLOS	- 4 -
CAPÍTULO 1: Presentación de la empresa y su problemática	- 7 -
Presentación de productos	- 8 -
Descripción de la problemática	- 9 -
CAPÍTULO 2: Estudio de tipos y métodos de enfriamiento	- 12 -
Tecnología de enfriamiento	- 13 -
Sistema convencional	- 13 -
Sistemas convencionales mejorados	- 13 -
Túneles de enfriamiento	- 14 -
Selección del sistema de enfriamiento	- 17 -
CAPÍTULO 3: Análisis de productos	- 18 -
Análisis de producción - calidad	- 18 -
Propiedades térmicas de productos críticos	- 19 -
CAPÍTULO 4: Requisitos de diseño	- 22 -
Ensayos de tiempo de exposición	- 22 -
Ensayo 1: Enfriamiento al natural	- 23 -
Ensayo 2: Enfriamiento por aire forzado	- 23 -
Ensayo 3: Enfriamiento por inmersión en agua natural	- 23 -
Ensayo 4: Enfriamiento por inmersión en agua refrigerada	- 24 -
Resultados de los ensayos	- 24 -
Temperatura de salida del túnel	- 25 -
CAPÍTULO 5: Elección del túnel y método de enfriamiento	- 28 -
Lista de criterios utilizados:	- 29 -
Definición de los modelos a evaluar:	- 29 -
Capítulo 6: Modelización teórico-analítica	- 32 -
Bandejas	- 32 -

Frascos	- 36 -
Características finales del túnel.....	- 38 -
Capítulo 7: Comparación por simulación en COMSOL.....	- 40 -
Conclusión.....	- 41 -
Capítulo 8: Selección de componentes	- 42 -
Capítulo 9: Factibilidad económica	- 49 -
Capítulo 10: Conclusión.....	- 52 -
GLOSARIO.....	- 53 -
BIBLIOGRAFÍA.....	- 54 -
ANEXOS.....	- 55 -
Anexo 1: Empresas fabricantes de túneles de enfriamiento	- 55 -
Anexo 2: Análisis de porcentajes de producción	- 59 -
Anexo 3: Ensayos de tiempo de exposición.....	- 60 -
Anexo 4: Geometría de los productos	- 64 -
Anexo 5: Cálculo analítico	- 67 -
Anexo 6: Simulación de enfriamiento de frascos de mermelada	- 78 -
Anexo 7: Cálculo de pérdidas en el túnel	- 86 -
Anexo 8: Especificaciones de cinta transportadora.....	- 95 -

Índice de figuras

Figura 1.1. Organigrama de la empresa.	- 7 -
Figura 1.2. Productos en enfriamiento.	- 10 -
Figura 1.3. Zona de enfriamiento y productos en espera.	- 11 -
Figura 2.4. Enfriamiento por chorros.	- 13 -
Figura 2.5. Compartimientos para pallets.	- 14 -
Figura 2.6. Sistema de túnel y cámara de frío.	- 15 -
Figura 2.7. Enfriador para pallets.	- 15 -
Figura 3.8 Gráfico de torta para porcentaje de producción.	- 18 -
Figura 4.9. Zona de gelificación adecuada.	- 26 -
Figura 4.10. Rangos de funcionamiento para distintas pectinas.	- 26 -
Figura 6.11. Disposición a la salida de línea.	- 33 -
Figura 6.12. Sección transversal para 6 columnas.	- 34 -
Figura 6.13. Módulo túnel.	- 34 -
Figura 6.14. Esquema intercambiador de calor.	- 35 -
Figura 7.15. Sección túnel para frascos.	- 36 -
Figura 6.16. Esquema 3D pre-diseño túnel de enfriamiento.	- 39 -
Figura 6.17. Esquema pre-diseño túnel de enfriamiento.	- 39 -
Figura 7.18. Resultados.	- 41 -
Figura 8.19. Curva del ventilador seleccionado.	- 44 -
Figura A.20. Túnel para chocolate.	- 55 -
Figura A.21. Túnel de enfriado y pasteurizado.	- 56 -
Figura A.22. Túnel de congelado helicoidal.	- 57 -
Figura A.23. Túnel de congelado.	- 58 -
Figura A.24. Frasco ensayo 1.	- 61 -
Figura A.25. Bandeja ensayo 1	- 61 -
Figura A.26. Tapa perforada para ensayo.	- 61 -
Figura A.27. Túnel de ensayo 2.	- 61 -
Figura A.28. Túnel de ensayo.	- 61 -
Figura A.29. Ensayo 3 bandejas.	- 62 -
Figura A.30. Ensayo 3 frascos.	- 62 -
Figura A.31. Daño en etiqueta.	- 62 -
Figura A.32. Ensayo 4 frascos.	- 63 -
Figura A.33. Vista de bandeja de dulces.	- 64 -
Figura A.34. Vista de la bandeja de dulces y dimensiones.	- 64 -
Figura 6.35. Geometría de frasco.	- 66 -
Figura A.36. Esquema intercambiador de calor.	- 67 -

Figura A.37. Esquema intercambiador de calor.....	- 70 -
Figura A.38. Esquema de intercambiador de calor.....	- 73 -
Figura A.39. Relación velocidad y coeficiente global de transferencia de calor.	- 77 -
Figura A.40. Geometría.	- 78 -
Figura A.41. Material.....	- 79 -
Figura A.42. Transferencia de calor.....	- 80 -
Figura A.43. Propiedades de la tubería.	- 80 -
Figura A.44. Temperatura.	- 81 -
Figura A.45. Transferencia de calor en pared.....	- 82 -
Figura A.46. Resistencia de película interna.	- 83 -
Figura A.47. Resistencia de película externa.	- 84 -
Figura A.48. Salida de calor.	- 85 -
Figura A.49. Diagrama de Moody.....	- 88 -
Figura A.50. Esquema estrechamiento del túnel a la entrada para dos ventiladores.....	- 90 -
Figura A.51. Esquema ensanchamiento del túnel a la salida.	- 91 -
Figura A.52. Esquema estrechamiento del túnel a la entrada para un ventilador.....	- 92 -
Figura A.53. Esquema estrechamiento a la entrada del túnel para tres ventiladores.	- 93 -

Índice de tablas

Tabla 1.1. <i>Productos Orieta, mermeladas.</i>	- 8 -
Tabla 1.2. <i>Productos Orieta, dulces.</i>	- 9 -
Tabla 3.3. <i>Calor específico de productos, calorías a eliminar, disposición a la salida de línea y conductividad térmica de los productos Orieta.</i>	- 21 -
Tabla 4.4. <i>Resultados de los ensayos realizados.</i>	- 24 -
Tabla 4.5. <i>Resultados de los análisis de calidad sobre productos ensayados.</i>	- 25 -
Tabla 5.6. <i>Método del valor técnico ponderado.</i>	- 30 -
Tabla 8.7. <i>Opciones para la instalación de ventiladores según caudal y pérdida de carga.</i>	- 43 -
Tabla 8.8. <i>Inversión total en materiales.</i>	- 48 -
Tabla 9.9 <i>Flujo de fondo neto</i>	- 50 -
Tabla A.10. <i>Porcentajes de producción.</i>	- 59 -
Tabla A.11. <i>Datos de túneles con 2,4 y 6 columnas.</i>	- 76 -
Tabla A.12. <i>Valores de h y U para diferentes velocidades de aire.</i>	- 77 -
Tabla A.13. <i>Rugosidades de materiales.</i>	- 87 -

LISTA DE SÍMBOLOS

A = Área [m^2]

A_s = Área del cuerpo en contacto [m^2]

a = Ancho [m]

Bi = Número de Biot [adim.]

C_a = Caudal de agua [m^3/seg]

C_p = Calor específico a presión constante [$KJ/Kg * K$]

C_{pa} = Calor específico a presión constante del agua [$KJ/Kg * K$]

C_{pd} = Calor específico a presión constante del dulce [$KJ/Kg * K$]

C_{pi} = Calor específico del componente i [$KJ/Kg * K$]

C_{pms} = Calor específico para productos vegetales sin grasa [$KJ/Kg * ^\circ K$]

C_{pprod} = Calor específico del producto [$KJ/Kg * ^\circ K$]

D = Diámetro [m]

D_h = Diámetro hidráulico [m]

D_{hd} = Diámetro hidráulico del dulce [m]

D_{ht} = Diámetro hidráulico del túnel [m]

ε = Rugosidad [mm]

F = Fuerza [N]

f = Factor de fricción de Darcy [adim.]

g = Aceleración de la gravedad [m/seg^2]

H = Pérdidas primarias [m]

H_T = Pérdidas totales [m]

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección [$W/m^2\text{°K}$]

h_l = Pérdidas secundarias [m]

k = Conductividad térmica [$W/m\text{°K}$]

L = Longitud [m]

L_m = Longitud mínima del túnel [m]

L_n = Logaritmo natural

m_a = Caudal másico del agua [kg/seg]

m_{ai} = Porcentaje de agua del componente i [%]

m_d = Caudal másico del dulce [kg/seg]

m_i = Porcentaje en masa del componente i [%]

N_c = Número de columnas

Nu = Número de Nusselt [adim.]

ν = Viscosidad cinemática [m^2/seg]

P = Presión [kg/cm^2]

P_l = Perímetro lateral de las bandejas [m]

Pr = Número de Prandtl [adim.]

ρ = Densidad [kg/m^3]

Q = Cantidad de calor [W] = [KJ/seg]

Q_a = Cantidad de calor del agua [Cal]

Q_d = Cantidad de calor del dulce [Cal]

Q_t = Caudal total [m^3/seg]

R_{ca} = Resistencia térmica de convección del aire [$m^2\text{°K}/W$]

R_{cd} = Resistencia térmica de conducción del dulce dentro del conducto [$m^2\text{°K}/W$]

R_{ce} = Resistencia térmica de conducción del envase [$m^2\text{°K}/W$]

Re = Número de Reynolds [adim.]

T_{ciclo} = Tiempo del ciclo [seg.]

T_e = Temperatura de entrada [°C]

T_{ia} = Temperatura de entrada del agua [$^{\circ}\text{C}$]

T_{id} = Temperatura de entrada del dulce [$^{\circ}\text{C}$]

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

T_{sa} = Temperatura de salida del agua [$^{\circ}\text{C}$]

T_{sd} = Temperatura de salida del dulce [$^{\circ}\text{C}$]

U = Coeficiente global de transferencia de calor [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

V_c = Velocidad de la cinta [m/seg]

Vol = Volúmen [m^3]

ΔP = Variación de presión [kg/cm^2]

ΔT = Salto térmico [$^{\circ}\text{C}$]

ΔT_{ml} = Temperatura media logarítmica [$^{\circ}\text{C}$]

CAPÍTULO 1: Presentación de la empresa y su problemática

Para comenzar a enfocarnos en el proyecto es fundamental, conocer el tipo de empresa en la que se encuentra la problemática y su estructura, entre otras cosas.

Es importante conocer el organigrama de la empresa ya que al centrarnos en el problema, se tendrá que trabajar y pedir colaboración de diferentes sectores:

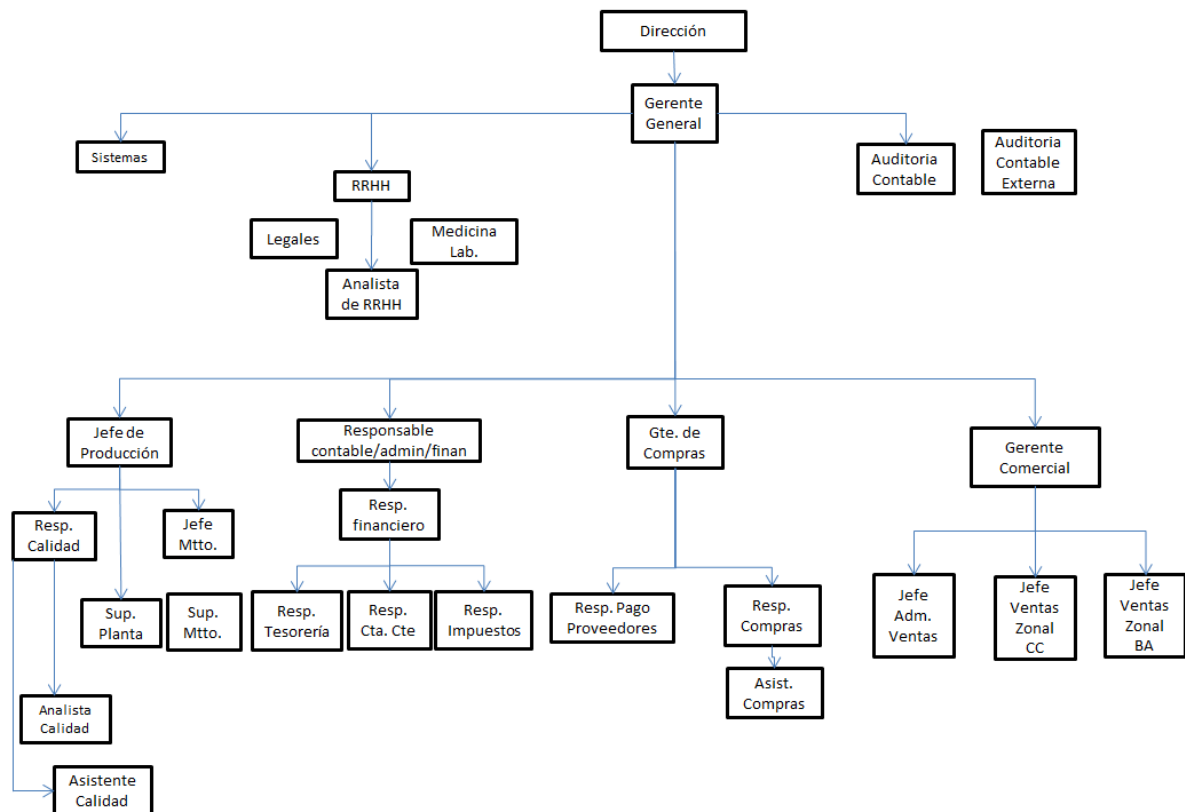


Figura 1.1. Organigrama de la empresa.

Presentación de productos

Orieta está dedicada fundamentalmente al procesado, elaboración y envasado de dulces.

En la tabla 1.1 describimos los productos fabricados en la empresa:

Tabla 1.1. Productos Orieta, mermeladas.









Producto	Sabores	Presentación	
Mermeladas selección	Durazno	Caja 12 frascos x 400 grs.	
	Damasco	Caja 12 frascos x 400 grs.	
	Ciruela	Caja 12 frascos x 400 grs.	
	Naranja	Caja 12 frascos x 400 grs.	
	Frutilla	Caja 12 frascos x 400 grs.	
	Frambuesa	Caja 12 frascos x 400 grs.	
Mermeladas Pro Light	Durazno	Caja 12 frascos x 350 grs.	
	Damasco	Caja 12 frascos x 350 grs.	
	Ciruela	Caja 12 frascos x 350 grs.	
	Naranja	Caja 12 frascos x 350 grs.	
	Frutilla	Caja 12 frascos x 350 grs.	
Mermeladas activa	Frutilla	Caja 12 frascos x 350 grs.	
	Durazno	Caja 12 frascos x 350 grs.	
Mermelada sin azucar agregada	Durazno	Caja 12 frascos x 340 grs.	
	Damasco	Caja 12 frascos x 340 grs.	
	Ciruela	Caja 12 frascos x 340 grs.	
	Frutilla	Caja 12 frascos x 340 grs.	
Mermelada tradicional	Durazno	Caja 12 potes x 500 grs.	
	Damasco	Caja 12 potes x 500 grs.	
	Ciruela	Caja 12 potes x 500 grs.	
	Higo	Caja 12 potes x 500 grs.	
	Zapallo	Caja 12 potes x 500 grs.	
	Naranja	Caja 12 potes x 500 grs.	
	Frutilla	Caja 12 potes x 500 grs.	
	Mix frutal	Caja 12 potes x 500 grs.	

Tabla 1.2. *Productos Orieta, dulces.*

Producto	Presentación	
Batata con chocolate	Cajón x 5 Kg.	
Membrillo	Cajón x 5 Kg.	
Batata con cerezas	Cajón x 5 Kg.	
Batata vainilla	Cajón x 5 Kg.	
Batata vainilla	Caja 12 bandejas x 425 grs.	
Batata con chocolate	Caja 12 bandejas x 425 grs.	
Membrillo	Caja 12 bandejas x 425 grs.	
Postre de dulce de leche con chocolate	Caja 12 bandejas x 425 grs.	
Batata sin azucar agregada	Caja 12 bandejas x 350 grs.	
Membrillo sin azucar agregada	Caja 12 bandejas x 350 grs.	
Batata vainilla	Lata x 5 Kgs.	
Batata con chocolate	Lata x 5 Kgs.	
Membrillo	Lata x 5 Kgs.	

Descripción de la problemática

Es clave entender bien la problemática presente en la empresa para poder enfocarnos en el proyecto y la búsqueda de la solución.

El problema que se presenta en esta empresa, se debe al enfriamiento de algunos productos. Tanto los dulces, como las mermeladas tienen un largo tiempo de enfriamiento hasta descender a temperatura adecuada para su correcta conformación.

Este largo tiempo de enfriamiento se debe a que estos productos son dosificados a una elevada temperatura (aproximadamente 80 °C) y además al salir de la línea de producción son envasados en cajas de cartón corrugado lo cual impide el contacto con el aire exterior, y luego estas cajas se acomodan en pallets lo cual disminuye aún más el contacto de los productos con el aire ambiente.

Debemos enfocarnos en los productos que requieren una mejora en su enfriamiento, por ello vale aclarar que los dulces en latas, cajones y potes de plástico no generan

inconvenientes en este aspecto. Es por esto que de toda la gama de productos, los afectados a este inconveniente son las mermeladas en frascos y los dulces en bandejas de plástico.

Actualmente las mermeladas y dulces ya envasados, luego de salir de la línea de producción se colocan en una caja de cartón corrugado, conformada por 12 unidades y luego esta caja pasa a ser cerrada y encintada. Es allí cuando se coloca esta caja en un pallets.

Las mermeladas y dulces generan no conformidades a la hora de ser evaluadas por calidad cuando su enfriamiento se realiza a una velocidad muy baja. Esto ocurre si al colocar las cajas en los pallets se lo hace de manera compactada impidiendo la circulación de aire, por ello es que se acomodan las cajas con la disposición que se puede ver en la figura 1.2:



Figura 1.2. Productos en enfriamiento.

El problema que encuentra el área de calidad en estos productos es un problema de “gelificación”. Para ello el dulce necesita enfriar en un tiempo que no sea muy largo, si este tiempo es muy largo, este proceso no se concluye y el dulce no toma la consistencia deseada. Cuando esto ocurre, se tiene una gran cantidad de productos rechazados en el área de calidad por no conformidades.

Esta problemática recién descrita no es de menor importancia ya que se tiene a los pallets con productos en enfriamiento aproximadamente dos días en planta antes de que puedan ser paletizados de forma compactada, aceptados por calidad y trasladados al depósito. Además el espacio que estos productos en enfriamiento requieren es muy grande, y por otro lado se tiene mayor mano de obra al tener que acomodar de diferentes formas las cajas en los pallets. Por lo tanto el proceso requiere más mano de obra, más tiempo y más espacio, y todo esto desemboca en mayor capital invertido para llevar a cabo la producción.



Figura 1.3. Zona de enfriamiento y productos en espera.

Por todo esto y por querer realizar una producción con un método “just in time” en el que se le de salida inmediata al producto, implementar un sistema de cero defecto donde se eviten los rechazos y se eliminen los “cuellos de botella” como lo es la estadía del producto dentro de la planta, es que buscamos una solución y se propone el proyecto planteado a la empresa.

CAPÍTULO 2: Estudio de tipos y métodos de enfriamiento

La refrigeración y conservación de los alimentos es uno de los eslabones de una larga cadena como lo es la de la producción de los alimentos, generalmente la refrigeración posibilita el suministro de los alimentos durante todo el año, acondicionando los parámetros para cumplir con normas de sanidad, como puede ser el caso de las carnes o pescados. En otros casos es parte del proceso productivo como en el caso de los helados o productos que necesitan del frío por definición, donde un correcto enfriamiento influye en los niveles de calidad obtenidos por el producto.

En el caso de la empresa analizada, no se tiene especificado un proceso de enfriamiento para su correcta conformación, pero si podemos decir que mejorar el proceso de enfriamiento contribuye al cuidado de la calidad del producto.

Existen dos grandes fases en el proceso de enfriamiento como lo son la fase de “llenado” y la fase de “estacionamiento”, dos etapas muy distintas en cuanto a potencia frigorífica requerida, dado que en la primer etapa se tiene que extraer gran cantidad de calorías para llevar el producto a la temperatura de enfriamiento, y en la segunda solo se deben garantizar las condiciones para mantener la temperatura de almacenamiento. Observando estas dos fases es que a lo largo del tiempo se lograron innovaciones tecnológicas con respecto a la refrigeración clásica (siendo esta definida como el almacenamiento del producto en las cámaras frigoríficas) en busca de mejorar la eficiencia frigorífica, disminuir el consumo de recursos, y maximizar la adaptabilidad a cada tipo de producto.

Existe una serie de innovaciones en la actualidad, las que sería correcto explicarlas y entenderlas para así poder identificar que tecnología es la que mejor se adapta para lograr el correcto enfriamiento de los productos de ORIETA.

Tecnología de enfriamiento

Sistema convencional

Cámara de enfriamiento: recinto acondicionado para almacenar productos en condiciones preestablecidas, generalmente destinado para contener productos en estado estacionario por largos períodos de tiempo. Generalmente son de grandes dimensiones comparándolos con los volúmenes de la unidad de producto.

Sistemas convencionales mejorados

1) Enfriamiento por chorros: se trata de un método desarrollado en estados unidos para aumentar la eficiencia de cámaras preexistentes. El techo es dotado con un cielorraso provisto de conos por donde salen chorros de aire frío. En el piso marcan los espacios donde deben situarse los pallets de modo que el chorro de aire se dirija a la zona dejada libre entre estos.

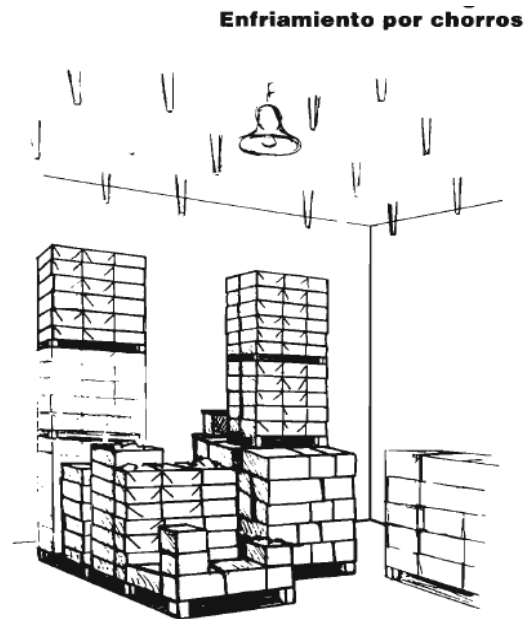
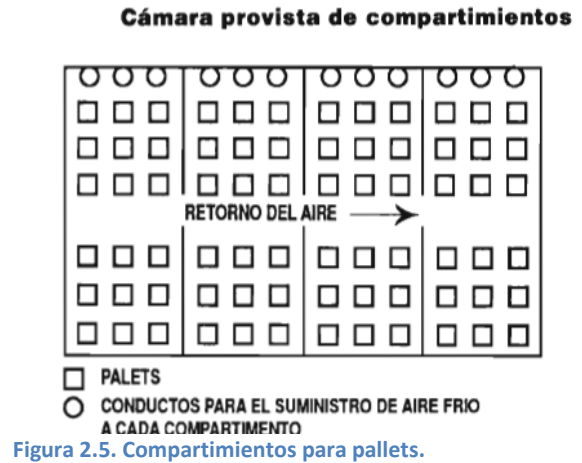


Figura 2.4. Enfriamiento por chorros.

2) Cámaras de pre-enfriamiento: la introducción de productos calientes en las cámaras frigoríficas exige de ellas equipos que cumplan los requisitos de la fase de llenado (en que se debe ser eliminada una gran cantidad de calor) y del régimen estático subsiguiente (en que solamente deberá mantenerse la temperatura). De ello resulta que los equipos frigoríficos de las cámaras capaces de realizar pre enfriamiento estén sobredimensionados para lo que se necesita en la etapa de almacenamiento y se subutilicen durante la mayor parte del tiempo. Por consiguiente se establecen dos cámaras diferentes, una con mayor potencia frigorífica, siendo la primera la que está destinada al pre enfriamiento.

3) Compartimentos de enfriamiento: la subdivisión de una cámara frigorífica en compartimentos dotados cada uno de ellos con canales de suministro de aire que pueden abrirse independientemente, permite su empleo para pre-enfriamiento y conservación obviando someter a los productos ya fríos a un exceso de refrigeración.



La industria ORIETA, produce alimentos que no necesitan de refrigeración en la etapa de estacionamiento, los mismos son almacenados en condiciones ambientales por lo tanto la etapa de estacionamiento no es un inconveniente. Por el lado de la etapa de llenado, como se describió en capítulos anteriores, existe la problemática planteada, por lo tanto, para proteger la calidad del producto sería correcto contemplar al enfriamiento con la jerarquía de un proceso más de la cadena de producción, y es aquí donde se necesita implementar tecnologías para mejorar la calidad del producto y la logística de producción.

Por lo descripto, no se dispone en la planta de una cámara frigorífica para productos terminados, lo que imposibilita la aplicación de cualquiera de los sistemas convencionalmente mejorados, cualquier inversión que se haga, debe estar totalmente orientada a satisfacer los requerimientos de la etapa de llenado.

Túneles de enfriamiento

Se trata de recintos de forma alargada en los que el aire fluye con velocidades entre 5 y 15 [m/s]. En función de la forma de introducir el producto se distinguen dos tipos: continuos y discontinuos (sistemas por lotes). Los primeros están provistos de sistemas de transporte que conducen el producto de un extremo al otro, al tiempo que son refrigerados mediante aire. Los túneles discontinuos están divididos en varios compartimentos donde se introducen los productos, en la separación entre cada celda, existe evaporadores que son atravesados por la corriente de aire que fluye en sentido longitudinal, de este modo el aire vuelve a enfriarse.

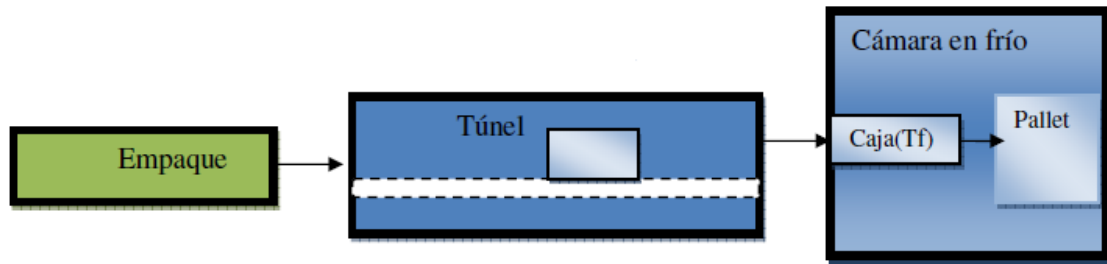


Figura 2.6. Sistema de túnel y cámara de frío.

A continuación podemos ver distintos tipos de enfriadores de túnel, continuos y discontinuos, con características muy dispares, las cuales son adaptables a distintos tipos de productos, con diferentes empaques y envases. Realizando una descripción de los mismos llegaremos a determinar el tipo de túnel que mejor se adapta para nuestro producto.

Sistemas discontinuos

Enfriador de túnel por aire forzado para pallets:

El enfriador de túnel es el diseño más común para forzar aire a través del producto ya empacado. Los pallets de producto se colocan a ambos lados de un ventilador de extracción, formando dos filas paralelas y dejando un canal abierto en el medio de las dos filas. Se pone una lona cubriendo el canal central y el ventilador ubicado en el extremo succiona el aire del canal generando una presión negativa que obliga al aire frío del cuarto a pasar a través del producto.

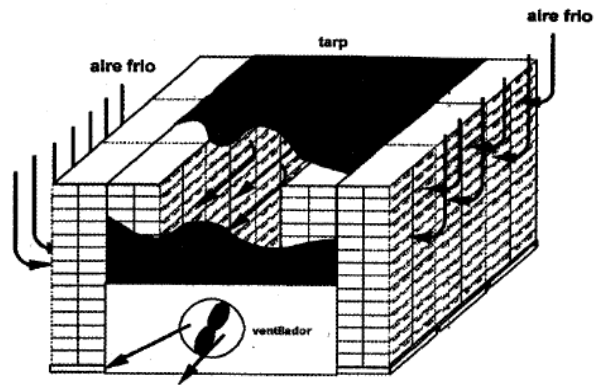


Figura 2.7. Enfriador para pallets.

Este tipo de túnel está particularmente diseñado para el pre enfriamiento de frutas, y productos agrícolas que requieren del frío para su conservación, antes de los procesos correspondientes (cocción).

Sistemas continuos

Sistema Tradicional

El producto es transportado por una cinta transportadora dentro de un túnel en el cual se hace circular aire, ya sea longitudinal o transversalmente. Se regula la temperatura y la velocidad del aire para así lograr los niveles de frío requerido.

Sistemas mediante aire húmedo:

Este sistema corresponde, desde el punto de vista del movimiento del aire, también a los sistemas de pre-enfriamiento por aire forzado, pero incorpora el uso de torres de enfriamiento que cumplen la doble función de enfriar y humidificar el aire. El aire proveniente del túnel pasa por la torre de enfriamiento donde entra en contacto con agua a una temperatura ligeramente superior a 0°C, luego de lo cual, ya frío a una temperatura de aproximadamente 1,5°C y cargado con una humedad relativa del 95% a 98%, retorna a la cámara. Se hacen dos distinciones:

- A. Aire forzado mediante expulsión
- B. Aire forzado mediante aspiración

Generalmente este sistema presenta ventajas apreciables para la refrigeración de productos agrícolas, en la que además se hidrata el producto debido a la humedad relativa.

Hidroenfriamiento:

Si bien en esta sección se estudian los tipos de túneles de pre-enfriamiento por aire forzado, es correcto contemplar también la tecnología del hidroenfriamiento, la misma también es un túnel por donde se transporta el producto de un sector a otro, pero aquí el medio de enfriamiento no es aire de circulación forzada si no la utilización de agua. Para un hidroenfriamiento eficaz es necesario que el agua de enfriamiento tenga determinadas características:

- Se mueva sobre la superficie del producto
- Entre en contacto con la máxima superficie del producto
- Se mantenga tan fría como sea posible

Los principales tipos de hidrogenfriadores son los de cortina de agua y los de inmersión del producto. En los primeros el agua se bombea por arriba del producto y llueve sobre el mismo a su paso, el producto se mueve lenta y continuamente a través de la cortina de agua. Los enfriadores por inmersión se usan principalmente para productos a granel, se usa una bandeja transportadora para mover el producto a través del baño de agua fría.

Selección del sistema de enfriamiento

Como el producto será enfriado inmediatamente terminado el envasado, vemos que aplicar un túnel discontinuo no es conveniente, ya que aquí el producto ya está empacado (en cajas de 12 unidades y apilados en el pallet), entendiendlo que sería más costoso lograr el enfriamiento. Por otro lado, utilizar un túnel que combine propiedades del hidrogenfriamiento no sería conveniente, ya que existen productos que cuentan con una etiqueta ecológica que no resistiría la inmersión en agua o la exposición a la cortina de agua. Finalmente, como tampoco es ventajosa la aplicación de la humidificación del aire, ya que su ventaja comparativa esta aplicada a productos agrícolas sin envase (frutas y verduras), entonces creemos que encontraremos la solución al implementar un túnel tradicional.

CAPÍTULO 3: Análisis de productos

Análisis de producción - calidad

Este capítulo tiene como objetivo acotar el estudio de dulces en bandejas y mermeladas en frascos que queremos enfriar como ya mencionamos en el capítulo 1, buscando el producto crítico teniendo en cuenta diferentes aspectos, estos son la cantidad producida como así también la información proveniente de calidad ya que esta área es la que por experiencia sabe que dulce y que mermelada son las que presentan mayores inconvenientes.

Según el departamento de calidad, el dulce de membrillo y la mermelada del tipo “pro diabet” son los dulces que presentan dificultad al enfriar y ello está reflejado en los documentos de no conformidad, y además se puede identificar que en la actualidad estos productos requieren una metodología diferente en el proceso de enfriamiento como se mencionó en el capítulo 1, al no poder ser paletizados definitivamente a la salida de la envasadora.

Es importante tener los volúmenes de producción de este subconjunto de productos, ya que desde el punto de vista de los capitales inmovilizados y de los recursos destinados para el enfriamiento, los productos que se hacen críticos son los de mayores niveles de producción. En el anexo 2 se puede ver el cálculo del porcentaje de producción en base a un mes representativo. El resumen de los porcentajes de producción de frascos y bandejas se representa en la figura 3.8.

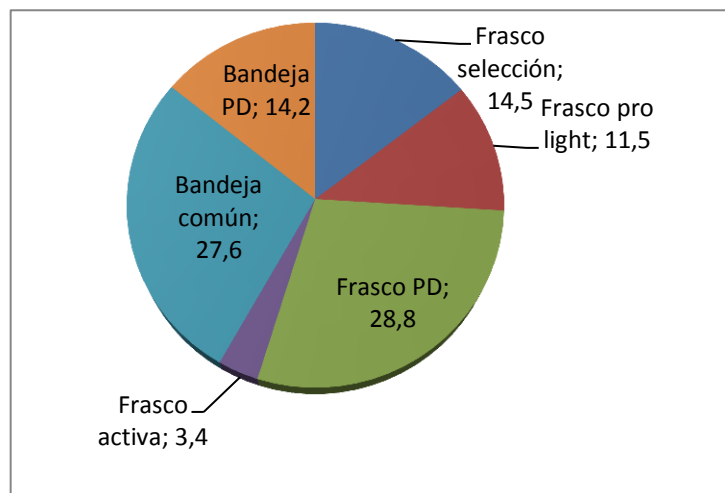


Figura 3.8 Gráfico de torta para porcentaje de producción.

Se puede apreciar en la figura 3.8 que el producto de mayor elaboración son las mermeladas pro diabet, que representan un 28.8% del subconjunto analizado. En cuanto a las bandejas, podemos ver que las bandejas comunes representan el 27.6% de la producción del subconjunto analizado. Destacando particularmente que el dulce de mayor producción es el dulce de membrillo que representa un 10% de la producción total. Juntos (mermeladas pro diabet y dulce de membrillo) representan alrededor de un 40% de la producción, lo cual marca que son productos que tienen gran porcentaje del capital comprometido y por ello es que merecen su debida atención.

Habiendo analizado los diferentes puntos de vista podemos concluir en que los dulces críticos resultan ser tanto por calidad como por volumen de producción las mermeladas pro diabet y los dulces de membrillo. Esto acota nuestro trabajo hacia estos dos productos y son ellos en los cuales debemos centrarnos para estudiar el proceso de enfriamiento.

Propiedades térmicas de productos críticos

A continuación determinaremos las propiedades térmicas de cada producto para conseguir el calor a extraer del dulce, así este pueda ser paletizado a la salida de la línea de manera definitiva y eliminar todos los costos innecesarios que se tiene para enfriar en la manera que se lo hace actualmente.

Para llevar a cabo este cálculo es fundamental tener los datos de los componentes que contienen cada producto y sus proporciones. Para esto fue necesario consultar con el área de producción y obtener todos los datos y recetas del dulce y de las mermeladas.

Investigando en distintos libros sobre el tema, conseguimos el calor específico de cada uno de los componentes de los distintos dulces, cuando no fue el caso se aproximó según fórmulas establecidas teniendo en cuenta los porcentajes de humedad de cada componente, especialmente cuando se trató las frutas:

$$C_{pi}[KJ] = (1 - m_{ai}) C_{pms} + m_{ai}C_{pa}$$

$$C_{pi} = \text{Calor específico del componente } i \text{ [KJ/Kg}^{\circ}\text{K]}$$

$$C_{pa} = \text{Calor específico del agua} = 4.19[\text{KJ/Kg}^{\circ}\text{K}]$$

$m_{ai} = \text{Porcentaje de agua del componente } i \text{ [\%]}$

$C_{pms} = \text{Calor específico para productos vegetales sin grasa} = 1.21[\text{KJ/Kg}^\circ\text{K}]$

Luego para obtener el “ C_p ” del producto, se realizó un promedio ponderado respecto a la proporción en masa del componente con la siguiente fórmula:

$$C_{pprod}[\text{KJ/Kg} * ^\circ\text{K}] = \sum_{i=1}^n C_{pi} * m_i$$

$C_{pprod} = \text{Calor específico del producto} [\text{KJ/Kg} * ^\circ\text{K}]$

$m_i = \text{Porcentaje en masa del componente } i \text{ [\%]}$

De la misma manera se procedió para el cálculo de la conductividad térmica, relevando valores de cada componente y haciendo el promedio ponderado teniendo en cuenta la proporción de cada uno de ellos.

Teniendo los calores específicos del dulce, los pesos de los mismos, y el salto térmico, pudimos calcular la cantidad de calor que debe liberar cada producto con la siguiente fórmula:

$$Q = \Delta T * m * Cp$$

A continuación podemos ver en la tabla 3.3 un resumen de los valores obtenidos:

Tabla 3.3. Calor específico de productos, calorías a eliminar, disposición a la salida de línea y conductividad térmica de los productos Orieta.

Dulce/Mermelada	Cp KJ/Kg °K	Tid °C	Tsd °C	ΔT °C	Masa Kg	Q KJ	Sale palet.?	k W/m*K
DBVainilla	2,01	80	50	30	0,425	25,66	Si	
DBChocolate	2,02	80	50	30	0,425	25,69	Si	
Dmembrillo	2,33	80	50	30	0,425	29,68	No	0,382
Dmprodiabet	3,39	80	50	30	0,350	35,59	Si	
Dbprodiabet	2,99	80	50	30	0,350	31,39	Si	
Postre DdLcC	2,61	80	50	30	0,425	33,28	Si	
Mermelada de durazno	2,12	80	50	30	0,425	27,02	Si	
Mermelada de damasco	2,91	80	50	30	0,400	34,88	Si	
Mermelada de ciruela	2,87	80	50	30	0,400	34,44	Si	
Mermelada de naranja	2,81	80	50	30	0,400	33,72	Si	
Mermelada de frutilla	2,91	80	50	30	0,400	34,94	Si	
Mermelada de durazno PL	3,23	80	50	30	0,350	33,91	Si	
Mermelada de damasco PL	3,23	80	50	30	0,350	33,91	Si	
Mermelada de ciruela PL	3,21	80	50	30	0,350	33,74	Si	
Mermelada de naranja PL	3,09	80	50	30	0,350	32,40	Si	
Mermelada de frutilla PL	3,24	80	50	30	0,350	34,01	Si	
Mermelada de durazno PD	2,93	80	50	30	0,340	29,89	No	0,470
Mermelada de damasco PD	2,93	80	50	30	0,340	29,89	No	0,470
Mermelada de ciruela PD	3,29	80	50	30	0,340	33,56	No	0,523
Mermelada de frutilla PD	3,35	80	50	30	0,340	34,13	No	0,521
Mermelada activa de durazno	3,22	80	50	30	0,350	33,79	Si	
Mermelada activa de frutilla	3,25	80	50	30	0,350	34,15	Si	
Mermelada pinar x durazno	2,78	80	50	30	0,380	31,68	Si	

Como se puede ver en la tabla 3.3 los calores a extraer tienen un máximo de alrededor de 35 KJ, por lo tanto diseñar un túnel con esta capacidad satisface a toda la gama de dulces y mermeladas sin quedar excesivamente sobredimensionado. Haciendo foco en los productos críticos elegiremos el dulce de membrillo y mermelada de frutilla pro diabet para dimensionar el túnel.

CAPÍTULO 4: Requisitos de diseño

Ensayos de tiempo de exposición

Para poder diseñar un sistema de enfriamiento es clave tener en cuenta el tiempo mínimo en el cual podemos enfriar el producto desde el punto de vista de la calidad. Como sabemos lo ideal sería enfriarlo en el tiempo mínimo posible, pero esto incrementa los costos en gran medida. Si los costos no fueran un problema lo que si va a impedir que el tiempo de enfriamiento sea muy corto son factores relacionados al comportamiento del producto frente al choque térmico al que se encontrará sometido, ya que como se mencionó en el capítulo 1, el dulce tiene una transición desde que es dosificado hasta que toma su consistencia gracias al aditivo gelificante y este proceso debe ser llevado a cabo sin grandes gradientes de temperatura para no modificar la calidad final del producto.

Al hacer los ensayos que vamos a describir a continuación lograremos saber que tan rápido podremos enfriar el dulce cumpliendo con los requisitos de calidad. Haremos distintos ensayos en los cuales se llegará a la temperatura final a diferentes velocidades de enfriamiento.

Comenzaremos enfriando el dulce con una baja velocidad y en los ensayos posteriores iremos aumentando progresivamente esta velocidad de enfriamiento. Luego de cada ensayo el producto será evaluado por los analistas de calidad para corroborar que cumple con los requisitos para poder salir a la venta. Cabe aclarar que en el anexo 3 se encuentran los detalles e imágenes de los ensayos realizados.

Ensayo 1: Enfriamiento al natural

El primer ensayo consta de un enfriamiento del producto a temperatura ambiente sin aire forzado, en reposo, y sin otros elementos calientes a su alrededor, simplemente dejándolo enfriar sobre una mesa. El ensayo termina cuando la temperatura llegue a 50°C.

Ensayo 2: Enfriamiento por aire forzado

El segundo ensayo consiste en el diseño de un túnel de enfriamiento a escala pero con el producto en reposo. El túnel será diseñado de manera sencilla con cajas de cartón corrugado, con una sección de 300 x 300 milímetros y el viento será forzado por medio de un ventilador turbo que se instalará en un extremo. El ensayo concluye cuando la medición obtenida sea de 50 °C.

En este ensayo deberíamos ver un aumento en la velocidad de enfriamiento debido a la convección forzada del aire sobre el producto.

Ensayo 3: Enfriamiento por inmersión en agua natural

Se someterá el dulce a un enfriamiento por inmersión en agua a temperatura ambiente (aproximadamente 20 °C), siendo este un método más eficiente para la transferencia de calor, estaremos viendo un aumento en la velocidad de enfriamiento, esta situación puede simular un túnel de enfriamiento con aire forzado con gran caudal y potencia frigorífica. Se va a llenar un balde de 20 litros con agua, con lo cual creemos que al ser una cantidad de agua mayor a 40 veces la cantidad de dulce podemos despreocuparnos del error por variación de la temperatura del agua. Al igual que en los otros ensayos, se saca el producto de la línea, se mide su temperatura y empieza a correr el cronómetro con el producto dentro del agua. El ensayo se termina cuando se logra llegar a 50°C.

Ensayo 4: Enfriamiento por inmersión en agua refrigerada

Para este ensayo se someterá el dulce a un enfriamiento por inmersión en agua a una temperatura de 10°C, al igual que en el ensayo anterior pero ahora enfriaremos el agua con hielo hasta obtener la temperatura mencionada. El ensayo finaliza al obtener una medición de 50 °C en el producto.

Resultados de los ensayos

A continuación adjuntamos la tabla 4.4 en la que se pueden apreciar todos los resultados de los ensayos:

Tabla 4.4. Resultados de los ensayos realizados.

	Bandeja membrillo	Frasco PD
<u>Ensayo 1:</u>		
Temperatura ambiente (°C):	24	26
Temperatura inicial dulce (°C):	87	73,4
Tiempo total enfriamiento (h:m:s)	2:12:00	1:47:00
<u>Ensayo 2:</u>		
Temperatura ambiente (°C):	23	20
Temperatura inicial dulce (°C):	75	77
Tiempo total enfriamiento (h:m:s)	0:55:00	0:46:00
<u>Ensayo 3:</u>		
Temperatura agua (°C):	24	18
Temperatura inicial dulce (°C):	84	74
Tiempo total enfriamiento (h:m:s)	0:33:00	0:33:00
<u>Ensayo 4:</u>		
Temperatura agua (°C):	10	10
Temperatura inicial dulce (°C):	82	78
Tiempo total enfriamiento (h:m:s)	0:20:00	0:20:00

Los resultados evaluados por calidad de todos los ensayos se resumen en la tabla 4.5:

Tabla 4.5. Resultados de los análisis de calidad sobre productos ensayados.

Ensayo	Bandejas			Frascos		
	Grados brix	PH	Textura	Grados brix	PH	Textura
1	72	3,32	OK	31	3,36	OK
2	72	3,32	OK	31	3,36	OK
3	72	3,34	OK	28	3,52	OK
4	72,5	3,4	OK	29	3,5	OK

Conclusión:

Podemos ver que luego de haber enfriado los distintos productos a diferentes velocidades de enfriamiento, ninguno de ellos tuvo resultados deficientes en cuanto a la calidad del producto.

Lo que se evaluó, fueron los grados brix de cada producto (sirve para determinar el cociente de sacarosa o azúcar en un producto), el PH (indica el grado de acidez del producto), y la textura del mismo, característica a la cual le debíamos prestar mucha atención ya que por lo dicho en el capítulo 1, la gelificación del producto era lo que se interrumpía al tener un enfriamiento muy lento y generaba no conformidades en el área de calidad.

Como pudimos ver en la tabla 4.5, enfriar el dulce o la mermelada en un tiempo de 20 minutos no produce alteración en la consistencia del producto por lo que podemos ya definir este tiempo como el tiempo de enfriamiento mínimo para nuestro diseño.

Temperatura de salida del túnel

Al ser la problemática presente la de la gelificación del dulce, se realizó una investigación sobre los componentes de los dulces y mermeladas que son responsables de esta característica.

Los aditivos que se utilizan en la empresa Orieta para garantizar esta propiedad del dulce son aditivos gelificantes como el Agar y la Pectina. Particularmente, los productos que son nombrados como críticos (Dulce de membrillo y mermeladas pro diabet) son gelificados por medio de la adición de pectina lenta y pectina “LA410” respectivamente.

Según lo estudiado sobre los resultados de los análisis por parte del sector calidad, que nos proporcionan datos como el PH y los grados Brix, podemos entender si será posible obtener una correcta gelificación.

Para el caso del membrillo se tienen las condiciones ideales para su correcta gelificación (ver figura 4.9), dado que según el informe de calidad: °Brix: 72 y PH: 3,35 (ver Tabla 4.5)

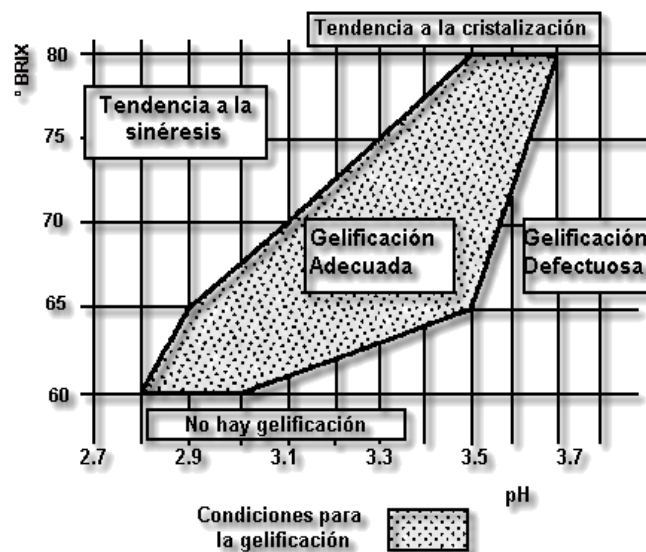


Figura 4.9. Zona de gelificación adecuada.

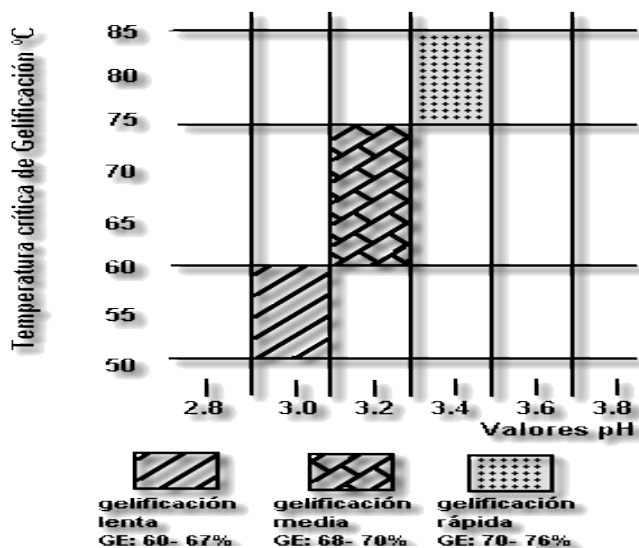


Figura 4.10. Rangos de funcionamiento para distintas pectinas.

La pectina lenta utilizada en la producción del membrillo es de alto metóxilo con un grado de esterificación de 60-67, tiene su rango de temperatura de gelificación entre los 50 y 60.

La pectina utilizada para las mermeladas pro diabet es la Pectina “LA410”, es una pectina de bajo metóxilo, utilizada por sus beneficios de gelificación en medios de grados brix bajos. La misma gelifica gracias a la presencia de iones de calcio, y la temperatura crítica de gelificación aumenta con el aumento de solución en calcio. Una vez que el producto cruza por la temperatura crítica establecida, la gelificación se produce instantáneamente, constituyéndose en un producto termorreversible.

Por lo dicho hasta el momento la temperatura de salida del túnel debería ser de 50°C para garantizar la temperatura de finalización de gelificación en el membrillo, respetando el tiempo establecido en los ensayos de tiempo mínimo de exposición.

CAPÍTULO 5: Elección del túnel y método de enfriamiento

La elección del tipo de túnel a implementar tendrá en cuenta tanto factores económicos, facilidad de uso y mantenimiento, como así también rendimiento, etc.

A continuación veremos la implementación del método del valor técnico ponderado, estrategia utilizada para llegar al modelo más conveniente para este proyecto, comparando modelos, por medio de criterios importantes tanto para el cliente como para el diseñador, y así llegar a una conclusión lo menos subjetiva posible.

Cada criterio tiene asociado un peso específico del 1 al 10 ya que cada uno de ellos tiene distinta importancia en el proceso de elección. Por ejemplo se entiende que se le da una mayor importancia a cumplir con la satisfacción del consumo más que a cuidar el estable funcionamiento del sistema a lo largo de todo el año. Si bien está en juego la subjetividad, experiencia y conocimiento del ejecutor del método, cabe aclarar que esta estrategia limita la toma de decisiones y la encamina a una respuesta con cierta objetividad. Luego de asignar un peso a cada criterio, se plantean 5 columnas con los distintos modelos a evaluar (A, B, C, D, E) descriptos a continuación. A su vez cada una de estas columnas se encuentra dividida en dos columnas. En la primera de ellas se asigna una puntuación (1, 3 o 5) que califica la solución respecto al criterio. En la otra columna se coloca el resultado de multiplicar esta puntuación por el peso asignado al criterio referido. La solución elegida será aquella en la que el Valor Técnico Ponderado (puntuación total dividida por la puntuación máxima posible) sea la más alta.

Lista de criterios utilizados:

- Inversión inicial: considerado desde el punto de vista del cliente, claramente se busca obtener los mejores resultados posibles con los menores capitales invertidos.
- Consumo eléctrico: es el costo de utilización del equipo, ocasionalmente se tiene en cuenta otros costos de utilización.
- Facilidad de traslado: este es un ítem muy particular de la situación de la empresa, sería óptimo que el equipo pueda ser utilizado sin inconvenientes en cualquiera de las 4 líneas de envasado, para estos se requeriría el traslado en aproximadamente unos 5m.
- Aumento de capacidad frigorífica: para el diseñador es importante tener un margen, para ampliar la capacidad de trabajo.
- Efectividad: determinación del grado en que estimamos que se puede dar cumplimiento a los objetivos con el modelo implementado.
- Constancia de funcionamiento: se refiere a la capacidad del equipo a entregar idénticas frigorías frente a la variación de las condiciones ambientales.
- Costo de mantenimiento: gastos de mantenimiento del equipo para garantizar el correcto funcionamiento.

Definición de los modelos a evaluar:

En los siguientes ítems encontraremos todas las posibilidades que se consideraron como realizadoras del objetivo general del proyecto:

- A) Túnel acondicionado: túnel de aire forzado, con aire a temperaturas inferiores a la ambiental, con recirculación de aire.
- B) Túnel ambiental: túnel de aire forzado, con temperaturas ambientales de trabajo, sin recirculación de aire.
- C) Túnel longitudinal a contracorriente.
- D) Túnel longitudinal de corriente paralela.
- E) Túnel de corriente transversal.

Tabla 5.6. Método del valor técnico ponderado.

			Tipo de túnel									
	Criterio	Peso(1-10)	A		B		C		D		E	
1	Inversión Inicial	7	1	7	5	35	5	35	5	35	1	7
2	consumo	10	1	10	5	50	5	50	5	50	3	30
3	Facilidad de traslado	8	3	24	1	8	3	24	3	24	3	24
4	Aumento de potencia	5	3	15	5	25	3	15	3	15	3	15
5	efectividad	10	5	50	3	50	5	50	3	30	3	30
6	Constancia de funcionamiento	6	5	30	3	18	3	18	3	18	3	18
7	Costo de mantenimiento	8	3	24	5	40	5	40	5	40	1	8
Total		270	160		226		232		212		132	
Indice		100%	59,3%		83,7%		85,9%		78,5%		48.8%	

En la fila del total se colocan las sumatorias de todos los valores obtenidos al multiplicar el peso por la puntuación asignada. Para el caso del peso, el total es la suma de todos estos pesos multiplicadas por 5, que es la mejor puntuación que se puede asignar.

En la fila del índice se obtiene el “Valor Técnico Ponderado” al dividir el total obtenido para cada modelo de túnel con el valor de 270.

Vale citar el ejemplo para uno de los ítems para dejar más en claro la utilización del método. Para el túnel “B” la inversión inicial no es muy elevada y eso es positivo por lo que le asignamos el número 5. Lo mismo hacemos para el criterio del consumo. Como la facilidad de traslado de este túnel es complicada para este criterio asignamos el número 1, ya que es algo negativo que tiene esta opción. De esta forma se sigue asignando valores a los diferentes criterios para este túnel y luego se multiplica el peso asignado al criterio por la puntuación asignada y al final se hace la sumatoria.

Gracias a este análisis en donde tenemos como respuesta que los mayores valores “VTP” son la opción “B” y “C”, es que se decide encarar la solución del problema mediante un túnel ambiental sin recirculación de aire, de flujo longitudinal a contracorriente.

Desde el punto de vista económico, este modelo representa menores costos de inversión inicial y menor costo de utilización representado en el bajo consumo del equipamiento, particularmente por no contar con un equipo de refrigeración de aire, además debido a la menor pérdida de carga por no recircular el aire, las dimensiones del forzador de aire son menores. Otro aspecto a tener en cuenta es que frente a la posibilidad de incrementar su capacidad de tratamiento de productos, esta configuración podría soportar sin inconvenientes una re ingeniería, aumentando su capacidad frigorífica al instalarle un equipo frigorífico.

Como desventajas podemos señalar que al ser un equipo que trabaja con aire a condiciones ambientales, está sujeto a cambios estacionarios respecto de la temperatura y humedad del aire, factor que será contra restado con la manipulación del caudal de enfriamiento.

Una situación a la que se le prestará gran cuidado es al espacio físico disponible para su instalación, ya que al ser este equipo en general de mayor longitud que uno refrigerado, se deberá prestar especial atención a la disposición en planta de la empresa. Al estar el túnel sujeto a cambios de posición frecuentes, esto dificulta aún más la resolución de la problemática. Uno de los objetivos particulares del proyecto es optimizar el espacio utilizado y mejorar el layout de los productos en almacén, por lo tanto será un desafío extra para los diseñadores el hecho de transformar una desventaja del túnel en una ventaja para la resolución de la problemática presente, utilizando la posible extensa longitud de transporte del túnel como un medio para mejorar la distribución de productos y así facilitar el trabajo de los operarios involucrados.

Capítulo 6: Modelización teórico-analítica

Bandejas

Se buscará resolver el caso de las bandejas para llegar a obtener la configuración final para enfriar estos productos, luego se comprobará si este túnel puede enfriar las mermeladas en frascos.

Teorías involucradas:

- El análisis de transferencia de calor es modelado implementando la teoría de intercambiadores de calor. Se utiliza el método de la diferencia de temperatura media logarítmica.

Parámetros de diseño:

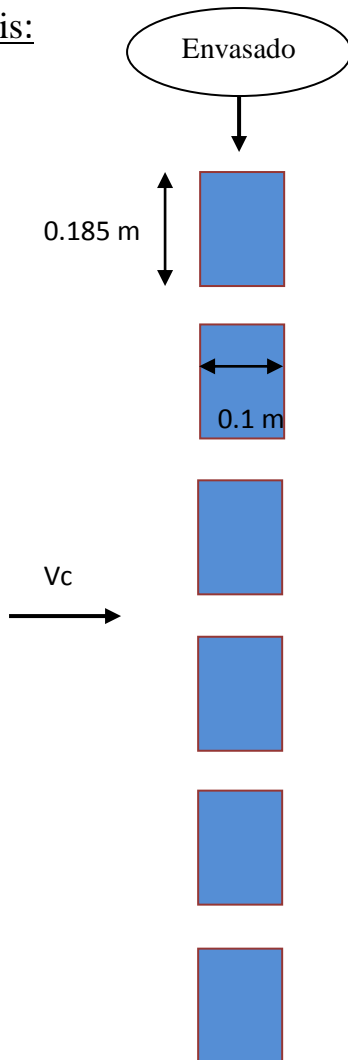
- Cadencia de producción: 50 unidades por minuto.
- Dimensiones de bandeja: especificadas en anexo 4.
- Temperatura de entrada al túnel : 80°C
- Temperatura de salida de dulce: 50°C (especificada en capítulo 4)
- Tiempo de exposición mínimo: 1200 segundos, obtenido a partir de experimentación (capítulo 4).
- Calor específico a presión constante (C_p) del dulce es el del dulce de membrillo = 2,3282[kJ/Kg°K]. La conductividad térmica $k = 0,38233$ [W/m*°K] (capítulo 4).

Criterios de diseño:

- Adoptamos entrada de aire ambiental a una temperatura estimada de 20°, temperatura media anual.
- Túnel sin recirculación de aire.

- El flujo será a contracorriente, para disminuir el choque térmico entre el producto a enfriar y el medio de enfriamiento.
- Velocidad del aire de enfriamiento: entre 4 y 15 m/s.
- Utilización del mínimo caudal de aire de enfriamiento.

Análisis:



Los productos entran en el túnel según lo indica la velocidad “Vc”, de tal forma que se generan 6 columnas de dulce, que para el análisis será tratado como 6 tubos que pasan por un intercambiador, o 6 intercambiadores en paralelo independientes ya que asumimos que la distancia entre las columnas permite suponer que no existe influencia entre las mismas. Esta separación es con la que viene el producto del proceso anterior, alrededor de unos 0.07 metros. La velocidad de la cinta se determina a continuación

50 productos → 60s
 6 productos → **7,2s**

$$V_c = \frac{0,1m}{7,2s} = 0.0139 \frac{m}{s}$$

Atendiendo al tiempo de exposición mínimo, como la velocidad es fija, la longitud mínima del túnel que nos garantiza el cumplimiento de los requisitos de calidad es de: $L_m = 0.0139 \text{ m/seg} * 1320 \text{ seg.} = 18.35m$

Figura 6.11. Disposición a la salida de línea.

Sección transversal de túnel propuesta:

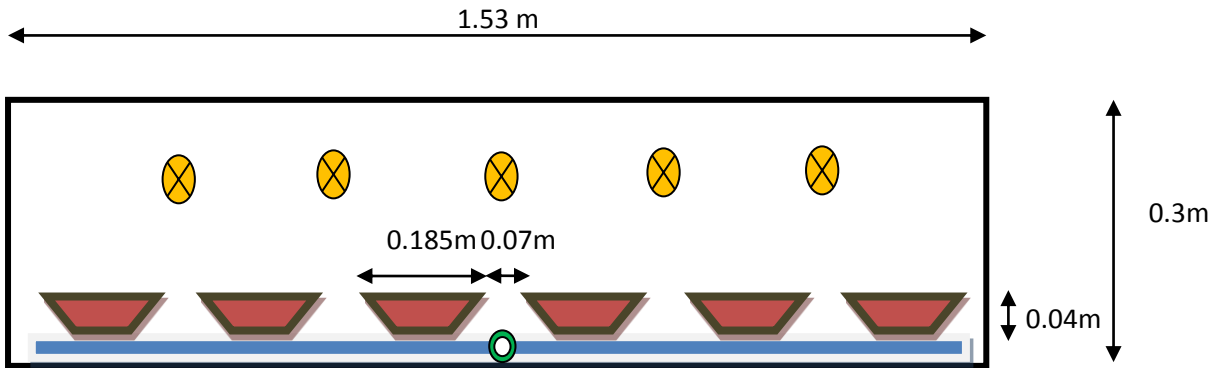


Figura 6.12. Sección transversal para 6 columnas.

La geometría propuesta se adopta teniendo en cuenta toda la gama de productos de la empresa que se puede llegar a enfriar con este túnel. Se puede ver el flujo a contra corriente. La cinta vuelve por el exterior del recinto. El problema será estudiado modularmente gracias a la hipótesis de que una columna no influye en las adyacentes, entonces tenemos en realidad 6 túneles en paralelo con las mismas características.

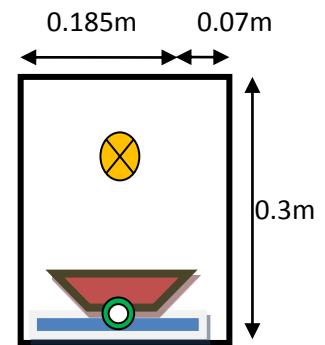


Figura 6.13. Módulo túnel.

El diámetro hidráulico del túnel se calcula a continuación:

$$D_{ht} = \frac{2 * 0,255[m] * 0,3[m]}{0,255[m] + 0,3[m]} = 0,2757 [m]$$

Características de la bandeja

A partir del anexo 4, donde se plantea una aproximación geométrica de la bandeja de dulce, obtenemos propiedades geométricas necesarias para completar el análisis

$$A_s[m^2] = 0,28 * L$$

$$Vol[m^3] = 3,4637 \times 10^{-4} ; \quad \rho = 1226,9 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$D_{hd} = \frac{4 * At}{p} = 0,05085 [m]$$

Esquema de intercambiador de calor:

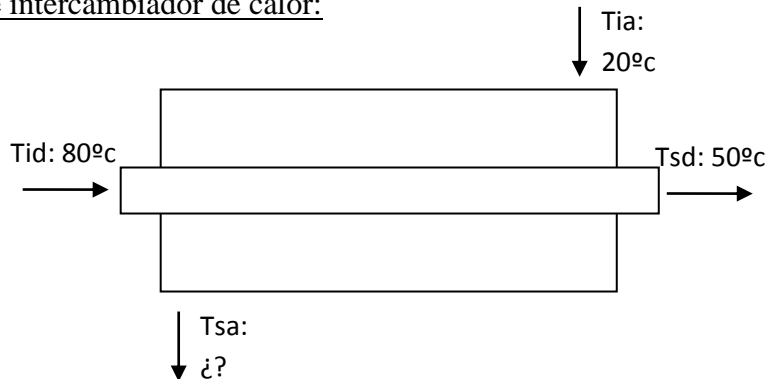


Figura 6.14. Esquema intercambiador de calor.

$$M_d: 0,425 \text{ [kg]} / 7,2 \text{ [s]} = 0,059 \text{ [kg/s]}$$

Atendiendo al criterio de la velocidad del aire de enfriamiento, proponemos una velocidad de 7 [m/s], que posteriormente puede ser ajustada según el caudal de los ventiladores en el mercado. Por balance de calores la temperatura de salida de aire queda entonces:

$$T_{sa} = 26,35 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

Teniendo este dato calculamos:

$$\Delta T_{ml} = 40,68$$

Paso siguiente podremos aplicar la teoría de intercambiadores de calor utilizando el método de la diferencia media logarítmica, teniendo en cuenta las tres resistencias que intervienen en el cálculo del coeficiente de transferencia de calor total (resistencia a la conducción del agua, del envase y del dulce):

$$\frac{1}{U * A_s} = R_{ca} + R_{ce} + R_{cd}$$

Siendo este finalmente

$$U = 8,89 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Determinación de L:

$$Q = U * \Delta T_{ml} * A_s$$

$$L = 40.69 [m]$$

Frascos

A continuación se hará un análisis sobre los frascos de mermeladas, con el objetivo de demostrar que el túnel diseñado para las bandejas de dulce, puede además enfriar las mermeladas.

Los criterios y parámetros son idénticos, salvo en casos especiales que se mencionan en el desarrollo.

Los datos de la geometría del frasco son tomados del anexo 4.

$$A_s = 0,3126 * L$$

$$L_d = 0,0526 [m]$$

$$\rho = 866,29 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$D_h = 0,0884 [m]$$

Al adoptarse la geometría final del túnel dimensionado para la bandejas, distribuimos los frascos de mermelada en el túnel con tal de lograr homogeneidad de la distribución de aire, y más importante aún, lograr que las columnas de mermeladas no tengan influencia en las adyacentes.

Por razones constructivas, la velocidad de la cinta debe ser modificada lo menos posible, dividiendo el espacio que debe hacer la cinta para la entrada de un nuevo frasco por la velocidad de la cinta, nos da un ciclo de 7,2 segundos. Lo que da una velocidad de cinta para las mermeladas de $V_c=0,0093$ m/seg.

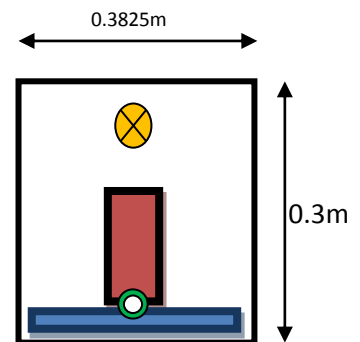


Figura 7.15. Sección túnel para frascos.

Por balance de calores como en el caso anterior conseguimos la temperatura de salida que nos permite aplicar el método descripto:

$$T_{sa} = 27,3 [^{\circ}C]$$

Teniendo este dato calculamos:

$$\Delta T_{ml} = 40,3$$

Al igual que el caso anterior calculamos el coeficiente de transferencia total “U”, teniendo en cuenta la resistencia del aire, del envase y de la mermelada:

$$U = 7,7815 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Determinación de L:

$$Q = U * \Delta T_{ml} * A_s$$

Finalmente la longitud final de túnel para frascos con idénticas características geométricas es de:

$$L = 48.36 [m] > L_{bandeja}$$

Entonces la longitud final de túnel debe ser de 49 metros, garantizando el correcto enfriamiento tanto de dulces como de mermeladas.

El criterio con el que se eligió la cantidad de columnas que conforman el túnel, intenta minimizar la longitud final de túnel. Este criterio necesita de agrandar la sección transversal, lo que va en contra corriente con el criterio de menor utilización de caudal de aire de enfriamiento, pero finalmente como se puede ver demostrado en anexo 5, la sección propuesta es la que representa una mejor relación de compromiso.

Análisis en condiciones extremas

El criterio de la temperatura media anual está respaldado con datos certeros extraídos del servicio meteorológico nacional, donde se expresa que la temperatura media anual en la ciudad de Córdoba es de 20°C. Esto nos muestra que durante la mayor parte del año la temperatura promedio se encontrará cercana a este valor, pero en determinadas estaciones del año encontraremos unas condiciones críticas que harían perder la efectividad del túnel, como es el caso de los días de verano en el que la temperatura promedio del día puede llegar a ser cercana a los 30°C.

Contemplado este inconveniente, es preciso evaluar cómo sería el desempeño del túnel en estas condiciones extremas, donde evidentemente la longitud final establecida no será suficiente para el enfriamiento del producto hasta los 50°C. Para garantizar la eficiencia del túnel de enfriamiento, aún en condiciones extremas, dejaremos como variable de ajuste el caudal de aire de enfriamiento, y como la sección ya está establecida, la variable en realidad es la velocidad, recordando que las velocidades típicas se encuentran en un rango de entre 5 y 15 m/seg.

Al realizarse los cálculos de la misma manera que se vienen haciendo con planilla de cálculo, pero intercambiando la velocidad hacia la máxima posible, mitigando el incremento de temperatura del aire de entrada hasta un límite de 30°C, nos encontramos con el resultado de que el túnel necesitaría 53,86 metros para garantizar los 50°C del dulce a la salida del túnel. Finalmente el túnel pasa a ser de 54 m de longitud, para poder garantizar la eficiencia del túnel en condiciones extremas de aire a 30°C, en donde trabaja a una velocidad límite de 14 m/s, lo que representa un caudal total de 6.43 m³/seg. Posteriormente se ajusta la velocidad del aire para condiciones normales.

Características finales del túnel

- Caudal de aire:

En régimen normal (temperatura de entrada de aire 20°C): 2.3 m³/seg.

En régimen crítico (temperatura de entrada de aire 30°C): 6.43 m³/seg.

- Velocidad de cinta:

Para enfriamiento de bandejas: 0.0139 m/seg.

Para enfriamiento de frascos: 0.0093 m/seg.

- Geometría:

Sección transversal: Ancho: 1530mm x alto: 300mm x Largo: 54 metros

Vale decir que para seguir adelante con el proyecto necesitamos realizar un pre diseño del túnel que no necesariamente tiene que ser el diseño final, y este se puede ver en la figura 6.16 y 6.17:

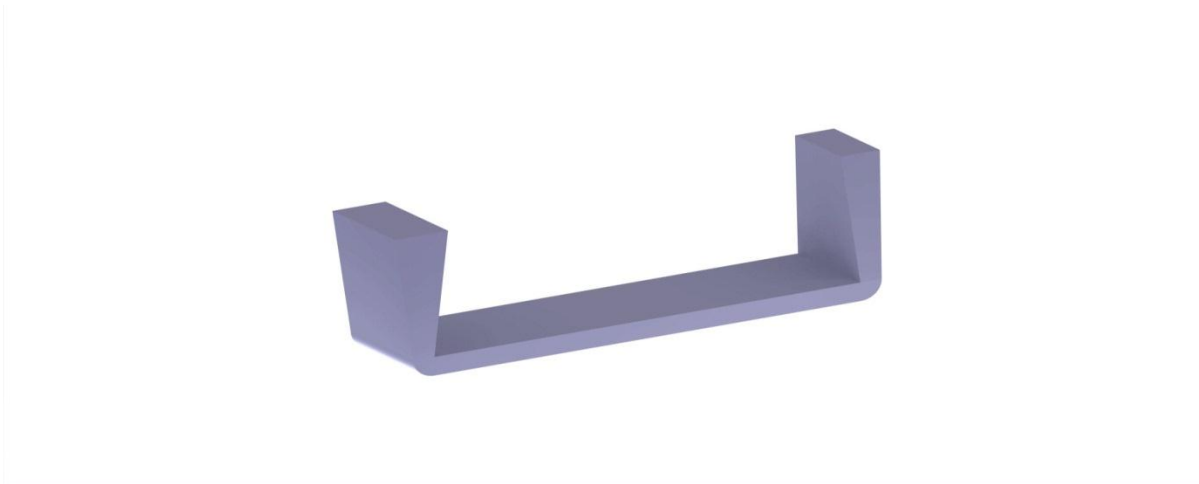


Figura 6.16. Esquema 3D pre-diseño túnel de enfriamiento.

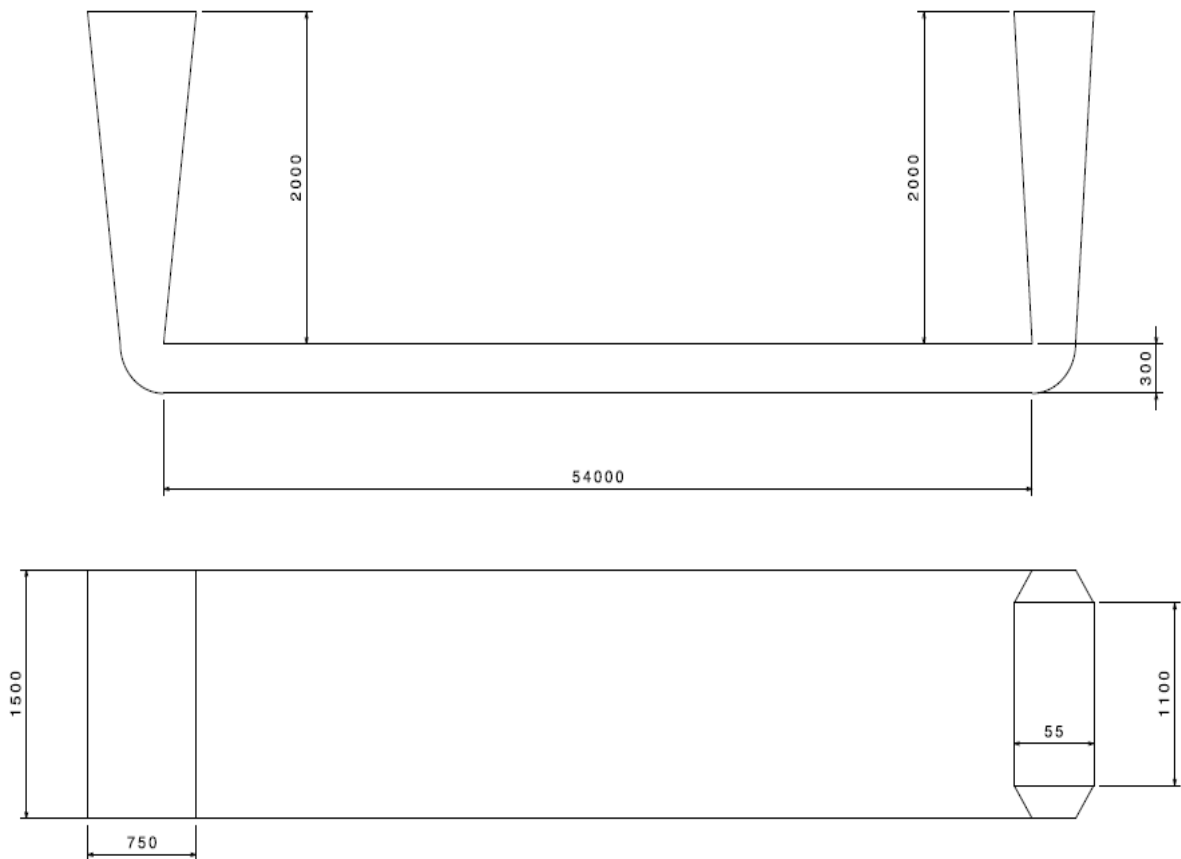


Figura 6.17. Esquema pre-diseño túnel de enfriamiento.

Capítulo 7: Comparación por simulación en COMSOL

Para poder tener una perspectiva más global y no quedarnos solo con los resultados obtenidos luego del cálculo analítico, vamos a usar un software que nos permita simular el proceso de enfriamiento introduciendo en el mismo las condiciones ya planteadas en el capítulo 6 y así poder comparar dichos resultados con los obtenidos luego de la simulación.

El software a utilizar para este caso se llama COMSOL, es una herramienta de modelado y análisis para prototipos virtuales de fenómenos físicos.

Dentro de todos los módulos que este software contiene como electromagnetismo, análisis estructural, entre otros se encuentra el de transferencia de calor en tuberías, el cual nos permitirá introducir en el programa los datos que fueron analizados en el capítulo 6 y obtener un valor de temperatura final para cierta longitud de túnel.

A comparación de los cálculos analíticos realizados en el capítulo 6 donde obtuvimos como resultado el largo del túnel luego de calcular e introducir los parámetros necesarios, en este caso se realizará un proceso inverso, es decir se asignará la longitud final, y obtendremos con una escala de color la variación de la temperatura a lo largo del túnel pudiendo así ver con el largo asignado que temperatura de salida tendremos.

Como planteamos en el capítulo 6 la modelización del túnel de enfriamiento es realizada mediante la teoría de intercambiadores de calor y es tratado como un estudio estacionario debido a que estudiamos el caso cuando ya se encuentra en régimen, de la misma forma se realizará la simulación.

Los detalles paso a paso de la simulación se encuentran en el anexo 6.

A continuación vemos la figura 7.18 de los resultados obtenidos luego de la simulación:

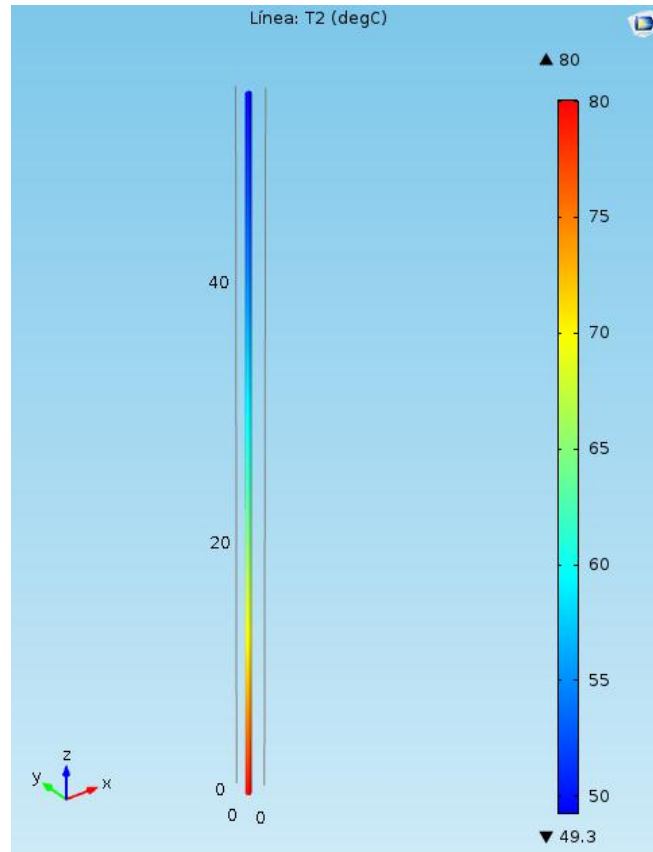


Figura 7.18. Resultados.

Se puede observar en el gráfico que para un túnel de 54 metros se obtiene a la salida una temperatura de 49.3 °C.

Conclusión

Se puede concluir que los resultados obtenidos en la simulación no difieren en gran medida con los cálculos analíticos, ya que el resultado numérico es de un 2% menor que en el caso del cálculo analítico, porcentaje que está dentro de los límites aceptables en los análisis de transferencia de calor.

Capítulo 8: Selección de componentes

El objetivo de este capítulo es seleccionar los componentes de mayor relevancia del túnel de enfriamiento, lo que nos permitirá evaluar el orden de magnitud de los costos de materiales, estando esto asociado a la inversión inicial que la empresa deberá realizar.

Este capítulo no deja determinada la totalidad de materiales para la construcción del túnel, ya que la realización del mismo la consideramos otro proyecto, recordando que nuestro objetivo es encontrar la forma de mejorar los tiempos de enfriamiento, evaluando si ésta solución es competitiva frente a los costos actuales de la empresa.

Componentes principales:

- Ventiladores impulsores del aire de enfriamiento.
- Variador de frecuencia.
- Cinta transportadora.
- Motorreductor impulsor de cinta transportadora.
- Chapa para recinto.
- Rodillos .

Los demás componentes no son considerados como relevantes, y por lo tanto no son nombrados en esta lista. Tienen costos despreciables al compararlos con los componentes principales.

Ventilador Impulsor

Atendiendo a criterios como características del túnel, niveles de ruido en el ambiente, facilidades de mantenimiento y pérdida de carga del conducto es que consideramos correcta la selección de ventiladores axiales para establecer el flujo de aire en el túnel.

Para proceder, necesitamos datos como el caudal y la pérdida de carga en el túnel. El caudal total del túnel en condiciones críticas es finalmente $Q: 6.885 \text{ m}^3/\text{seg}$, como citamos al final del capítulo 6 y además la pérdida de carga se desarrolla en el anexo 7 para las opciones de 1 ventilador, dos y tres ventiladores en paralelo. Al ingresar a la curva del ventilador se selecciona el ventilador que cumple con el caudal y ΔP requeridos.

Dentro de los gastos que se tienen a la hora de comprar el ventilador y a la hora del uso del mismo, conviene inclinarnos por buscar el mínimo gasto en consumo, ya que consideramos que el costo de utilización terminará siendo más relevante que el gasto inicial.

A continuación en la tabla 8.7 podemos ver las opciones factibles:

Tabla 8.7. Opciones para la instalación de ventiladores según caudal y pérdida de carga.

Opción	Modelo	Potencia unitaria (w)	Pérdida admitida (Pa)	Cantidad	Potencia total (w)
1	K-550/2	3700	650	2	7400
2	K-550/2	3400	700	3	10200
3	K-850/4	5200	400	1	5200

Como podemos ver en la tabla 8.7 se presentan 3 opciones, con 1, 2 y 3 ventiladores. Vemos que los ventiladores con menor diámetro son de 550 milímetros y de estas opciones, el menor consumo se da para dos ventiladores siendo de 7400 watts, y admitiendo una pérdida casi del doble de la pérdida calculada para este caso. La opción 3 da un consumo menor pero la pérdida admitida es muy cercana a la pérdida calculada para el caso en el anexo 7. Por todo lo dicho es que la opción más conveniente es la número 1, colocando dos ventiladores de este modelo.

Podemos ver en la figura 8.19 la curva del ventilador seleccionado:

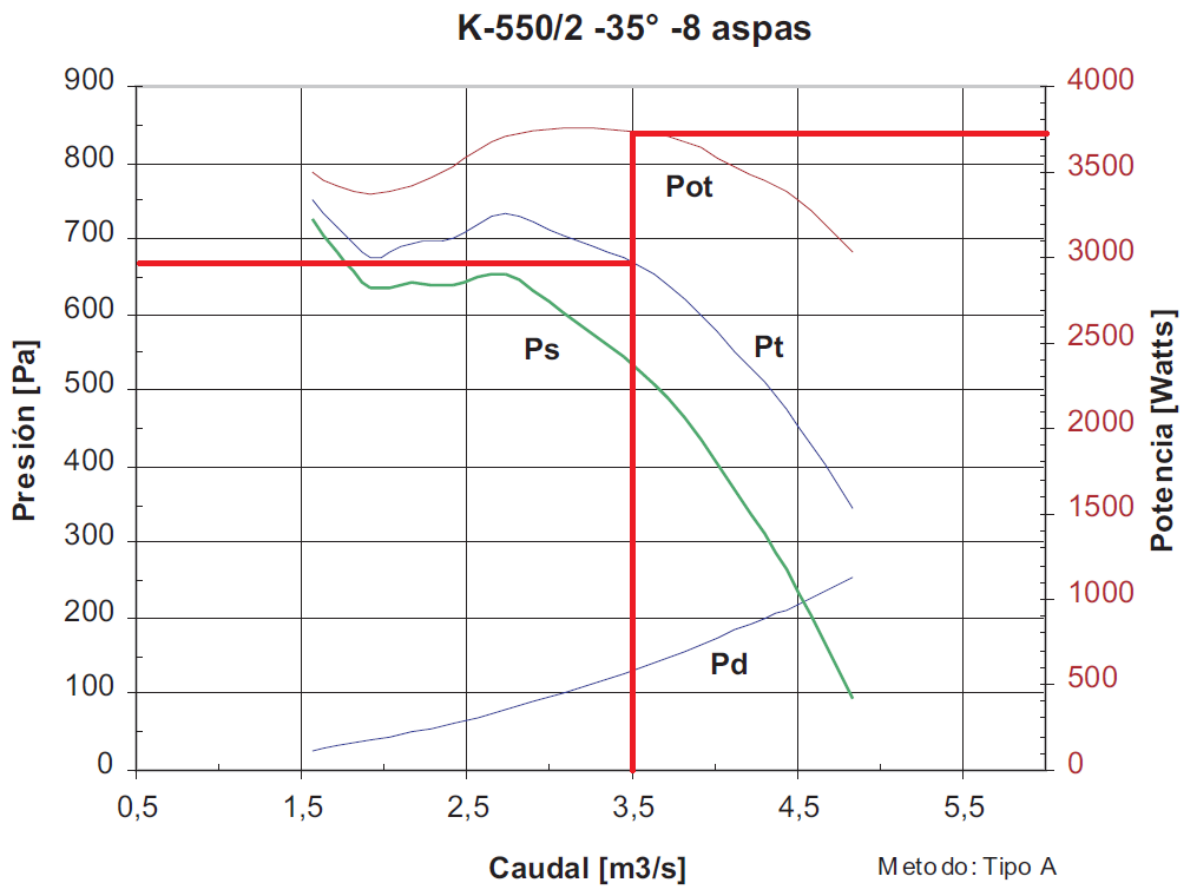


Figura 8.19. Curva del ventilador seleccionado.

Ventilador Axial K-550/2-35°-8 aspas

Consultando con el proveedor, se obtiene el siguiente precio:

Ventilador axial K-550/2, 2800 r.p.m, 5,5 Hp → U\$S 897 x 2 = U\$S 1794

Variador de frecuencia

Seleccionamos un variador acorde a la potencia del motor del ventilador, y un variador para ajustar la velocidad de la cinta transportadora.

El variador seleccionado para manejar el motor de la cinta, es el siguiente:

CFW 500 A04P3T2NB20, marca WEG, potencia máxima 1 Hp → U\$S 638

El variador seleccionado para manipular el caudal de los ventiladores es:

CFW 500 marca WEG potencia máxima 10 Hp, 16 Amper → U\$S 1510

Cinta transportadora

La cinta transportadora tiene que estar acorde a los estándares de calidad y salubridad del producto para poder dar cumplimiento a las normas que adhiere la empresa. Por lo tanto, por recomendación del proveedor, la cinta implementada es banda con cobertura de poliuretano - 2 telas - espesor 1.4 milímetros.

La cotización de esta cinta provista por el representante de una empresa industrial, está dada por metros cuadrados siendo el precio final:

m² banda: U\$S 192 +IVA

Metros requeridos: 1,5 m² x 54 m x 2 = 162m²

Costo final= U\$S 192 x 162 m² = U\$S 31.104

Se adjunta en el anexo 8 las especificaciones técnicas de la cinta.

Motorreductor impulsor cinta transportadora

Según la velocidad de la cinta y la potencia que se necesita para poner en movimiento los frascos, se selecciona el motor y el reductor.

La fuerza ejercida por el motor deberá ser:

$$F = g * m$$

Dónde:

$$m = m_1 + m_2$$

$$m_1 = \text{masa total de dulce}$$

$$m_2 = \text{masa de la cinta}$$

$$0.067 \text{ metros} \rightarrow 6 \text{ frascos}$$

$$64 \text{ metros} \rightarrow 5732 \text{ frascos}$$

$$m_1 = 5732 \text{ frascos} * 0,400 \text{ [kg]} = 2293 \text{ [kg]}$$

Donde tomamos 0,400 kilogramos de dulce teniendo en cuenta ya el peso del envase.

$$m_2 = 1.3 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right] * 1.5 \text{ [m]} * 54 \text{ [m]} = 105.3 \text{ [kg]}$$

$$m = 2293 \text{ [kg]} + 105.3 \text{ [kg]} = 2398.3 \text{ [kg]} \cong 2400 \text{ [kg]}$$

Por lo tanto la fuerza ejercida por el motor será:

$$F = g * m = 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \right] * 2400 \text{ [kg]} = 23544 \text{ [N]}$$

Luego la potencia necesaria para el motor será:

$$P = F * V$$

Donde “V” es la velocidad de la cinta, que la tomaremos como la velocidad de cinta para bandejas ya que para este caso es mayor:

$$P = 23544 \text{ [N]} * 0.0139 \left[\frac{\text{m}}{\text{seg}} \right] = 327 \text{ [W]} = 0.44 \text{ [HP]}$$

Teniendo la potencia del motor, solo resta adoptar un reductor, para nuestro caso adoptamos del tipo corona sinfín, con salida horizontal y una reducción de 1:60 para aproximarnos lo máximo posible a las bajas revoluciones que necesitamos en la cinta.

Seleccionamos finalmente del catálogo de un proveedor un motorreductor con las siguientes características:

Relación: 1:100

Potencia: 3/4 [Hp]

Rpm salida: 14

El precio de este conjunto es:

Motor $\frac{3}{4}$ Hp, 1400 rpm \longrightarrow U\$S 280

Reductor 1/100 \longrightarrow U\$S 970

Chapa para el recinto

Superficie necesaria para el recinto:

$$\text{Perímetro} \times \text{Longitud} = (1,5[\text{m}] \times 2 + 0,3[\text{m}] \times 2) \times 54[\text{m}] = 194,4 [\text{m}^2]$$

El precio obtenido de la chapa de acero inoxidable 308 es de 0.5 milímetros de espesor es:

1.25[m] x 2.5[m] \longrightarrow U\$S 129

Lo que corresponde a 3.125 [m²]

Por lo tanto para el diseño del túnel tenemos:

194.4 m² \longrightarrow U\$S 8025

Con acero AISI 430

El precio obtenido de la chapa de acero inoxidable AISI 430 de 0.4 milímetros de espesor es:

2m x 1m \longrightarrow U\$S 75

Lo que corresponde a 2 m²

Por lo tanto para el diseño del túnel tenemos:

194.4 m² \longrightarrow U\$S 7290

Rodillos

Para el diseño del túnel, necesitamos colocar 106 rodillos libres y dos rodillos tractores de 1500 milímetros de ancho y de 76 milímetros de diámetro. El material de los rodillos deberá ser acero inoxidable. Los precios se detallan a continuación:

Rodillo libre \longrightarrow U\$S 60 c/u

Rodillo tractor \longrightarrow U\$S 85 c/u

El gasto total de rodillos será:

$$(106 \times \text{U}\$S 60) + (2 \times \text{U}\$S 85) = \text{U}\$S 6530$$

Inversión inicial

Ahora podemos calcular un valor aproximado para la inversión inicial en materiales sumando todos los componentes:

Tabla 8.8. *Inversión total en materiales.*

Items	Precio U\$S
Ventilador K-550/2 5,5 HP 2800 rpm	1794
Variador de frecuencia CFW 500 1 HP	638
Variador de frecuencia CFW 500 10 HP	1510
Cinta transportadora doble tela poliuretano esp. 1,4mm	31104
Motor p/ cinta transportadora 3/4 hp 1400 rpm	280
Reductor 1/100 tornillo sinfín	970
Chapa acero inoxidable 308 esp. 0,5mm	8025
Rodillos acero inoxidable	6530
Total	50779

Capítulo 9: Factibilidad económica

En todo proyecto de ingeniería, es de gran importancia el aspecto económico, es por esto que en este capítulo trataremos de tomar toda la información económica del proyecto para poder llegar a un resultado que nos permita evaluar la factibilidad económica del mismo. Esto significa evaluar si la inversión que se está realizando es justificada por la ganancia que se generará, más allá de haber demostrado la factibilidad técnica del proyecto, y haber garantizado el cumplimiento de los objetivos planteados.

Para poder realizar este análisis, vamos a realizar un estudio de flujo de fondos del proyecto, teniendo en cuenta tanto los costos y los beneficios o ganancias generadas.

Los costos del proyecto contemplan la inversión inicial realizada en el período cero que comprenden la suma de materiales (datos que fueron obtenidos en el capítulo 8), gastos en mano de obra para la instalación y puesta a punto de la máquina. Por otro lado gastos anuales de cada período como lo son costos de mantenimiento, consumo eléctrico, entre otros.

Las ganancias o beneficios generados por el proyecto contienen el ahorro en mano de obra, ahorro de espacio, y el ahorro en rechazos de productos, las cuales son unas de las ventajas que ofrece la ejecución del proyecto como fueron citadas en el capítulo 1. La reducción de los rechazos de calidad, será inferior en la situación futura ya que cierta parte de estos rechazos están asociados a un incorrecto enfriamiento del producto.

El consumo eléctrico lo podremos calcular con el precio del kw-h obtenido de la empresa proveedora de energía, multiplicando este valor por el consumo total eléctrico anual del túnel (comprendido por los dos ventiladores y el motor de la cinta).

En el costo de mantenimiento contemplamos los recursos humanos utilizados para tal fin. Entendemos que el equipo necesita un porcentaje de horas de mantenimiento por horas trabajadas. Además tenemos en cuenta el valor de los insumos utilizados en cada mantenimiento.

El ahorro en mano de obra representa que, por la presencia del túnel, deja de ser necesaria la doble paletización del producto, reduciendo en un 25% el trabajo del empleado a cargo.

Finalmente se ahorran metros cuadrados en la zona de estacionamiento de productos, ya que los productos críticos pueden ser pasados directamente a depósito. Se ahorra un 8% del espacio utilizado para el estacionamiento de los productos, ya que los productos críticos representan este porcentaje de producción.

A continuación en la tabla 9.9 se puede ver el flujo de fondos neto realizado para el proyecto, donde se encuentran involucradas todas las variables descriptas anteriormente, en un período temporal coincidente con la vida útil del equipo, destacando que tras la finalización de esta vida útil se proyecta un mantenimiento a cero horas sustituyendo los componentes que se encuentran en un estado de recambio, y así poder seguir disponiendo del equipo para su correcto funcionamiento.

Tabla 9.9 Flujo de fondo neto

Vida útil (años)											Precio dólar	\$	10		
Inversión inicial	U\$S	54179,7													
Tasa de ref. (TNA BNA)		29,08%													
Items/Períodos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Inversión inicial	-54179,70														
Consumo eléctrico		-343,8	-343,8	-343,8	-343,8	-343,8	-343,8	-343,8	-343,8	-343,8	-343,8				
Mantenimiento		-400	-400	-400	-400	-400	-400	-400	-400	-400	-400				
Ahorro MO		4535,4	4535,4	4535,4	4535,4	4535,4	4535,4	4535,4	4535,4	4535,4	4535,4				
Ahorro Inmueble		5299,2	5299,2	5299,2	5299,2	5299,2	5299,2	5299,2	5299,2	5299,2	5299,2				
Ahorro Rechazo		14968,8	14968,8	14968,8	14968,8	14968,8	14968,8	14968,8	14968,8	14968,8	14968,8				
Depreciación		-5418	-5418	-5418	-5418	-5418	-5418	-5418	-5418	-5418	-5418				
Subtotal		18641,6	18641,6	18641,6	18641,6	18641,6	18641,6	18641,6	18641,6	18641,6	18641,6				
Imp. a las ganancias		-6524,6	-6524,6	-6524,6	-6524,6	-6524,6	-6524,6	-6524,6	-6524,6	-6524,6	-6524,6				
Depreciación		5418	5418	5418	5418	5418	5418	5418	5418	5418	5418				
Flujo de fondo neto		-54179,7	17535	17535	17535	17535	17535	17535	17535	17535	17535				
			TIR	30%											
			VA	-US\$55.603											
			VAN	US\$1.424											

Como se puede ver en la tabla 9.9 conseguimos determinar dos indicadores económicos relevantes como lo son la TIR y el VAN. La tasa interna de retorno (TIR) es mayor que la tasa de referencia establecida, lo que indica que es más rentable invertir en el proyecto que invertir en un plazo fijo anual en el BNA (Banco de la Nación Argentina). Como

la TIR es mayor que el valor de la tasa de referencia, es un hecho que el valor actual neto es positivo y esto indica que por invertir en el proyecto, el inversor incrementa su capital en U\$S 1424.

Capítulo 10: Conclusión

A lo largo de todo este proyecto, disfrutamos de una entera colaboración de la empresa Orieta, proveyendo todos los datos que se consideraron necesarios, es por eso que una gran parte de este informe está dedicado a la fase de estudio y análisis del problema, para descubrir donde radica la problemática que genera los inconvenientes descriptos.

Una vez entendida la problemática y conociendo bien las causas de esa situación se procedió a demostrar la factibilidad técnica del proyecto, garantizando mediante el diseño propuesto el enfriamiento de los productos críticos que la empresa Orieta produce. Destacamos que el sistema físico está gobernado por la resistencia térmica a la conducción del dulce, factor que nos resulta inalterable, por ende se debió adecuar todas las condiciones externas al producto para dar un eficiente enfriamiento al dulce.

Finalmente tenemos un pre diseño del túnel de enfriamiento para proponerle a la empresa Orieta, con el que puede dar solución a la problemática, pero ¿con que costo? y ¿con que beneficios?. Se valuó el túnel a partir de los costos y beneficios para los diseñadores, lo que determinó la inversión inicial que debería desembolsar la empresa, y además se presentó un flujo de fondos netos que presenta la futura situación económica de la empresa a partir de tomar la decisión en invertir en nuestro proyecto. Más allá de los beneficios económicos que puede o no tener la empresa, es vital destacar que se le da, con este sistema de enfriamiento, cumplimiento a los objetivos establecidos, especialmente a los que resultan difícil ponderar económicamente, como lo es el aporte a la mejora de la calidad del producto, la mejora del sistema JIT, ya que se le permite la salida inmediata del producto, y por último, y no por eso menos importante, se mejora la situación laboral de los empleados, cuidando su salud ya que se baja la exigencia física de las tareas protegiendo factores ergonómicos en su labor diaria.

GLOSARIO

Agar: Gelatina vegetal de origen marino utilizado en la industria alimenticia para obtener la consistencia deseada en un producto.

Gelificación: Proceso mediante el cual se forma un gel o aumenta la consistencia de un producto.

Grados brix: Sirven para determinar el cociente total de materia seca o sacarosa disuelta en un líquido. Una solución de 25 °Bx. Contiene 25 gramos de azúcar por 100 gramos de líquido.

Mallado: Proceso que consiste en generar una malla o red en un sólido para poder ser analizado mediante un software.

Metóxilo: En química orgánica es un grupo funcional o radical consistente en un grupo metilo unido a un oxígeno.

Paletizado: El paletizado o paletización es la acción de disponer mercancía sobre un pallet para su almacenaje y transporte.

Pallet: Armazón de madera, plástico y otro material empleado para el movimiento de carga de mercancías, ya que facilita el levantamiento y manejo con pequeñas grúas hidráulicas llamadas auto elevadores.

Pectina: Sustancia neutra que se encuentra en muchos tejidos vegetales y que se emplea en alimentación para dar consistencia a la los alimentos, en este caso mermeladas y dulces.

PH: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa. El pH neutro es 7, si es mayor es una solución básica y si es menor es ácida.

BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obmerm/p3.htm>
Universidad nacional de Colombia
- Simón Navarro García - Sustancia pectina: química y aplicaciones
- Yunus A. Cengel, (2007). *Transferencia de calor y masa*. México. McGraw-Hill
- R. Paul Singh-Dennis R. Heldman (2da edición). (2001). *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. Acribia, S.A
- A. Casp y J. Abril.(2da edición). *Procesos de conservación de alimentos*. Mundi prensa
- Crane. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. McGraw-Hill.

ANEXOS

Anexo 1: Empresas fabricantes de túneles de enfriamiento

Se llevó a cabo un estudio sobre los diferentes sistemas de enfriamiento que se encuentran en el mercado para así poder ver de esta manera como resuelven el problema de enfriamiento otras empresas para diferentes productos.

Yanis-Tecnología Alimentaria

Oficina Comercial: Av. General paz 3787 lado provincia Villa Lynch - Buenos Aires – Argentina.

Túnel para chocolate:

“Es complemento de la bañadora de chocolate y se puede adquirir en forma conjunta o por separado. Está construido en acero inoxidable 18/8, posee una cinta de material sanitario antiadherente que transporta el producto recién bañado. Por su tamaño compacto, bajo consumo y sencillez de manejo es perfecta para quienes necesitan adquirir su primer equipamiento. A lo largo de su recorrido distribuye



Figura A.20. Túnel para chocolate.

en forma selectiva el frío logrando una óptima terminación de brillo y textura del chocolate.

El túnel alcanza una temperatura de entre 12°C a -10°C, siendo el frío distribuido y recirculado. Posee control de temperatura digital, control de velocidad de cinta, y sistema de limpieza automático; además un práctico filtro de aire tipo cassette que evita que ingresen residuos al sistema frigorífico. Su moderno diseño permite una rápida y completa limpieza y

mantenimiento evitando paradas prolongadas y costosas. El largo del túnel de enfriamiento, el ancho de la superficie de bañado y la generación de frío puede ser modificado de acuerdo al producto a bañar y las necesidades del usuario, obteniendo así una óptima calidad del producto terminado.

Disponemos de una línea estándar que va desde las 1.000 a 100.000 unidades hora.

ASEMA S.A.

Ruta Provincial N° 2, altura 3900 (Km 13)-3014 Monte Vera - Santa Fe – Argentina

“Túnel de enfriado y pasteurizado. Equipo diseñado para pasteurizar y enfriar alimentos envasados en contenedores metálicos, vidrio o plástico. El sistema es por aspersion con recirculado de agua para garantizar un intercambio de calor seguro y eficiente además de



Figura A.21. Túnel de enfriado y pasteurizado.

un filtrado continuo, que es comparable al efecto obtenido con los sistemas por inmersión.

Cada módulo está equipado con un sistema de recirculado compuesto por sistema de aspersion, bomba, filtro. Los

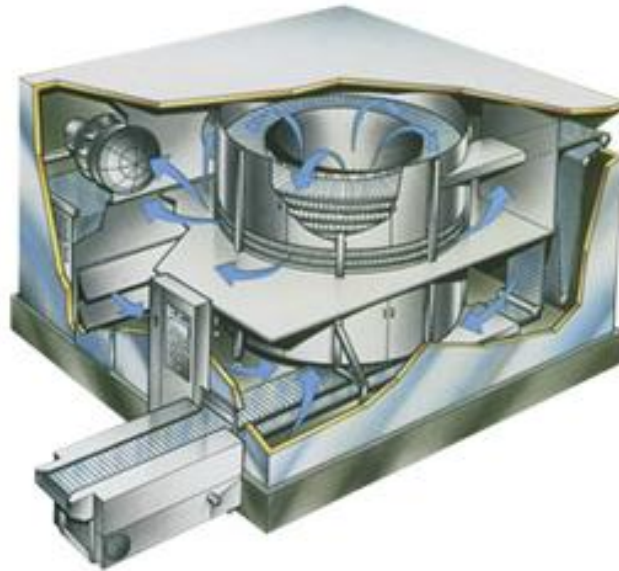
módulos pueden llevar a cabo

tanto calentamiento como enfriamiento en función del programa establecido. En caso de utilizarse solo para enfriamiento, los envases entran a una temperatura mayor a 80°C y a lo largo del túnel se les rocía agua mediante picos aspersores a aproximadamente 25°C lo cual logra reducir la temperatura hasta 30°C.

FRIO-RAF

Lisandro de la torre 958 – Rafaela Santa fe.

Por catálogo:



Túnel de congelado helicoidal

- Para congelar productos desnudos en forma individual.
- Para capacidades de 500 a 5.000 Kg/h.
- Construidos con bandas transportadoras de acero inoxidable o plásticas adecuadas a cada producto y con un sistema de tensión reducida para aumentar la vida útil.
- Dichas bandas cuentan con un sistema de limpieza automático al final del proceso.
- Flujo de aire optimizado sobre el producto para una excelente calidad de congelación final.
- Ventiladores de alta eficiencia, lo que significa una menor potencia de motores para un mayor caudal de aire.
- Evaporadores construidos en acero galvanizado en caliente o aluminio.
- Estructuras fabricadas en acero galvanizado en caliente o acero inoxidable.
- Cerramiento exterior de paneles aislantes con puertas de acceso.
- Ventajas: uso eficiente del espacio en fábrica, menor costo de operación, tiempo de congelación reducido, velocidad variable de la banda.



Figura A.22. Túnel de congelado helicoidal.

Refricentro S.A

Túneles de Congelado

Refricentro S.A. proyecta, fábrica e instala Túneles de Congelado.

Los productos generalmente del área pesca y/o cárnico son recibidos posterior a la etapa de procesamiento, para comenzar la etapa de rápido congelamiento, y evitar los daños celulares del tejido a partir del descongelamiento.

De esta manera Refricentro S.A. ofrece las mejores alternativas para mantener la calidad del producto posterior a su permanencia congelado. Se fabrican generalmente con paneles aislantes de poliuretano inyectado de 120 a 150 mm de espesor, con sistemas de protección del piso del recinto, y considerando sistemas de refrigeración



Figura A.23. Túnel de congelado.

diseñados especialmente para cada aplicación. Los tipos de proceso pueden ser estáticos o continuos.

Conclusión:

La gran variedad se encuentra resumida a las diferencias de diseño mecánico, disposición geométrica y/o potencia frigorífica; todos los equipos utilizan los mismos conceptos de transferencia de calor, (convección forzada de aire) y es por eso que son contemplados en el análisis. En general cada túnel es específico para cada producto a enfriar, y eso es lo que se busca en este proyecto, lograr un túnel de enfriamiento específico para lograr el enfriamiento de dulces y mermeladas, integrando características que maximicen la transferencia de calor y mantengan los índices de calidad del producto.

Anexo 2: Análisis de porcentajes de producción

Tabla A.10. Porcentajes de producción.

Producto	Peso por unidad (Gramos)	Unidades	Peso total producido (KG)	Porcentaje sobre el total
Frasco selección				
MERMELADA DURAZNO	400	12744	5097,6	3,001678905
MERMELADA DAMASCO	400	12600	5040	2,967761629
MERMELADA CIRUELA	400	13920	5568	3,278669991
MERMELADA NARANJA	400	12948	5179,2	3,049728379
MERMELADA FRUTILLA	400	5364	2145,6	1,263418522
MERMELADA CIRUELA PINAR	380	4260	1618,8	0,953216771
Total		61836	24649,2	14,5
Frasco Pro Light				
MERMELADA DURAZNO	350	18732	6556,2	3,860563253
MERMELADA DAMASCO	350	11532	4036,2	2,376682438
MERMELADA CIRUELA	350	9168	3208,8	1,889474904
MERMELADA NARANJA	350	12036	4212,6	2,480554095
MERMELADA FRUTILLA	350	4452	1558,2	0,91753297
Total		55920	19572	11,5
Frasco sin azucar agregada (Pro Diabet)				
MERMELADA DURAZNO	340	48060	16340,4	9,621907168
MERMELADA DAMASCO	340	31092	10571,28	6,224809357
MERMELADA CIRUELA	340	35496	12068,64	7,106517205
MERMELADA FRUTILLA	340	29016	9865,44	5,809181407
Total		143664	48845,76	28,8
Frasco activa				
MERMELADA DURAZNO	350	10032	3511,2	2,067540602
MERMELADA FRUTILLA	350	6432	2251,2	1,325600194
Total		16464	5762,4	3,4
Bandejas				
Dulce de batata vainilla	425	28920	12291	7,237452021
Dulce de batata chocolate	425	31920	13566	7,988225052
Dulce de membrillo	425	40392	17166,6	10,10840809
Postre dulce de leche c/ chocolate	425	8904	3784,2	2,228294357
Total		110136	46807,8	27,6
Bandejas sin azucar agregada (pro diabet)				
Dulce de batata sin azucar agregada	350	34872	12205,2	7,186929412
Dulce de membrillo sin azucar agregada	350	34236	11982,6	7,055853274
Total		69108	24187,8	14,2

Anexo 3: Ensayos de tiempo de exposición

Ensayo 1: Enfriamiento al natural

El primer ensayo se realizó sacando el producto de la línea ni bien termina de ser dosificados y envasado, en el mismo momento que entraría el túnel de enfriamiento. En ese momento se realiza la primera medición de temperatura. Se lleva el producto a un ambiente con una temperatura moderada la cual se encontraba en 26 °C y se comienza a hacer correr el cronómetro. Luego se lo deja enfriar en reposo, cabe aclarar que la convección forzada realizada por el aire es prácticamente nula y el producto se encuentra lejos de cualquier elemento que pueda emitir frío o calor. Se fueron tomando mediciones de la temperatura cada tres minutos, el termómetro en el caso del frasco queda instalado en el mismo como se ve en la figura A.24 por un orificio que se realizó a la tapa del frasco, y queda el producto tapado por el mismo elemento de medición impidiendo el contacto de aire exterior con el aire del interior al producto. Para el caso de la bandeja solo fue necesario perforar la lámina de aluminio con el mismo termómetro como se ve en la figura A.25. Se siguieron realizando las mediciones hasta que la temperatura descendió a los 40 grados centígrados.

Este ensayo se podrá entender como una simulación de una cinta transportadora de muy baja velocidad de transporte, y al aire libre, sin recinto ni aire forzado

Este ensayo se llevó a cabo sin ningún inconveniente ya que el termómetro tanto para el ensayo de frascos como de bandeja podía quedar dentro del producto censando la temperatura continuamente y así no se tuvo errores debido a la demora de respuesta del termómetro. En el caso de los frascos se realizó un orificio en la tapa para poder ingresar el termómetro y dejarlo colocado. Al colocar el termómetro allí, este mismo tapaba el agujero practicado por lo que no podía ingresar aire del exterior hace el interior del frasco afectando los resultados. A continuación vemos las figuras para ver la disposición en la que quedo el termómetro en cada caso y una imagen de la tapa perforada:



Figura A.25. Bandeja ensayo 1



Figura A.24. Frasco ensayo 1.



Figura A.26. Tapa perforada para ensayo.

Ensayo 2: Enfriamiento por aire forzado

Para este ensayo tampoco se destacaron mayores inconvenientes a la hora de realizar las mediciones, ya que al igual que en el ensayo anterior el termómetro podía quedar instalado en el producto, pero al encontrarse dentro del túnel se tuvo que perforar la caja de cartón corrugado para obtener la lectura del termómetro sin manipular el producto, a continuación podemos ver las fotos del ensayo:



Figura A.28. Túnel de ensayo.



Figura A.27. Túnel de ensayo 2.

Ensayo 3: Enfriamiento por inmersión en agua natural

Para poder realizar este ensayo, en el caso del frasco de vidrio se tuvo que hacer ingresar el mismo al recipiente con agua y sacarlo cada vez que se tenía que llevar a cabo la medición debido a que el termómetro digital no debe mojarse. Al tener que sacar el frasco del recipiente, no solo se lo sacaba del reposo sino que también se perdía entre uno y dos minutos

para medir la temperatura ya que el termómetro como bien dijimos es de muy lenta respuesta. Todos estos errores que se tuvieron en el ensayo fueron contemplados a la hora de colocar los resultados finales. Para medir los frascos se tomaron intervalos de cinco minutos para no tener que sacar del reposo muy seguido al producto.

En el caso del ensayo para bandejas, se tuvo que adoptar otro recipiente para poder dejar un pequeño pedazo de superficie de la bandeja afuera, ya que al perforar la lámina de aluminio con el termómetro este producto dejaba de ser impermeable y no podíamos sumergirlo en agua. Por ello se realizó el ensayo de la forma en que se puede apreciar en las imágenes. Para este caso los intervalos de tiempo fueron de tres minutos ya que el termómetro quedaba colocado en el producto.

Para ambos ensayos la temperatura del agua se encontraba en 20 °C.



Figura A.30. Ensayo 3 frascos.



Figura A.29. Ensayo 3 bandejas.

Las siguiente imagen (figura A.31) fue sacada para poder observar como la etiqueta no soporta el agua y se arruina, viendo imposibilitada la opción de mojar el frasco para ser enfriado:



Figura A.31. Daño en etiqueta.

Ensayo 4: Enfriamiento por inmersión en agua refrigerada

Para este ensayo el procedimiento fue el mismo que en el anterior, pero el agua se enfrió hasta llegar a una temperatura de 10 °C y recién allí se empezaron a enfriar los productos.

Los intervalos de tiempo para medir fueron los mismos que en el ensayo anterior para el caso de las bandejas ya que aquí el termómetro se dejaba colocado, y de tres minutos para los frascos ya que al enfriarse más rápido si el intervalo era 5 minutos o más las mediciones iban a ser muy pocas hasta llegar a los 40 °C debido a la gran velocidad de enfriamiento de este ensayo.



Figura A.32. Ensayo 4 frascos.

Anexo 4: Geometría de los productos

Bandejas

Como se ve en las fotos, la geometría de las bandejas se puede aproximar por rectángulos y triángulos.

El objetivo es encontrar el área de exposición para la modelización por intercambiadores de calor, además podremos encontrar el volumen de la bandeja, dato que nos permitirá obtener la densidad del dulce, y por último podremos encontrar el diámetro hidráulico correspondiente a la bandeja.



Figura A.33. Vista de bandeja de dulces.

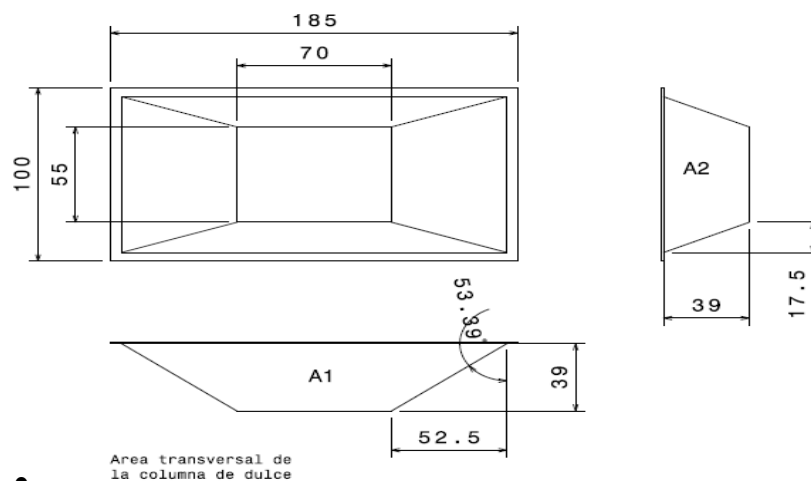


Figura A.34. Vista de la bandeja de dulces y dimensiones.

- Diámetro hidráulico:

$$\begin{aligned} \text{Area transversal} = A1 &= 70[\text{mm}] * 39[\text{mm}] + \frac{2 * 52,5[\text{mm}] * 39[\text{mm}]}{2} \\ &= 4777,5[\text{mm}^2] = 0,0047775[\text{m}^2] \end{aligned}$$

$$\text{Perímetro} = 0,175[\text{m}] + 0,07[\text{m}] + 2 * \sqrt{(0,0525[\text{m}]^2 + 0,039[\text{m}]^2)} = 0.3758 \text{ m}$$

$$D_{hd} = \frac{4 * A1}{p} = \frac{4 * 0,0047775[\text{m}^2]}{0.3758[\text{m}]} = 0.05085 \text{ m}$$

- Área de exposición: el área que está en contacto con el aire de enfriamiento:

$$A_s = \text{Perímetro mojado} * \text{largo del tubo}$$

$$A_s = (0,175[\text{m}] + 2Pl) * L$$

Donde Pl es el perímetro lateral de las bandejas, que sería 0,039 [m] afectado por un factor de forma que es particular para la geometría de bandeja:

$$Pl = 0,039[\text{m}] * f$$

$$f = \frac{A_{real}}{A_{cuadrada}} = \frac{\frac{A2}{\cos(53,39)}}{0,09[\text{m}] * 0,039[\text{m}]} = 1,35 ; A2 = 0,0028275[\text{m}^2]$$

$$A_s = (0,175[\text{m}] + 2 * 0,039[\text{m}] * 1,35) * L$$

$$A_s = 0,28[\text{m}] * L$$

- Densidad del dulce:

$$\text{Vol} = A1 * \left(\frac{A2}{0,039[\text{m}]} \right) = 0,0047775[\text{m}^2] * 0,0725[\text{m}]$$

$$\text{Vol} = 3,4637 \times 10^{-4} [\text{m}^3]$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,425 [\text{kg}]}{0,0003464[\text{m}^3]} = 1226,9 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Frascos

La geometría del frasco es mucho más sencilla de aproximar que la de la bandeja, por su forma cilíndrica, el área frontal del tubo ficticia es la de un rectángulo de área: H x D, con estos parámetros también se calculan el diámetro hidráulico “D_h” y el área de exposición A_s.

$$A_s = P * L = (2 * H + Ld)L = 0,3126[m] * L$$

$$Ld = D * f = D * \frac{Areal}{Asupuesto} = D * \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{D^2} = 0,067[m] * 0,7854 = 0,0526[m]$$

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{0,340[kg]}{\pi r^2 H} = 866,288 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$D_h = \frac{2 * D * H}{D + H} = 0,0884[m]$$

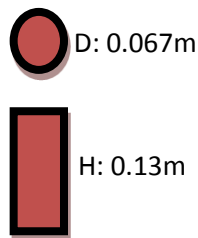


Figura 6.35. Geometría de frasco.

Anexo 5: Cálculo analítico

Bandejas

Esquema de intercambiador de calor

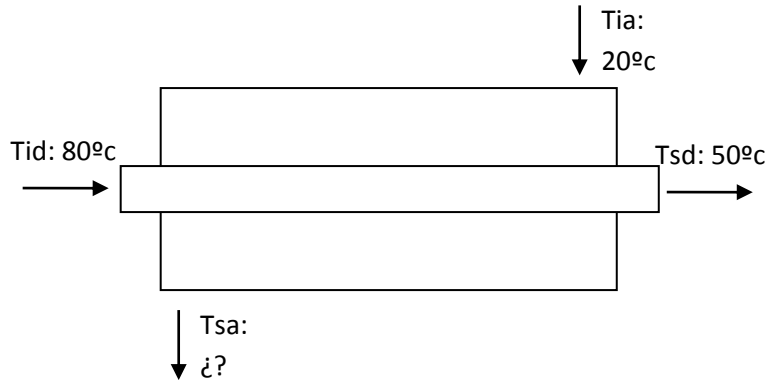


Figura A.36. Esquema intercambiador de calor.

$$m_d: 0,425 \text{ kg} / 7,2\text{s} = 0,059 \text{ [kg/s]}$$

Atendiendo al criterio de la velocidad del aire de enfriamiento, proponemos una velocidad de 7 m/seg, que posteriormente puede ser ajustada según el caudal de los ventiladores en el mercado

$$m_a: 7 \text{ [m/s]} \times 0,255 \text{ [m]} \times 0,3 \text{ [m]} \times 1,204 \text{ [kg/m}^3] = 0,5355 \text{ [m}^3\text{/seg]} \times 1,204 \text{ [kg/m}^3]$$

$$= 0,6447 \text{ [kg/seg]}$$

$$\text{Se tiene finalmente un caudal total: } Qt = 6 * 0,5355 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = 3,213 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Balance de calores:

$$Q_d = Q_a$$

$$m_d * c_{pd} * (80[^\circ\text{C}] - 50[^\circ\text{C}]) = m_a * c_{pa} * (T_{sa} - 20[^\circ\text{C}])$$

$$0,059 \left[\frac{\text{kg}}{\text{seg}} \right] * 2328,2 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} \right] * 30[^\circ\text{C}] = 0,6447 \left[\frac{\text{kg}}{\text{seg}} \right] * 1007 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} \right] * (T_{sa} - 20[^\circ\text{C}])$$

$$T_{sa}[^\circ\text{C}] = \frac{4120,91 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{seg}} \right]}{0,6447 \left[\frac{\text{kg}}{\text{seg}} \right] * 1007 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} \right]} + 20[^\circ\text{C}] = 6,35[^\circ\text{C}] + 20[^\circ\text{C}] = 26,35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por LMTD:

$$\Delta T_{ml} [^{\circ}C] = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}; \Delta T_1 = T_{id} - T_{sa}; \Delta T_2 = T_{sd} - T_{ia}$$

$$\Delta T_1 = 80 [^{\circ}C] - 26.35 [^{\circ}C] = 53.65 [^{\circ}C]$$

$$\Delta T_2 = 50 [^{\circ}C] - 20 [^{\circ}C] = 30 [^{\circ}C]$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{53.65 [^{\circ}C] - 30 [^{\circ}C]}{\ln\left(\frac{53.65}{30}\right)} = 40.68 [^{\circ}C]$$

Cálculo del coeficiente de transferencia total:

$$\frac{1}{U * A_s} = R_{ca} + R_{ce} + R_{cd}$$

- Resistencia a la convección del aire

Calculamos “h” por Nusselt:

Propiedades del aire a temperatura promedio = 25°C → p=1,184;

$$k = 0.02551 [W/m^{\circ}K]; \nu = 1.562 \times 10^{-5} [m^2/seg]; Pr = 0,7296$$

$$Re = \frac{7 [m/seg] * (0.2757 [m] - 0,05085 [m])}{1,562 \times 10^{-5} [m^2/seg]} = 100787,45 \gg 1 \times 10^4 \text{ turbulento}$$

$$Nu = \frac{hD}{k} = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,4}$$

$$h = 0,023 * 100787,45^{0,8} * 0,7296^{0,4} * \frac{0,02551 [W/m^{\circ}K]}{0,2249 [m]} = 23,14 [W/m^2 \circ K]$$

$$\frac{1}{h * A_s} = \frac{1}{23,14 [W/m^2 \circ K] * 0,28 [m] * L} = \frac{1}{6,48 [W/m^{\circ}K] * L} = \frac{0,1543 [m^{\circ}K/W]}{L}$$

- Resistencia del envase:

Utilizando un criterio conservativo en el que consideramos que la totalidad del envase es de polipropileno (el cual tiene un espesor de 0,7 milímetros y una conductividad

$k = 0.22[W/m^{\circ}K]$); y trabajando el problema de la columna de dulce viéndola como un tubo de un diámetro D_{hd} :

$$R_{ce} = \frac{\ln\left(\frac{0,0515}{0,0508}\right)}{2\pi kL} = \frac{0,0099}{L} [m^{\circ}K/W]$$

- Resistencia del dulce dentro del conducto:

Si bien el interior de la bandeja contiene un volumen de aire, este es despreciable frente al volumen de dulce.

En sistemas transitorios se plantea el número a dimensional de biot:

$$Bi = \frac{h * Lc}{k} = \frac{Lc/k}{1/h} = \frac{\text{Resistencia a la conduccion dentro del cuerpo}}{\text{Resistencia a la conveccion en la sup del cuerpo}} = \frac{\frac{Lc}{k * As}}{\frac{1}{h * As}}$$

Por lo tanto la resistencia térmica a la conducción del dulce es (para un cilindro largo, “ L_c ” es el radio, y “ k ” es aproximado por la conductividad térmica del membrillo: $k = 0.3823[W/m^{\circ}K]$

$$R_{cd} = \frac{Lc}{k * As} = \frac{0,0254[m]}{0,3823[W/m^{\circ}K] * 0,28[m] * L} = \frac{0,2375}{L} [m^{\circ}K/W]$$

Esta fórmula de la resistencia también puede entenderse como la resistencia térmica a conducción para una pared:

$$Q = k * A * \frac{(T1 - T2)}{L} = \frac{(T1 - T2)}{\frac{L}{kA}} = \frac{(T1 - T2)}{R_{tc}}$$

Para un cilindro hueco, tiene su fórmula también, pero no se puede aplicar para cilindros sólidos, ya que el logaritmo se va a infinito por radio interior igual a cero.

Finalmente:

$$\frac{1}{U * As} = \frac{1}{U * 0,2774[m] * L} = \frac{0,1543}{L} [m^{\circ}K/W] + \frac{0,0099}{L} [m^{\circ}K/W] + \frac{0,2375}{L} [m^{\circ}K/W]$$

$$\frac{1}{U} = 0,2774[m] * L * \left(\frac{0,1543}{L} [m^{\circ}K/W] + \frac{0,0099}{L} [m^{\circ}K/W] + \frac{0,2375}{L} [m^{\circ}K/W] \right)$$

$$\frac{1}{U} = 0,2774[m] * 0,4017[m^{\circ}K/W] = 0,1125[m^2^{\circ}K/W]$$

$$U = 8,89[W/m^2^{\circ}K]$$

Determinación de L:

$$Q = U \left[\frac{W^2}{m} \text{ }^{\circ}K \right] * \Delta T_{ml} [^{\circ}K] * A_s [m^2]$$

$$4120,41[W] = 8,89[W/m^2^{\circ}K] * 40,68[^{\circ}K] * 0,28[m] * L$$

$$L = \frac{4120,41[W]}{8,89[W/m^2^{\circ}K] * 40,68[^{\circ}K] * 0,28[m]}$$

$$L = 40,69m$$

$$\text{Tiempo de exposición final: } T = L * V_c = 40,69[m] / 0,0139[m/seg] = 2927[seg] = 49[min]$$

Frascos

Esquema de intercambiador de calor:

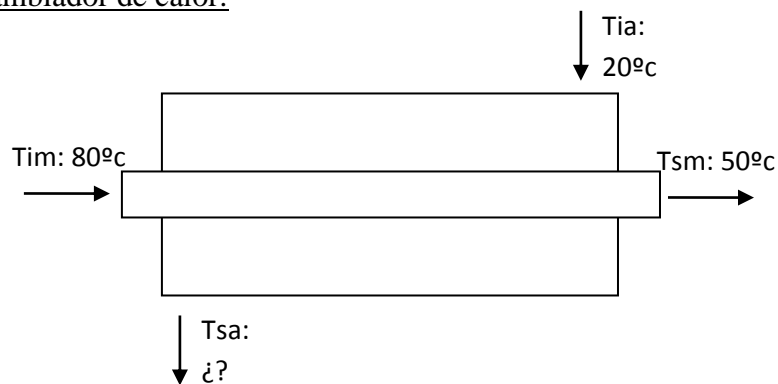


Figura A.37. Esquema intercambiador de calor.

$$m_d: 0,34 [kg] / 4,8 [seg] = 0,0708 [kg/seg]$$

Utilizando el mismo ventilador:

$$m_a: 7[\text{m/s}] \times 0,3825[\text{m}] \times 0,3[\text{m}] \times 1,204[\text{kg/m}^3] = 0,8033[\text{m}^3/\text{seg}] \times 1,204[\text{kg/m}^3] \\ = 0,967 [\text{kg/seg}]$$

Balance de calores:

$$Q_d = Q_a$$

$$m_a * c_{pd} * (80[^\circ\text{C}] - 50[^\circ\text{C}]) = m_a * c_{pa} * (T_{sa} - 20[^\circ\text{C}])$$

$$0,0708 \left[\frac{\text{kg}}{\text{seg}} \right] 3346,2 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} \right] 30[^\circ\text{C}] = 0,967 \left[\frac{\text{kg}}{\text{seg}} \right] 1007 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} \right] (T_{sa} - 20[^\circ\text{C}])$$

$$T_{sa} = \frac{7107,33 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{seg}} \right]}{0,967 \left[\frac{\text{kg}}{\text{seg}} \right] * 1007 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} \right]} + 20[^\circ\text{C}] = 7,3[^\circ\text{C}] + 20[^\circ\text{C}] = 27,3[^\circ\text{C}]$$

Por LMTD:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}; \Delta T_1 = T_{id} - T_{sa}; \Delta T_2 = T_{sd} - T_{ia}$$

$$\Delta T_1 = 80[^\circ\text{C}] - 27,3[^\circ\text{C}] = 52,7[^\circ\text{C}]$$

$$\Delta T_2 = 50[^\circ\text{C}] - 20[^\circ\text{C}] = 30[^\circ\text{C}]$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{52,7[^\circ\text{C}] - 30[^\circ\text{C}]}{\ln\left(\frac{52,7}{30}\right)} = 40,3[^\circ\text{C}]$$

Cálculo del coeficiente de transferencia total:

$$\frac{1}{U * A_s} = R_{ca} + R_{ce} + R_{cd}$$

- Resistencia a la convección del aire

Calculamos “h” por Nusselt:

Propiedades del aire a temperatura promedio = 25°C → p=1,184;

$$k = 0,02551 [\text{W/m}^\circ\text{K}]; \nu = 1,562 \times 10^{-5} [\text{m}^2/\text{seg}]; \text{Pr} = 0,7296$$

$$Re = \frac{7[m/seg] * (0.3363[m] - 0,0884[m])}{1,562 \times 10^{-5} [m^2/seg]} = 111094,75 \gg 1 \times 10^4 \text{ turbulento}$$

$$Nu = \frac{hD}{k} = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,4}$$

$$h = 0,023 * 111094,75^{0,8} * 0,7296^{0,4} * \frac{0,02551[W/m^2K]}{0,2479[m]} = 22,7[W/m^2K]$$

$$\frac{1}{h * A_s} = \frac{1}{22,7[W/m^2K] * 0,3126[m] * L} = \frac{1}{7,09[W/m^2K] * L} = \frac{0.1409}{L} [m^2K/W]$$

- Resistencia del envase:

Utilizando un criterio conservativo en el que consideramos que la totalidad del envase es de vidrio (el cual tiene un espesor de 2,5 milímetros y una conductividad $k = 0,7[W/m^2K]$), y trabajando el problema de la columna de dulce viéndola como un tubo de un diámetro D_{hd} :

$$R_{ce} = \frac{\ln\left(\frac{0,0884}{0,0859}\right)}{2\pi kL} = \frac{0,00652}{L} [m^2K/W]$$

- Resistencia del dulce dentro del conducto:

$$R_{cd} = \frac{Lc}{k * A_s} = \frac{0,0442[m]}{0,5212[W/m^2K] * 0,3126[m] * L} = \frac{0,27128}{L} [m^2K/W]$$

Finalmente:

$$\frac{1}{U * A_s} = \frac{1}{U * 0,3126[m] * L} = \frac{0.1409}{L} [m^2K/W] + \frac{0,00652}{L} [m^2K/W] + \frac{0,27128}{L} [m^2K/W]$$

$$\frac{1}{U} = 0,3126[m] * L * \left(\frac{0.1409}{L} [m^2K/W] + \frac{0,00652}{L} [m^2K/W] + \frac{0,27128}{L} [m^2K/W] \right)$$

$$\frac{1}{U} = 0,3126[m] * 0,4187[m^2K/W] = 0,1308[m^2K/W]$$

$$U = 7,64[W/m^2K]$$

Determinación de L:

$$Q = U * \Delta T_{ml} * A_s$$

$$7107.33[W] = 7.64[W/m^2 \cdot K] * 40.3[^\circ C] * 0,3126[m] * L$$

$$L = \frac{7107.33[W]}{7,64[W/m^2 \cdot K] * 40.3[^\circ C] * 0,3126[m]}$$

$$L = 73.84m > L_{bandeja}$$

Proponemos la distribución de 6 columnas de mermelada, para disminuir el caudal másico de entrada de mermelada.

Para el ingreso en 6 columnas, el ciclo es de 7,2 segundos, lo que da una velocidad de cinta para las mermeladas de $V_c = 0,0093$ [m/seg]. Al quedar una distribución igual que la anterior, tenemos el mismo diámetro hidráulico para el recinto $D_{ht} = 0,2757$ [m]

Esquema de intercambiador de calor:

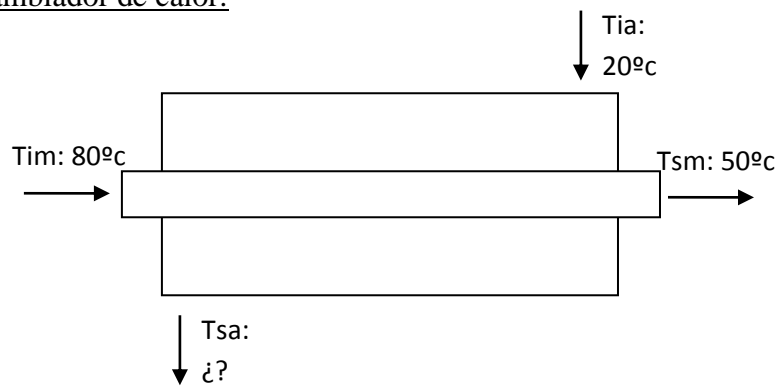


Figura A.38. Esquema de intercambiador de calor.

$$M_d: 0,34 [kg] / 7,2 [seg] = 0,0472 [kg/seg]$$

Utilizando el mismo ventilador

$$M_a: 7[m/s] \times 0,255[m] \times 0,3[m] \times 1,204[kg/m^3] = 0,5355[m^3/seg] \times 1,204[kg/m^3] \\ = 0,6447 [kg/seg]$$

Balance de calores:

$$Q_d = Q_a$$

$$m_a * c_{pd} * (80[^\circ\text{C}] - 50[^\circ\text{C}]) = m_a * c_{pa} * (T_{sa} - 20[^\circ\text{C}])$$

$$0,0472 \left[\frac{\text{kg}}{\text{seg}} \right] 3346,2 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} \right] 30[^\circ\text{C}] = 0,6447[\text{kg/seg}] 1007 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} \right] (T_{sa} - 20[^\circ\text{C}])$$

$$T_{sa} = \frac{4740.45 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{seg}} \right]}{0,6447[\text{kg/seg}] * 1007 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} \right]} + 20[^\circ\text{C}] = 7.3[^\circ\text{C}] + 20[^\circ\text{C}] = 27,3[^\circ\text{C}]$$

Por LMTD:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln\left(\frac{\Delta T1}{\Delta T2}\right)}; \Delta T1 = T_{id} - T_{sa};$$

$$\Delta T2 = T_{sd} - T_{ia}$$

$$\Delta T1 = 80[^\circ\text{C}] - 27.3[^\circ\text{C}] = 52.7[^\circ\text{C}]$$

$$\Delta T2 = 50[^\circ\text{C}] - 20[^\circ\text{C}] = 30[^\circ\text{C}]$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{52,7[^\circ\text{C}] - 30[^\circ\text{C}]}{\ln\left(\frac{52,7}{30}\right)} = 40.3[^\circ\text{C}]$$

Cálculo del coeficiente de transferencia total:

$$\frac{1}{U * A_s} = R_{ca} + R_{ce} + R_{cd}$$

- Resistencia a la convección del aire

Calculamos “h” por Nusselt:

Propiedades del aire a temperatura promedio = 25°C → p=1,184;

$$k = 0.02551 [W/m^\circ\text{K}]; \nu = 1.562 \times 10^{-5} [m^2/seg]; Pr = 0,7296$$

$$Re = \frac{7[m/seg] * (0.2757[m] - 0,0884[m])}{1,562 \times 10^{-5} [m^2/seg]} = 83937,26 \gg 1 \times 10^4 \text{ turbulento}$$

$$Nu = \frac{hD}{k} = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,4}$$

$$h = 0,023 * 83937,26^{0,8} * 0,7296^{0,4} * \frac{0,02551[W/m^{\circ}K]}{0,1873[m]} = 24[W/m^2{\circ}K]$$

$$\frac{1}{h * A_s} = \frac{1}{24[W/m^2{\circ}K] * 0,3126[m] * L} = \frac{1}{7,5[W/m^{\circ}K] * L} = \frac{0,1333}{L} [m^{\circ}K/W]$$

- Resistencia del envase:

Utilizando un criterio conservativo en el que consideramos que la totalidad del envase es de vidrio (el cual tiene un espesor de 2,5 milímetros y una conductividad $k = 0,7[W/m^{\circ}K]$), y trabajando el problema de la columna de dulce viéndola como un tubo de un diámetro D_{hd} :

$$R_{ce} = \frac{\ln\left(\frac{0,0884}{0,0859}\right)}{2\pi kL} = \frac{0,00652}{L} [m^{\circ}K/W]$$

- Resistencia del dulce dentro del conducto:

$$R_{cd} = \frac{Lc}{k * A_s} = \frac{0,0442[m]}{0,5212[W/m^{\circ}K] * 0,3126[m] * L} = \frac{0,27128}{L} [m^{\circ}K/W]$$

Finalmente:

$$\frac{1}{U * A_s} = \frac{1}{U * 0,3126[m] * L} = \frac{0,1535}{L} [m^{\circ}K/W] + \frac{0,00652}{L} [m^{\circ}K/W] + \frac{0,27128}{L} [m^{\circ}K/W]$$

$$\frac{1}{U} = 0,3126[m] * L * \left(\frac{0,1535}{L} [m^{\circ}K/W] + \frac{0,00652}{L} [m^{\circ}K/W] + \frac{0,27128}{L} [m^{\circ}K/W] \right)$$

$$\frac{1}{U} = 0,3126[m] * 0,4111 \left[m^{\circ} \frac{K}{W} \right] = 0,1285 \left[m^2{\circ} \frac{K}{W} \right]$$

$$U = 7,7815[W/m^2{\circ}K]$$

Determinación de L:

$$Q = U * \Delta T_{ml} * A_s$$

$$4740,45[W] = 7,7815[W/m^2{\circ}K] * 40,3[{}^{\circ}C] * 0,3126[m] * L$$

$$L = \frac{4740.45[W]}{7,7815[W/m^2 \circ K] * 40.3[\circ C] * 0,3126[m]}$$

$$L = 48.36[m] > L_{bandeja}$$

Entonces la longitud final de túnel debe ser de 49 metros.

Alternativas en aumento de sección transversal

A continuación presentaremos los cálculos de túneles con 2, 4, y 6 columnas (máximo posible desde el punto de vista constructivo). Hacia 2 y 4 columnas el caudal de dulce aumentará respecto a la alternativa realizada hasta el momento, lo que expone al túnel a más dulce a enfriar.

En la tabla A.11 vemos los túneles analizados:

Tabla A.11. Datos de túneles con 2,4 y 6 columnas.

Nc	V	Tcilco	Vcinta	Md	Qe	Tsa	ΔT1	ΔTml	L[m]	Ca[m3/s]	L(te)[m]	a[m]	h[m]
6	7	7,2	0,00931	0,0472	4740,45	27,3014	52,6986	40,2892	48,3660	3,213	12,6556	1,53	0,3
4	7	4,8	0,01396	0,0708	7110,68	30,9520	49,0480	38,7468	75,4371	2,142	18,9833	1,02	0,3
2	7	2,4	0,02792	0,1417	14221,35	41,9041	38,0959	33,8869	172,5115	1,071	37,9667	0,51	0,3

Los parámetros que no están especificados para el cálculo de los nuevos túneles, son idénticos que para el caso inicial de 6 columnas.

Por una cuestión de facilidad operativa quedan descartadas las opciones de 4 y 2 canales. Coincidentemente con los cálculos desarrollados en la parte analítica el túnel será de 6 canales.

Se puede ver que la longitud mínima de exposición es satisfactoria en todos los casos, y ahora solo queda resolver la relación de compromiso entre la dimensión del túnel (Costo inicial y problemas de distribución en plata) vs Caudal de aire de enfriamiento (costo de utilización).

El paso siguiente es intervenir sobre el caudal de aire para modificar el coeficiente de transferencia de calor por convección, para esto dejaremos fija la sección (ya que fue establecida por cuestiones geométricas ajenas al análisis de transferencia de calor) y por lo

tanto el parámetro que varía es la velocidad. Los nuevos “h” intervendrán en el cálculo del coeficiente de transferencia total y se puede ver su cálculo en la tabla A.12:

Tabla A.12. Valores de h y U para diferentes velocidades de aire.

v	Re	h	Rconv	Renv	Rdul	1/U	U	Ma	Tsa(30°C)	ΔT1	ΔT2	ΔTml	h(30°C)	Rconv	1/U(30°C)	U(30°C)	L	Re
7	83937	24,0	0,133	0,0065	0,271	0,128	7,78	0,64	37,55	42,45	20	29,83	23,55	0,136	0,129	7,73	65,7	79221
8	95928	26,7	0,120	0,0065	0,271	0,124	8,05	0,74	36,61	43,39	20	30,20	26,20	0,122	0,125	8,00	62,7	90538
9	107919	29,4	0,109	0,0065	0,271	0,121	8,27	0,83	35,87	44,13	20	30,49	28,79	0,111	0,122	8,23	60,4	101855
10	119910	31,9	0,100	0,0065	0,271	0,118	8,46	0,92	35,28	44,72	20	30,72	31,32	0,102	0,119	8,42	58,6	113172
11	131901	34,5	0,093	0,0065	0,271	0,116	8,63	1,01	34,80	45,20	20	30,90	33,81	0,095	0,116	8,59	57,1	124489
12	143892	36,9	0,087	0,0065	0,271	0,114	8,78	1,11	34,40	45,60	20	31,06	36,24	0,088	0,114	8,74	55,8	135807
13	155883	39,4	0,081	0,0065	0,271	0,112	8,91	1,20	34,06	45,94	20	31,19	38,64	0,083	0,113	8,87	54,8	147124
14	167875	41,8	0,077	0,0065	0,271	0,111	9,03	1,29	33,77	46,23	20	31,30	41,00	0,078	0,111	8,99	53,9	158441
15	179866	44,2	0,072	0,0065	0,271	0,109	9,13	1,38	33,52	46,48	20	31,40	43,33	0,074	0,110	9,10	53,1	169758

La variación de “v” tiene en cuenta utilizar velocidades usuales en los túneles de enfriamiento. Lo que se aprecia a fin de cuentas es que la ganancia del “U” se va estancando a medida que crece el “v”, esto es así ya que la resistencia interna por conducción del dulce es dominante.

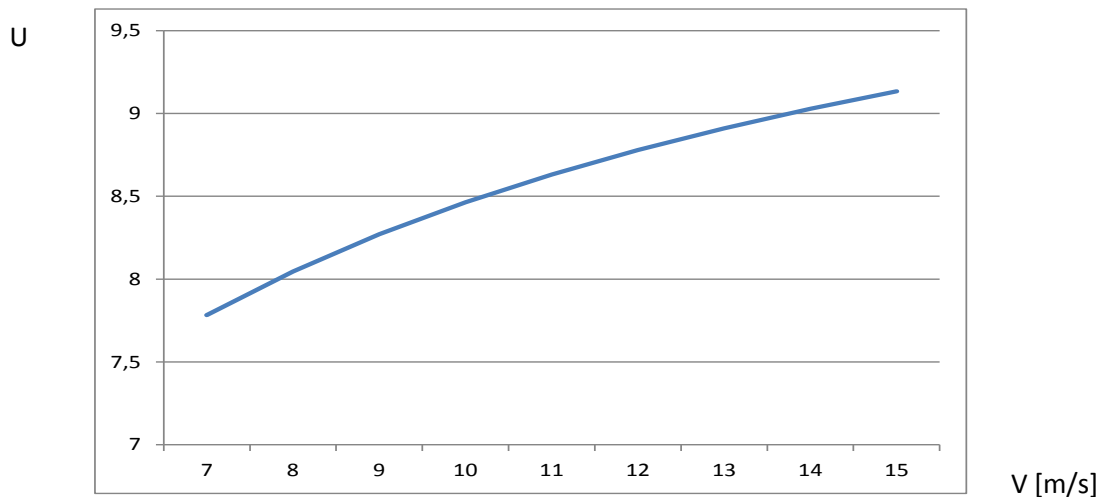


Figura A.39. Relación velocidad y coeficiente global de transferencia de calor.

En la tabla A.12 también podemos ver reflejado los cálculos para las condiciones extremas en la que se utiliza una temperatura de 30 °C de ingreso de aire.

Por todo lo visto anteriormente y evaluando la condición extrema, la mejor relación de compromiso posible contemplando longitud de túnel contra gasto másico, es la de extender el túnel a 54 metros, donde para proporcionar el enfriamiento se necesita una velocidad de aire de 14 m/seg, y en condiciones normales tendremos menor velocidad la cual deberá ser ajustada para no sobre enfriar el producto.

Anexo 6: Simulación de enfriamiento de frascos de mermelada

Una vez elegido el módulo (transferencia de calor en tuberías) y el tipo de estudio (estudio estacionario), debemos asignar una arista con el largo del túnel que tenemos, que para el caso de la bandeja es un largo de 54 metros:

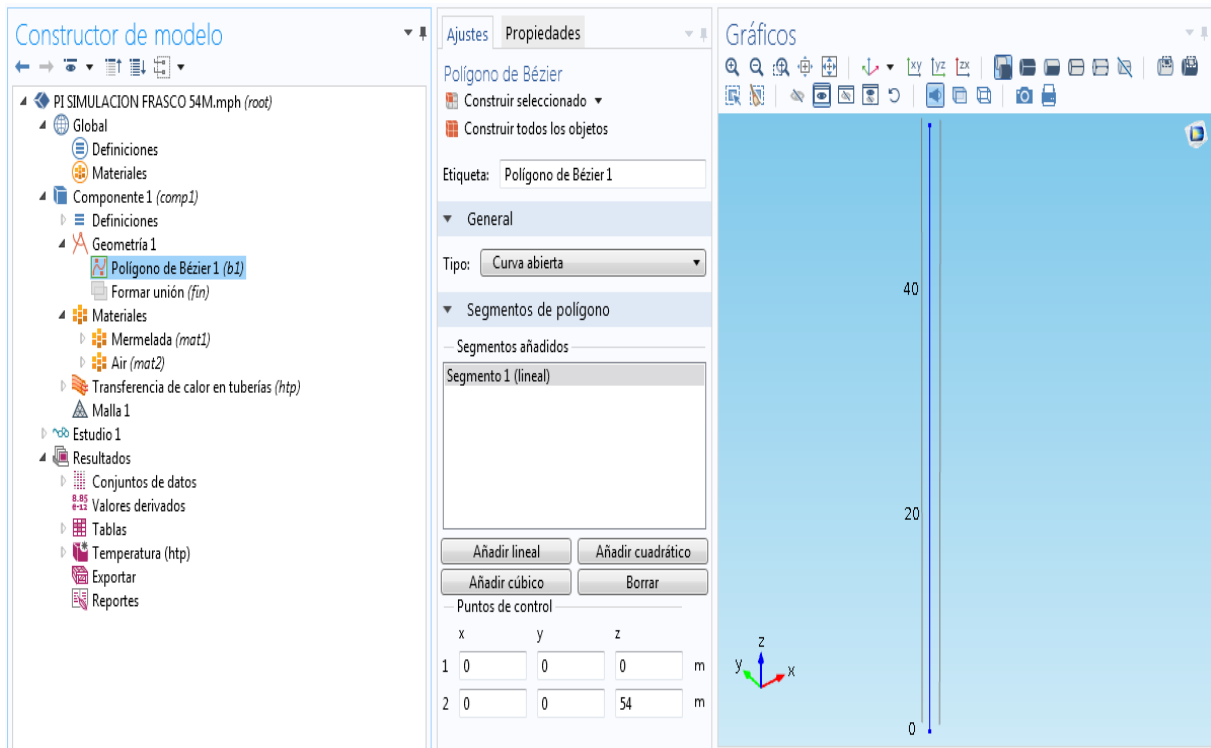


Figura A.40. Geometría.

Debemos asignar los materiales que van a participar en el modelo, para ello el programa nos permite asignar las propiedades de los materiales con los que vamos a trabajar o bien usar materiales que se encuentran guardados en la librería del programa. En nuestro caso los materiales usados son el aire (material establecido en el programa) y la mermelada, como podemos ver en la figura A.41 se asignan los valores de las propiedades de la mermelada:

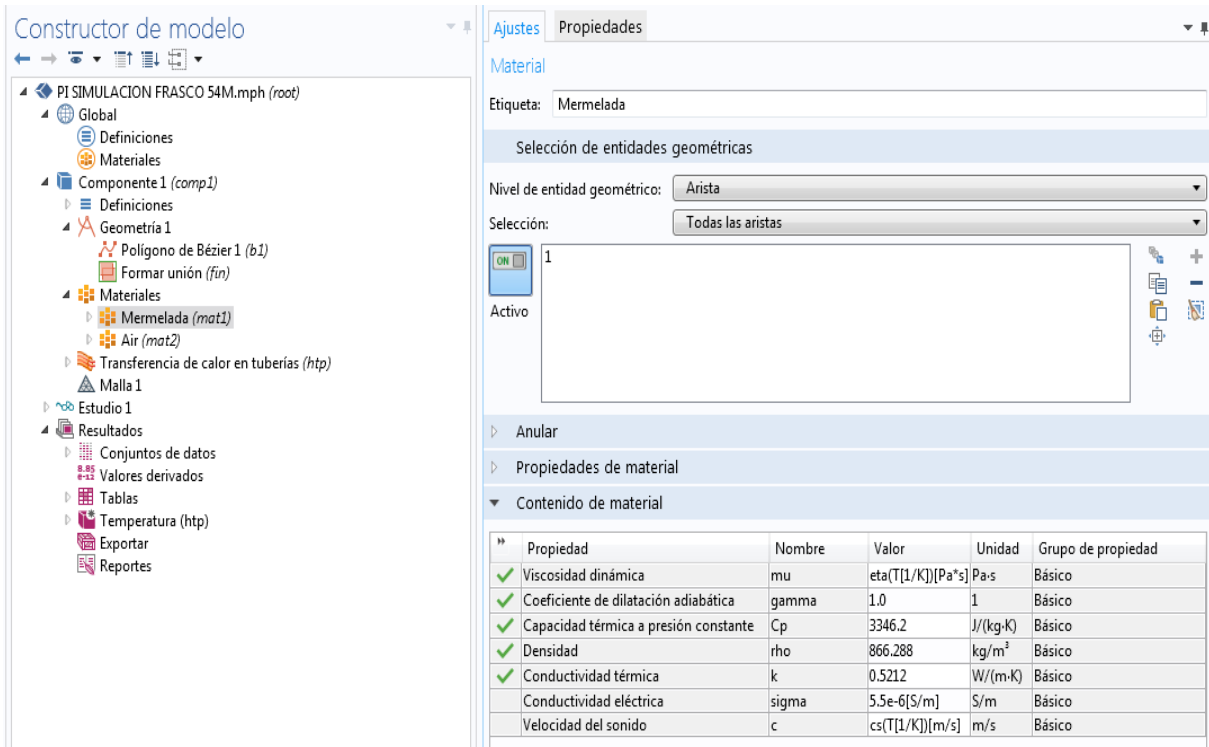


Figura A.41. Material.

Luego ya en el módulo de transferencia de calor en tuberías debemos asignar la velocidad tangencial de la tubería de mermelada que en este caso es la velocidad de la cinta transportadora (0.0093 [m/seg]), podemos ver esto en la figura A.42:

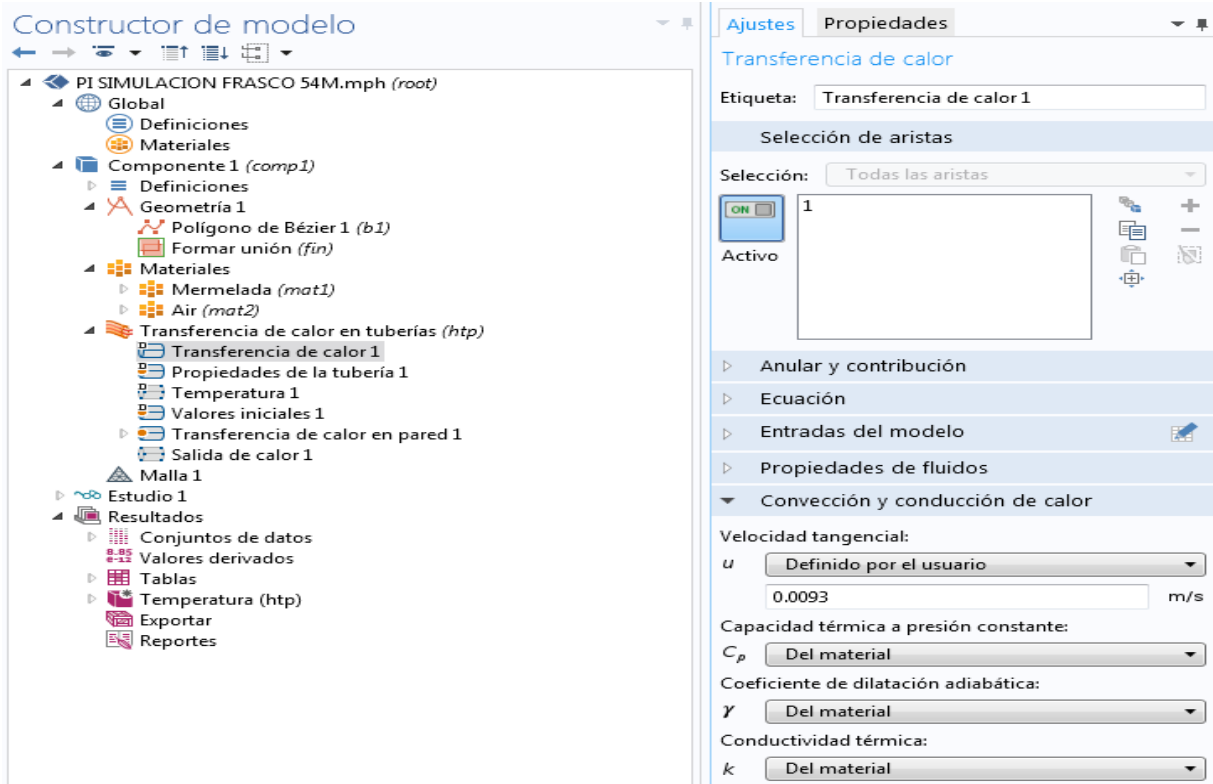


Figura A.42. Transferencia de calor.

A continuación pasamos a asignar en las propiedades de la tubería, el tipo de tubería (redonda) y el diámetro hidráulico del dulce (0.0884 [mm]) como se puede ver en figura A.43:



Figura A.43. Propiedades de la tubería.

Asignamos a continuación la temperatura inicial del dulce a la entrada (353.15 [°K]) como vemos en la figura A.44:

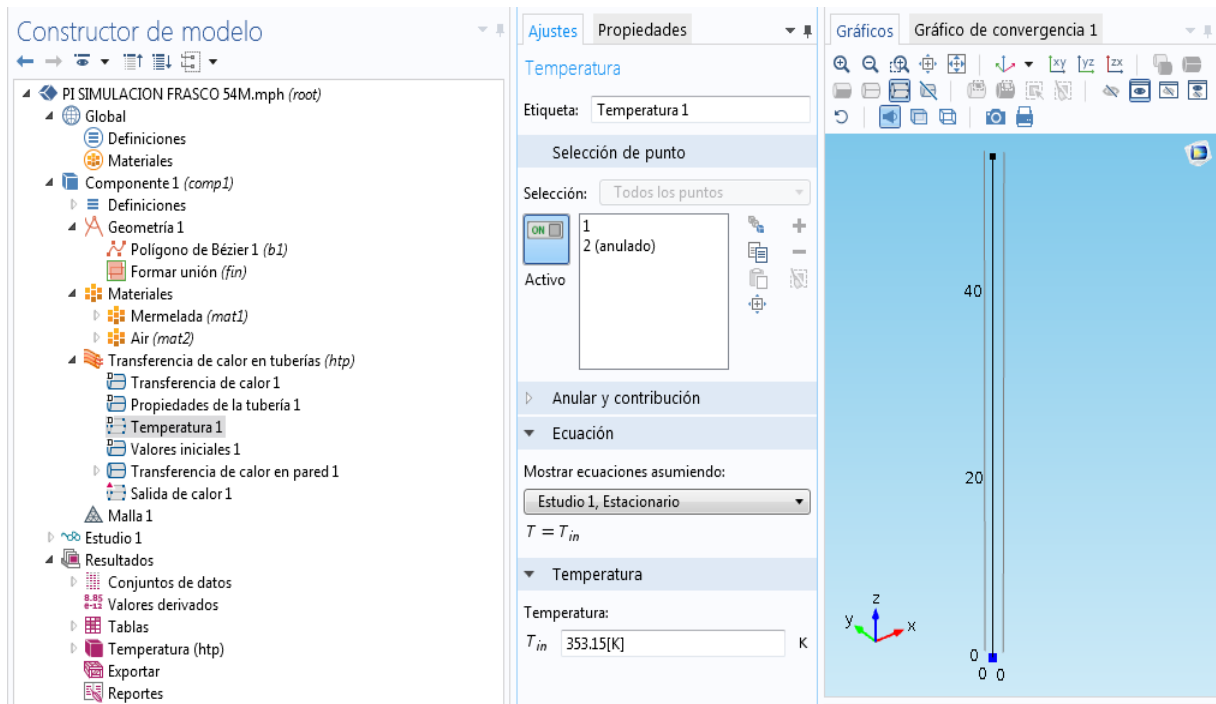


Figura A.44. Temperatura.

Se puede observar además en la figura A.44 que en la arista se marca el punto de entrada, que es el que se encontrará a 353.15 [°K] (80 °C).

Como el estudio es estacionario los valores iniciales no van a afectar nuestro estudio.

Luego pasamos a definir la transferencia de calor en pared donde debemos asignar la temperatura externa del aire (303.15 [°K]-30[°C]):

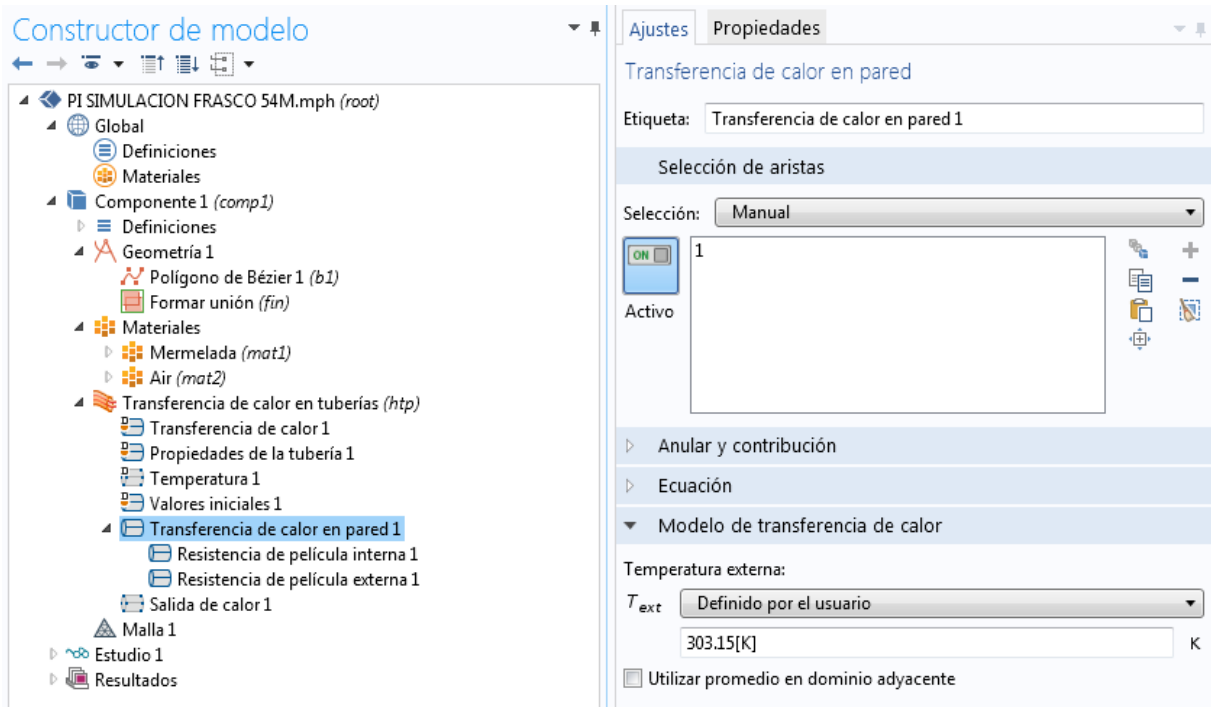


Figura A.45. Transferencia de calor en pared.

Luego asignamos una resistencia de película interna que resulta ser la resistencia a la conducción del dulce, como vemos en la figura A.46, se introduce el número de Nusselt el cual representa la resistencia a la convección del dulce, en nuestro caso en el interior del dulce existe transferencia a la conducción solamente, por ello buscaremos un Nusselt equivalente para poder darle el dato requerido al programa:

$$R_{conducción\ real} = R_{convección\ ficticia}$$

$$\frac{0.27128}{L} [m^2K/W] = \frac{1}{h * A_s} = \frac{1}{h * 0.3126[m] * L}$$

Eliminando los “L” y reordenando para obtener “h”:

$$h = \frac{1}{0.27128[m^2K/W] * 0.3126[m]} = 11.79[W/m^2\text{°}K]$$

Por lo tanto el número de Nusselt ficticio es:

$$Nu = \frac{h * D}{k} = \frac{11.79[W/m^2\text{°}K] * 0.0884[m]}{0.5212[W/m\text{°}K]} = 2$$

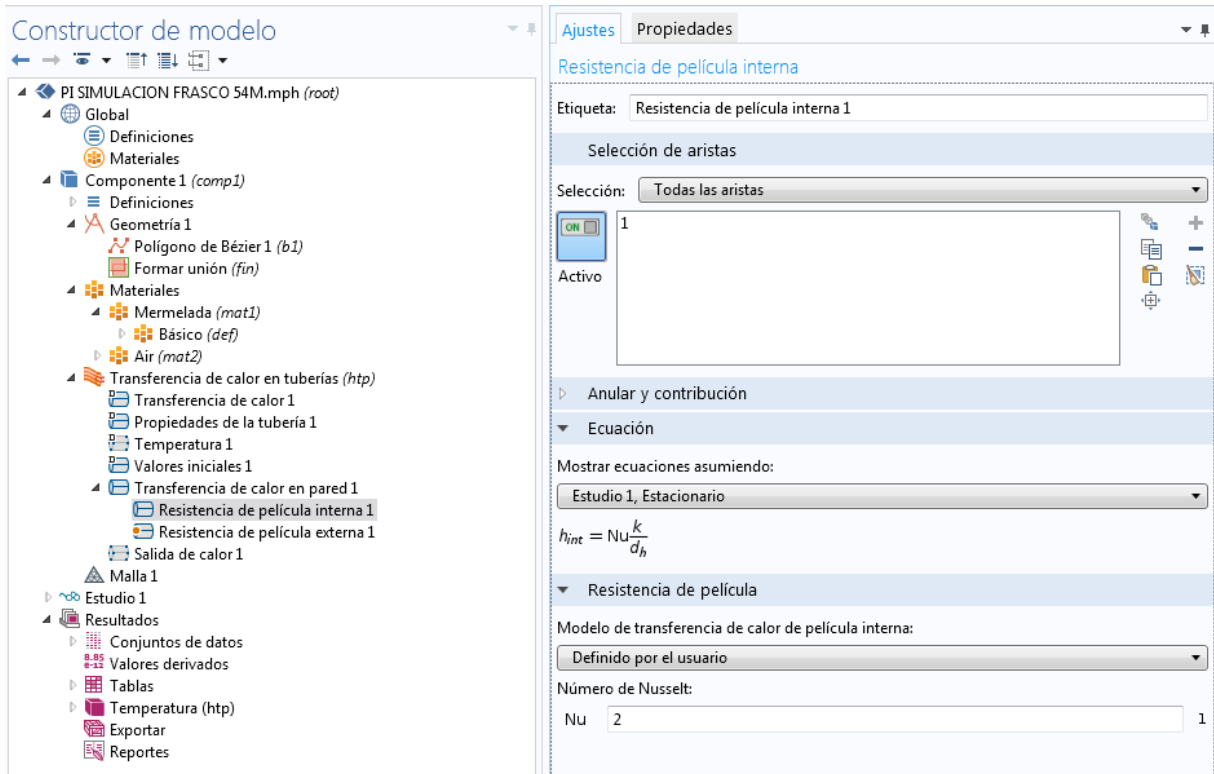


Figura A.46. Resistencia de película interna.

Luego de esto debemos definir la resistencia de pared externa, en ella hay que definir el fluido externo (aire) y el número de Nusselt como podemos ver en la figura A.47:

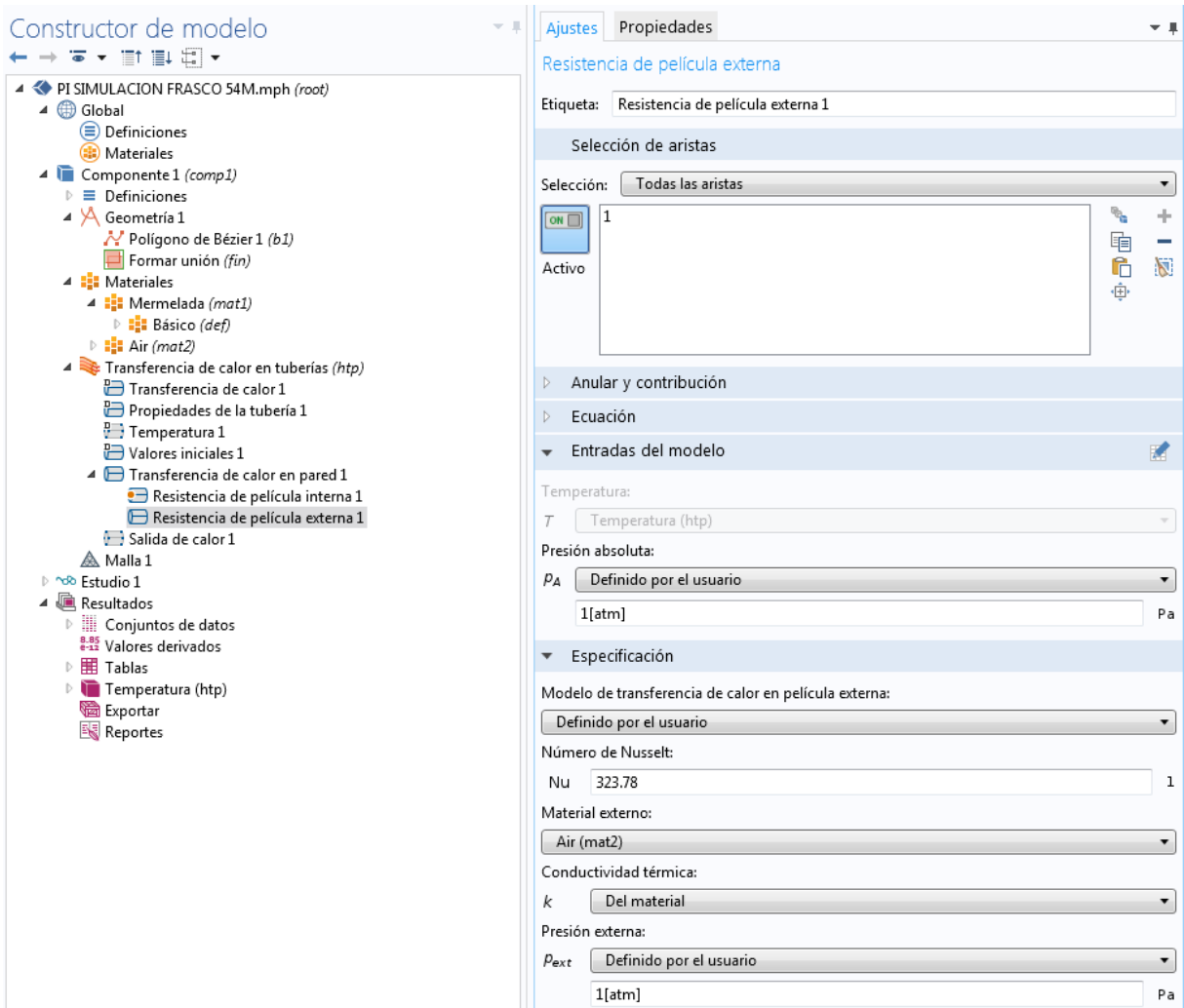


Figura A.47. Resistencia de película externa.

Ahora debemos asignar un punto de salida de calor como vemos en la figura A.48 marcado con color azul en la parte superior de la arista:

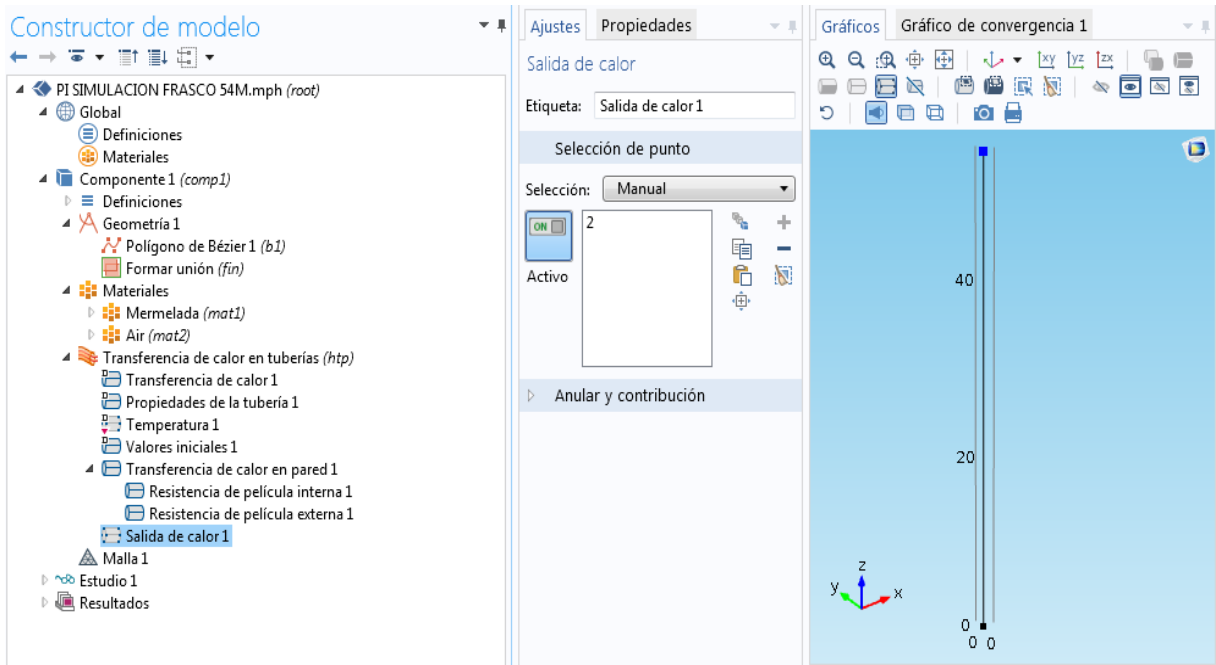


Figura A.48. Salida de calor.

Por último se asigna un mallado a la arista y se simula el modelo.

Anexo 7: Cálculo de pérdidas en el túnel

Al fluir aire por un conducto, en nuestro caso el túnel de enfriamiento, parte de la energía entregada por el ventilador se pierde y esto se traduce en una diferencia de presión entre la entrada y la salida del túnel. La pérdida total está compuesta por la suma de las pérdidas primarias y las pérdidas secundarias:

$$H_{total} = H + h_l$$

Pérdidas primarias

La pérdida de carga primaria se debe al rozamiento entre el fluido y la superficie de la tubería y estas pérdidas se pueden calcular por la fórmula de Darcy que contempla la longitud de conducción, el diámetro hidráulico, la velocidad del fluido y el factor de fricción (este depende del número de Reynolds y rugosidad de las paredes en el caso de flujo turbulento).

Al tratarse de un túnel rectangular, es necesario determinar el diámetro hidráulico que representa la sección circular equivalente, es decir aquella que presenta la misma pérdida de carga que la rectangular considerada. En este caso nuestro diámetro hidráulico fue calculado en el capítulo 7:

$$D_h = \frac{4 A}{p} = \frac{2 * 1.53[m] * 0.3[m]}{1.53[m] + 0.3[m]} = 0.5[m]$$

$$D_h = 0.5 [m]$$

Fórmula de Darcy:

$$H = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

H = Altura total expresada en metros de columna del fluido (m)

f = Factor de fricción (adimensional)

L = Longitud del ducto o tubería (m)

V = Velocidad promedio del fluido (m/s)

D = Diámetro hidráulico del conducto (m)

Como sabemos el flujo en el túnel es turbulento y el Reynolds es:

$$R_e = \frac{V * D}{\nu}$$

Dónde:

$$V = \text{velocidad del fluido } \left[\frac{m}{s}\right]$$

D = diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido [m]

ν = viscosidad cinemática del fluido [m²/s]

$$R_e = \frac{V * D}{\nu} = \frac{15 \left(\frac{m}{s}\right)}{1.6 \times 10^{-5} \left[\frac{m^2}{seg}\right]} * 0.5 [m] = 468750 \geq 10 \times 10^3 \rightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

Para el cálculo de la rugosidad suponemos la rugosidad del acero comercial y para ser conservativos tomamos 0.09:

Tabla A.13. *Rugosidades de materiales.*

Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015
Tubos estirados de acero	0,0024
Tubos de latón o cobre	0,0015
Fundición centrifugada	0,003
Fundición asfaltada	0,06-0,18
Fundición	0,12-0,6
Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Hierro forjado	0,03-0,09
Hierro galvanizado	0,06-0,24
Madero	0,18-0,9
Hormigón	0,3-3

Por lo tanto la rugosidad relativa será:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_a}{D} = \frac{0.09 [mm]}{500 [mm]} = 1.8 \times 10^{-4}$$

Dónde:

$\varepsilon_r = \text{rugosidad relativa}$

$\varepsilon_a = \text{rugosidad absoluta}$

$D = \text{diámetro del túnel (diámetro equivalente)}$

Para obtener el factor de fricción podemos usar el diagrama de Moody:

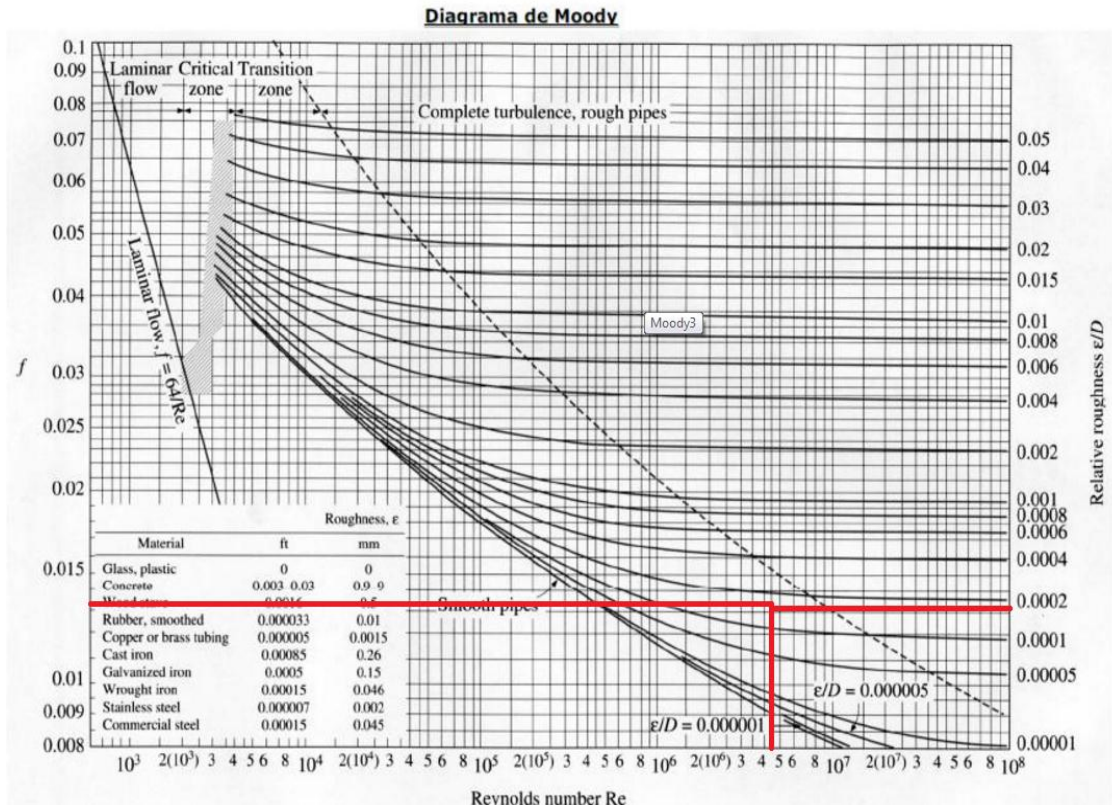


Figura A.49. Diagrama de Moody.

Obtenemos:

$$f = 0.013$$

Ahora si podemos calcular la pérdida según Darcy:

$$H = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 0.013 \frac{54 [m] * (15 \left[\frac{m}{seg} \right])^2}{0.5 [m] * 2 * 9.81 \left[\frac{m}{seg^2} \right]} = 16.1 [m]$$

$$\Delta P = H * \rho * g = f \frac{L}{D} \frac{V^2 \rho g}{2g} = 0.013 \frac{54 [m] * 1.165 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * \left(15 \left[\frac{m}{seg} \right] \right)^2}{0.5 [m] * 2} = 184 [Pa]$$

Densidad del aire obtenida de tabla A-9^a pag. A-18 libro Crane

Pérdidas secundarias

Las pérdidas secundarias se deben a los obstáculos que encuentra el fluido en su camino (válvulas, codos, expansión, etc.).

La pérdida de presión en un obstáculo es:

$$h_l = K * \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde el coeficiente de resistencia “k” se define como la pérdida de altura de velocidad para una válvula o accesorio. Donde “k” para las pérdidas primarias resultaba ser:

$$k = f \frac{L}{D}$$

En nuestro túnel, las pérdidas secundarias que tenemos se deben al cambio de dirección en la entrada y salida donde el aire realiza el paso por un codo de 90°, un estrechamiento del diámetro en la entrada, y una pérdida por la difusión del aire a la salida.

- Codos a 90°:

El coeficiente “k” es:

$$k = 30 f_t \text{ (Pagina A – 49 libro Crane)}$$

f_t Para un diámetro de 500 milímetros es 0.012 (página A-46 tabla A-24 libro Crane)

Luego:

$$k_{codo} = 30 * 0.012 = 0.36$$

$$h_{codo1} = K * \frac{v^2}{2 * g} = 0.36 * \frac{\left(15 \left[\frac{m}{seg}\right]\right)^2}{2 * 9.81 \left[\frac{m}{seg^2}\right]} = 4.128[m]$$

Como son dos codos:

$$h_{codos} = 4.128[m] * 2 = 8.25[m]$$

- Estrechamiento de dos ventiladores que se encausan hacia la sección del túnel:

$$Dh = \frac{4 * A}{P} = \frac{4 * \pi * d^2 * 2}{4 * (\pi * d + 2 * d)} = \frac{2 * \pi * d}{\pi + 2} = \frac{2 * \pi * 0.55[m]}{\pi + 2} = 0.672 \text{ m}$$

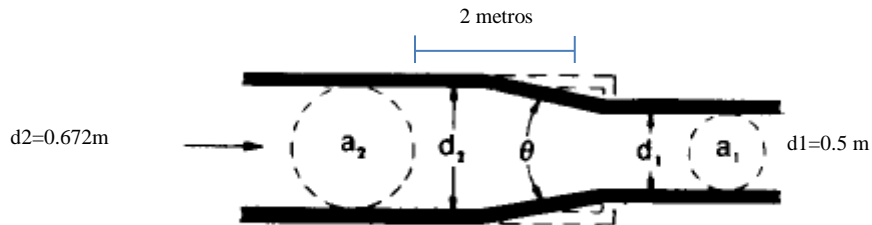


Figura A.50. Esquema estrechamiento del túnel a la entrada para dos ventiladores.

$$\frac{\theta}{2} = \tan^{-1} \frac{(0.672 - 0.5)}{2 * 2} = 2.46$$

$$k_{estrec.} = \frac{0.8 * \text{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right) * (1 - \beta^2)}{\beta^4}$$

Donde β es la relación entre el diámetro menor y mayor:

$$\beta = \frac{0.5}{0.672} = 0.744$$

$$k_{estrec.} = \frac{0.8 * \text{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right) * (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{0.8 * \text{sen}(2.46) * (1 - 0.744^2)}{0.744^4} = 0.05$$

$$h_{estrec.} = 0.05 * \frac{\left(15 \left[\frac{m}{seg} \right] \right)^2}{2 * 9.81 \left[\frac{m}{seg^2} \right]} = 0.57[m]$$

- Salida del túnel:

$$k_{sal.} = 1 \text{ (tabla A - 24 página A - 49 libro crane)}$$

$$V_{sal} = \frac{V_{ent.} A_{ent.}}{A_{sal.}} = \frac{15 \left(\frac{m}{seg} \right) \frac{\pi D_{ent.}^2}{4}}{\frac{\pi D_{sal.}^2}{4}} = \frac{15 \left(\frac{m}{seg} \right) D_{ent.}^2}{D_{sal.}^2} = \frac{15 [m/seg] (0.5 [m])^2}{(1 [m])^2}$$

$$= 3.75 \left[\frac{m}{seg} \right]$$

Donde proponemos un diámetro de 1 metro a la salida para disminuir la pérdida.

$$h_{sal.} = 1 * \frac{\left(3.75 \left[\frac{m}{seg} \right] \right)^2}{2 * 9.81 \left[\frac{m}{seg^2} \right]} = 0.7167 [m]$$

- Ensanchamiento a la salida:

$$k_{ensan.} = \frac{2.6 * \text{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right) * (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Dónde:

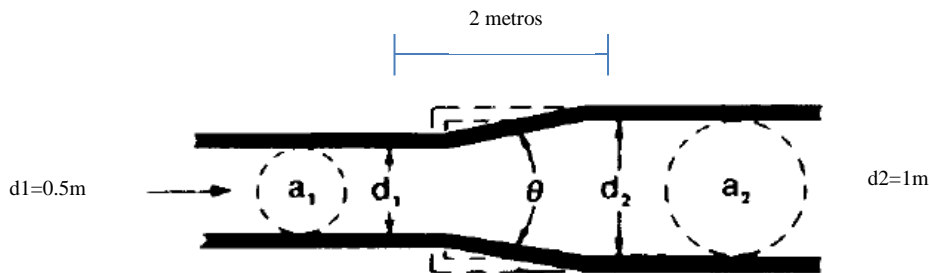


Figura A.51. Esquema ensanchamiento del túnel a la salida.

$$\beta = \frac{0.5}{1} = 0.5$$

$$\frac{\theta}{2} = \tan^{-1} \frac{(1 - 0.5)}{2 * 2} = 7.12$$

$$k_{ensan.} = \frac{2.6 * \text{sen}(7.12) * (1 - 0.5^2)^2}{0.5^4} = 2.9$$

$$h_{ensan.} = 2.9[m] * \frac{\left(3.75 \left[\frac{m}{seg}\right]\right)^2}{2 * 9.81 \left[\frac{m}{seg^2}\right]} = 2.078 [m]$$

Luego las pérdidas secundarias totales serán:

$$h_{total} = h_{codos} + h_{estrec.} + h_{sal.} + h_{ensanc.}$$

$$= 6.88[m] + 0.57[m] + 0.7167[m] + 2.078[m] = 10.24 [m]$$

$$\Delta P_{sec.} = 10.24[m] * 1.165 \left[\frac{kg}{m^3}\right] * 9.81 \left[\frac{m}{seg^2}\right] = 117 [Pa]$$

La pérdida total será:

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{prim.} + \Delta P_{sec.} = 184[Pa] + 117 [Pa] = 301[Pa]$$

$$\boxed{\Delta P_{total} = 301 [Pa]}$$

A continuación recalculamos las pérdidas para el caso de un solo ventilador y el caso de tres ventiladores, así podremos evaluar las tres opciones a la hora de seleccionar:

- Para un solo ventilador de 850mm de diámetro:

Recalculamos el estrechamiento:

$$Dh = \frac{4 * A}{P} = \frac{4 * \pi * d^2}{4 * (\pi * d)} = d = 0.55 [m]$$

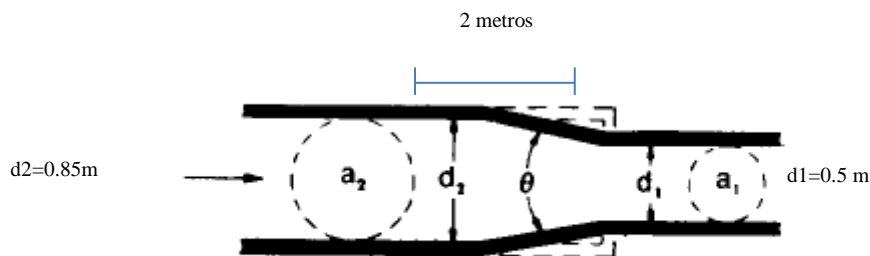


Figura A.52. Esquema estrechamiento del túnel a la entrada para un ventilador.

$$\frac{\theta}{2} = \tan^{-1} \frac{(0.85 - 0.5)}{2 * 2} = 5$$

$$k_{estrec.} = \frac{0.8 * \operatorname{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) * (1 - \beta^2)}{\beta^4}$$

Donde β es la relación entre el diámetro menor y mayor:

$$\beta = \frac{0.5}{0.85} = 0.588$$

$$k_{estrec.} = \frac{0.8 * \operatorname{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) * (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{0.8 * \operatorname{sen}(5) * (1 - 0.588^2)}{0.588^4} = 0.38$$

$$h_{estrec.} = 0.38 * \frac{\left(15 \left[\frac{m}{seg}\right]\right)^2}{2 * 9.81 \left[\frac{m}{seg^2}\right]} = 4.37[m]$$

$$h_{total} = h_{codos} + h_{estrec.} + h_{sal.} + h_{ensanc.}$$

$$= 6.88[m] + 4.37[m] + 0.7167[m] + 2.078[m] = 14 [m]$$

$$\Delta P_{sec.} = 14[m] * 1.165 \left[\frac{kg}{m^3}\right] * 9.81 \left[\frac{m}{seg^2}\right] = 160 [Pa]$$

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{prim.} + \Delta P_{sec.} = 184 [Pa] + 160 [Pa] = 344[Pa]$$

$$\boxed{\Delta P_{total} = 344 [Pa]}$$

- Para tres ventiladores de 550mm de diámetro:

Recalculamos el estrechamiento:

$$Dh = \frac{4 * A}{P} = \frac{4 * \pi * d^2 * 3}{4 * (\pi * d + 3 * d)} = 0.844 [m]$$

2 metros

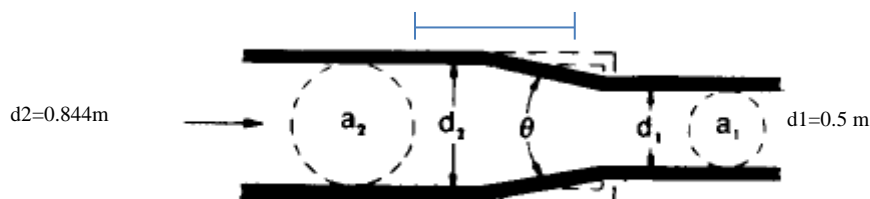


Figura A.53. Esquema estrechamiento a la entrada del túnel para tres ventiladores.

$$\frac{\theta}{2} = \tan^{-1} \frac{(0.844 - 0.5)}{2 * 2} = 4.9$$

$$k_{estrec.} = \frac{0.8 * \text{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right) * (1 - \beta^2)}{\beta^4}$$

Donde β es la relación entre el diámetro menor y mayor:

$$\beta = \frac{0.5}{0.844} = 0.59$$

$$k_{estrec.} = \frac{0.8 * \text{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right) * (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{0.8 * \text{sen}(4.6) * (1 - 0.59^2)}{0.59^4} = 0.345$$

$$h_{estrec.} = 0.345 * \frac{\left(15 \left[\frac{m}{seg} \right] \right)^2}{2 * 9.81 \left[\frac{m}{seg^2} \right]} = 3.96[m]$$

$$h_{total} = h_{codos} + h_{estrec.} + h_{sal.} + h_{ensanc.}$$

$$= 6.88[m] + 3.96[m] + 0.7167[m] + 2.078[m] = 13.6 [m]$$

$$\Delta P_{sec.} = 13.6[m] * 1.165 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 9.81 \left[\frac{m}{seg^2} \right] = 155 [Pa]$$

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{prim.} + \Delta P_{sec.} = 184 [Pa] + 155 [Pa] = 340 [Pa]$$

$$\boxed{\Delta P_{total} = 340 [Pa]}$$

Anexo 8: Especificaciones de cinta transportadora

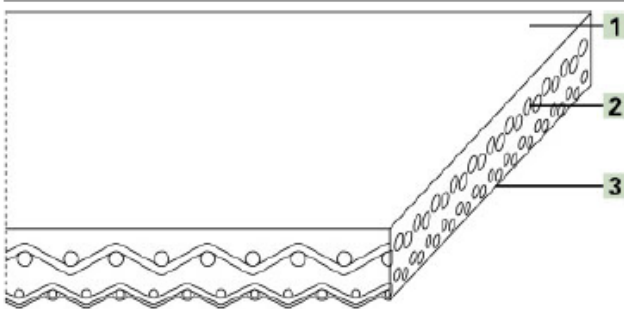
Habasit Product Data Sheet F-5EQWT 05



Product Designation

Product Group:	TPU food conveyor and processing belts
Product Sub-Group:	Food conveyor belts
Main Industry Segments:	Bakery (biscuit/cookie); Bakery (bread); Cheese; Chocolate/confectionery; Fish processing; Food unwrapped/open; Meat; Poultry; Vegetables
Belt Applications:	Cooling (line) belt; Discharging belt; General conveying belt; Infeed belt; Inspection/control belt; Metering/singulation belt; Packaging belt; Processing belt; Transfer belt; Weighing belt
Special Features:	Easy cleanability; Smooth and pore-free belt surface
Mode of Use/Conveyance:	Horizontal; Inclined

Product Design (enlarged)



Product Construction/Design

1 Conveying Side (Material):	Thermoplastic polyurethane (TPU)
1 Conveying Side (Surface):	Smooth
1 Conveying Side (Property):	Medium-adhesive
1 Conveying Side (Color):	White
2 Traction Layer (Material):	Polyester (PET) fabric
Number of Fabrics:	Thermoplastic polyurethane (TPU)
3 Running Side/Pulley Side (Material):	Polyester (PET) fabric
3 Running Side/Pulley Side (Surface):	Impregnated fabric
3 Running Side/Pulley Side (Color):	White

Product Characteristics

Slider bed suitable:	Yes
Carrying rollers suitable:	Yes
Power turns, curved installations:	No
Nosebar suitable:	Yes
Low noise applications:	No
Antistatically equipped:	No
Metal detector suitable:	Yes
Flammability:	No specific flammability prevention property
Food suitability FDA:	Yes - acc. to 21CFR parts 170 - 199. Contact your Habasit representative for detailed information.
Food suitability USDA:	USDA AMS meat and poultry; compliance with standard NSF/ANSI/3-A 14159-3. Certification is valid only if belt edges are sealed and cleats/v-guides etc. meet the standard. Contact your Habasit representative for detailed information.
Food suitability EU:	Yes - acc. to Regulation (EC) No. 1935/2004 and Regulation (EU) No 10/2011 as amended. Contact your Habasit representative for detailed information.

Technical Data

Thickness:	1.2 mm	0.05 in.
Mass of belt (belt weight):	1.3 kg/m ²	0.27 lbs./sq.ft
Nosebar Radius (minimum):	2 mm	0.08 in.
Pulley diameter (minimum):	15 mm	0.6 in.
Pulley diameter minimum with counter flexion:	20 mm	0.8 in.
Tensile force for 1% elongation (k1% static) per unit of width (Habasit Standard SOP3-155 / EN ISO21181):	9.5 N/mm	54 lbs./in.
Tensile force for 1% elongation after relaxation (k1% relaxed) per unit of width (Habasit Standard SOP3-155 / EN ISO 21181):	6.5 N/mm	37 lbs./in.
Admissible tensile force per unit of width:	13 N/mm	74 lbs./in.
Operating temperature admissible (continuous):	Min -30 °C Max 80 °C	Min -22 °F Max 176 °F
Coefficient of friction on slider bed of pickled steel sheet:	0.20 [-]	0.2 [-]
Seamless manufacturing width:	4000 mm	157 in.

All data are approximate values under standard climatic conditions: 23°C/73°F, 50% relative humidity (DIN 50005/ISO 554), and are based on the Master Joining Method.

Additional Technical Information

Chemical Resistance Class:	6 (These indications are not guarantees of properties)
Installation and Handling Instructions:	Do not go below initial elongation (epsilon) ~ 0.3%; Install the slack belt and tension until running perfectly under the full belt load.
Limitations:	If High Frequency (HF) system is used check belt heating; Not suitable for wet operations combined with increased temperatures and with extreme greasy and oily conditions.; Use cleaning agent as prescribed by the machine or cleaning agent manufacturer.; This product has not been tested according to ATEX standards (atmospheres with explosion risk - ATEX 95 regulation or EU directive 94/9) and therefore is subject to user's analysis in the respective environment.

Storage

For details consult 'Storage and handling requirements for belts and machine tapes' or contact Habasit. Protect belts from sunlight/UV-radiation/dust and dirt. Store spare belts in a cool and dry place and if possible in their original packaging.

Legend

*	No calculation Value
2)	Product containing different coating materials such as elastomer, natural fibers, silicones, etc., are not subject to the directive 2002/72/EC
3)	CLA: Coordination of the centre line-average value Ra (in the US also Arithmetical Average (AA)) to the maximum peak to valley height Rt for surfaces manufactured by chip removal.
8)	Due to high coefficient of friction of running/pulley side, the suitability for use on slider beds is limited German federal institute for risk assessment (Bundesinstitut fuer Risikobewertung)
EEC	European Economic Community
EU	European Union (Directive 2002/72/EC)
FDA	Food and Drug Administration
NA	Not available
NAP	Not applicable
USDA	United States Department of Agriculture (Food Safety and Inspection Service, Washington D.C.)