



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

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA MECÁNICA**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS TÉRMICO DEL PROCESO DE SECADO DE GELATINA  
PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA EN LA EMPRESA  
PRODEGEL S.A.”**

---

**Autora:** Wendy Elizabeth Acosta Castro

**Tutor:** Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda

**AMBATO - ECUADOR**

**Septiembre – 2022**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Mecánica, con el tema: “**ANÁLISIS TÉRMICO DEL PROCESO DE SECADO DE GELATINA PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA EN LA EMPRESA PRODEGEL S.A.**”, elaborado por la Srta. Wendy Elizabeth Acosta Castro, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805129259, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2022



.....  
**Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda**  
**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Wendy Elizabeth Acosta Castro, con C.I. 1805129259 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS TÉRMICO DEL PROCESO DE SECADO DE GELATINA PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA EN LA EMPRESA PRODEGEL S.A.”**, así como también los gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del presente proyecto, a excepción de la referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2022



.....

**Wendy Elizabeth Acosta Castro**  
**C.I. 1805129259**  
**AUTORA**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.

Ambato, septiembre 2022



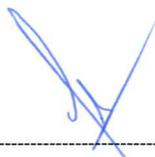
.....  
**Wendy Elizabeth Acosta Castro**  
**C.I. 1805129259**  
**AUTORA**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Wendy Elizabeth Acosta Castro de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“ANÁLISIS TÉRMICO DEL PROCESO DE SECADO DE GELATINA PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA EN LA EMPRESA PRODEGEL S.A.”**.

Ambato, septiembre 2022

Para constancia firman:



---

**Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna**  
**Miembro Calificador**



---

**Ing. Mg. Jorge Enrique López Velástegui**  
**Miembro Calificador**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico a Dios, por darme fuerzas, no solo en mi vida estudiantil sino en todos los aspectos de mi vida, porque Dios me ha guiado, cuidado y nunca me ha dejado sola.

A mi hija Victoria, quien con su llegada cambi6 mi vida y me dio una raz6n por quien luchar, por qui6n ser fuerte y por quien seguir adelante.

A mi madre Elcia, por haber luchado para poder culminar mis estudios, porque me ha apoyado y alentado hasta llegar a este punto de mi carrera.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios, por estar conmigo dándome fuerzas y sabiduría, porque sé que si Él mi vida no tendría rumbo y no estuviera donde he llegado, todo es gracias a Dios.

A mi hija porque cada vez que pasaba fuera de casa después me recibía con su hermosa sonrisa, un abrazo y un beso, porque con solo verla sabía que debía ser más fuerte y perseguir mis sueños.

A mi madre quien se esforzó para que mi hermano y yo tengamos un mejor futuro, porque me ha apoyado para yo llegar hasta aquí.

A mi hermano Lucas, por ayudarme y brindarme su apoyo para seguir en el camino de mi vida estudiantil.

A mi esposo Danilo, por brindarme su apoyo, paciencia y por su cariño durante mi periodo de estudiante.

A la empresa PRODEGEL S.A. por haberme abierto sus puertas en especial al Ing. Edgar Medina quien confió en mí para llevar a cabo el presente trabajo.

A la Universidad Técnica de Ambato y la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, porque darne la oportunidad de estudiar en tan honorable Institución. A todos los docentes de la Facultad por compartir sus conocimientos y guiarnos para llegar a ser excelentes profesionales.

Al Ing. Mg. Santiago Cabrera por haberme impartido sus conocimientos, por su paciencia y por todo el apoyo que he recibido de su parte para poder culminar con el presente proyecto.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
GLOSARIO .....	xiv
NOMENCLATURA .....	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos .....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Fundamentación teórica .....	2
1.3.1 Gelatina.....	2
1.3.1.1 Proteínas: .....	3
1.3.1.2 Tipos de gelatina:.....	3
1.3.1.3 Criterios de calidad:.....	4
1.3.1.4 Proceso de manufactura de gelatina: .....	4
1.3.2 El secado:.....	5
1.3.2.1 Consecuencias de la deshidratación:.....	6
1.3.2.2 Métodos de deshidratación de productos agroalimentarios:.....	6
1.3.3 Secadores:.....	7
1.3.3.1 Tipos de secadores:.....	7
1.3.4 Tipos de secadores por convección: .....	8
1.3.4.1 Secadores de estufa:.....	9
1.3.4.2 Secador de túnel:.....	9
1.3.4.3 Secador de túnel con banda transportadora: .....	10
1.3.5 Partes principales constitutivas de un secador de tunel con banda transportadora .....	10
1.3.6 Clasificación de intercambiadores de calor: .....	12

1.3.6.1 Clasificación en función al intercambio de calor respecto al tiempo: ....	13
1.3.6.2 Clasificación en función de la naturaleza de los fluidos con que trabaja el intercambiador: .....	14
1.3.7 Criterios de selección de intercambiadores .....	14
1.3.8 Transferencia de calor:.....	15
1.3.9 Mecanismos de transferencia de calor: .....	15
1.3.9.1 Transferencia de calor por conducción: .....	15
1.3.9.2 Transferencia de calor por convección: .....	16
1.3.9.3 Transferencia de calor por radiación: .....	21
1.3.10 Transferencia de calor en el proceso de secado: .....	22
1.3.11 Primera ley de la termodinámica: .....	23
1.3.12 Balance de energía para sistemas de flujo estacionario:.....	23
1.3.13 Eficiencia térmica: .....	24
1.4 Objetivos: .....	25
1.4.1 Objetivo general:.....	25
1.4.2 Objetivos Específicos: .....	25
CAPÍTULO II .....	26
METODOLOGÍA .....	26
2.1 Materiales .....	26
2.2 Metodología: .....	26
2.2.1 Tipo de investigación.....	26
2.3 Población y muestra .....	27
2.3.1 Población: .....	27
2.3.2 Muestra: .....	27
2.3.3 Descripción de producto y datos técnicos de la cámara de secado:.....	28
2.4 Hipótesis:.....	28
2.5 Identificación y operacionalización de variables: .....	28
2.6 Recolección de información:.....	30
2.7 Procedimiento:.....	30
2.7.1 Procedimiento general para la elaboración del proyecto:.....	31
2.7.2 Procedimiento para determinar los parámetros actuales de operación del secado de gelatina.....	32
2.7.3 Procedimiento para determinar la carga máxima del secador .....	33
2.7.4 Procedimiento para tomar datos de temperatura internas y externas .....	34
2.7.5 Procedimiento para calcular las pérdidas de energía en la cámara de secado.....	35

2.7.6 Procedimiento para determinar la eficiencia del proceso de secado .....	36
2.7.7 Diagrama de flujo para determinar los rangos de operación más adecuados.	37
2.7.8 Proceso para simular la distribución óptima de temperaturas al interior de la cámara. ....	38
CAPÍTULO III .....	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
3.1 Parámetros actuales de operación del secador.....	39
3.1.1 Parámetros de operación del cilindro Votator .....	39
3.1.2 Temperaturas y velocidad del aire en las que trabajó el secador, en cada zona correspondiente. ....	40
3.1.3 Tiempo de secado de la gelatina .....	41
3.1.5 Humedad presente en los fideos de gelatina, correspondiente a cada zona: .....	41
3.2 Determinación de la capacidad máxima del secador.....	42
3.3 Determinación de pérdidas de energía en la cámara de secado: .....	45
3.3.1 Calor perdido por convección natural al exterior de la cámara: .....	45
3.3.3 Pérdidas por radiación: .....	49
3.3.4 Diagrama balance de masa, portadores energéticos .....	50
3.3.5.1 Determinación de la energía aportada por el vapor: .....	51
3.3.5.2 Determinación de la energía utilizada por el aire .....	52
3.3.5.3 Determinación de la energía absorbida por el producto: .....	53
3.3.5.4 Energía empleada para retirar la humedad del producto: .....	53
3.3.6 Calor total de entrada:.....	53
3.3.7 Cálculo de pérdidas no cuantificadas: .....	54
3.3.8 Diagrama de balance de energía .....	54
3.4 Cálculo de eficiencia del proceso de secado: .....	55
3.5 Determinar los rangos de operación más adecuados:.....	58
3.6 Simular la distribución óptima de temperaturas al interior de la cámara. ....	59
CAPÍTULO IV .....	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	70
4.1 CONCLUSIONES.....	70
4.2 RECOMENDACIONES .....	72
ANEXOS .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Proceso de elaboración de gelatina por Gelco [7].....	5
<b>Figura 2:</b> Transporte de agua alimento-fluido [8].....	6
<b>Figura 3:</b> Secador de estufa [8] .....	9
<b>Figura 4:</b> Secador de túnel [8].....	9
<b>Figura 5:</b> Secador de túnel con banda transportadora [9] .....	10
<b>Figura 6:</b> Intercambiadores según su configuración geométrica [11].....	12
<b>Figura 7:</b> Intercambiadores según la naturaleza del fluido [11] .....	14
<b>Figura 8:</b> Mecanismos de transferencia de calor [13].....	15
<b>Figura 9:</b> Proceso general para la elaboración del proyecto .....	31
<b>Figura 10:</b> Proceso para obtención de los parámetros actuales de operación del secador .....	32
<b>Figura 11:</b> Procedimiento para determinar la carga máxima del secador.....	33
<b>Figura 12:</b> Procedimiento para tomar datos de temperaturas internas y externas ....	34
<b>Figura 13:</b> Procedimiento para el cálculo de pérdidas de energía .....	35
<b>Figura 14:</b> Procedimiento para determinar la eficiencia.....	36
<b>Figura 15:</b> Procedimiento para obtener los parámetros adecuados del secador .....	37
<b>Figura 16:</b> Procedimiento para simular la distribución del aire en el secador.....	38
<b>Figura 17:</b> Curva promedio de secado [19] .....	42
<b>Figura 18:</b> Curva de secado a 28, 45 Hz [19] .....	59
<b>Figura 19:</b> Asistente de Flow Simulation .....	60
<b>Figura 20:</b> Elección de unidades de trabajo .....	60
<b>Figura 21:</b> Tipo de análisis .....	61
<b>Figura 22:</b> Tipo de fluido .....	61
<b>Figura 23:</b> Parámetros por defecto.....	62
<b>Figura 24:</b> Dominio en 3D .....	62
<b>Figura 25:</b> Selección del material correspondiente.....	63
<b>Figura 26:</b> Condiciones iniciales, velocidad .....	63
<b>Figura 27:</b> Condiciones iniciales, presión.....	64
<b>Figura 28:</b> Velocidad del aire correspondiente en cada zona .....	64
<b>Figura 29:</b> Salida del aire .....	65
<b>Figura 30:</b> Condiciones iniciales.....	65
<b>Figura 31:</b> Seleccionar los recursos de calor .....	66

<b>Figura 32:</b> Generación de calor de cada uno de los radiadores .....	66
<b>Figura 33:</b> Elementos que irradian.....	66
<b>Figura 34:</b> Determinar las fuentes de radiación .....	67
<b>Figura 35:</b> Fuentes de radiación presentes.....	67
<b>Figura 36:</b> Temperatura al interior de la cámara.....	68
<b>Figura 37:</b> Recorrido del aire al interior de la cámara .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Condiciones para determinar el número de Nusselt [12].....	20
<b>Tabla 2:</b> Variable independiente .....	29
<b>Tabla 3:</b> Variable dependiente .....	30
<b>Tabla 4:</b> Parámetros de operación del cilindro rotatorio .....	39
<b>Tabla 5:</b> Temperaturas y velocidad de aire del secador .....	40
<b>Tabla 6:</b> Tiempo de secado de gelatina .....	41
<b>Tabla 7:</b> % de humedad presente en la gelatina [19] .....	41
<b>Tabla 8:</b> Tabla de promedio de humedad de gelatina .....	42
<b>Tabla 9:</b> Resumen capacidades del secador .....	44
<b>Tabla 10:</b> Especificación de diámetros de tuberías .....	44
<b>Tabla 11:</b> Caudal que circula en la tubería.....	45
<b>Tabla 12:</b> Determinación de temperatura de película .....	45
<b>Tabla 13:</b> Propiedades del aire .....	46
<b>Tabla 14:</b> Determinación del número de Nusselt.....	47
<b>Tabla 15:</b> Determinación del coeficiente medio de convección .....	47
<b>Tabla 16:</b> Pérdidas por convección natural .....	48
<b>Tabla 17:</b> Pérdidas por radiación .....	49
<b>Tabla 18:</b> Constantes para determinar el número de Nusselt.....	55
<b>Tabla 19:</b> Número de Nusselt para flujo externo en cilindros .....	56
<b>Tabla 20:</b> Coeficiente de convección y coeficiente medio de convección .....	57
<b>Tabla 21:</b> Energía aprovechada por los radiadores .....	57
<b>Tabla 22:</b> Rangos adecuados de operación .....	58
<b>Tabla 23:</b> Temperaturas según el software .....	69
<b>Tabla 24:</b> Comparación entre datos medidos y datos del software.....	69

## GLOSARIO

**Cilindro votator:** es un intercambiador de calor, además es el encargado de enviar la gelatina mediante un eje con aspas hacia la corneta, en donde la gelatina sale en forma de fideos.

**Fideo de gelatina:** es la gelatina que se obtiene a partir de varios procesos, que al pasar por la corneta le da forma de fideo.

**Humedad del fideo:** se refiere a la cantidad de agua que contiene el fideo de gelatina.

**Carga máxima:** es el peso máximo que puede soportar un equipo o el peso mediante el cual el equipo puede trabajar de forma adecuada.

**Deshidratar:** eliminar agua de cierta sustancia.

**Tanque de expansión:** es depósito que evita que la presión de un sistema se eleve por encima de la presión máxima a la que puede trabajar un sistema.

## NOMENCLATURA

$\dot{q}_{\text{cond}}$ : transferencia de calor por conducción en W

k: conductividad térmica en  $\frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{C}}$

A: es el área de la superficie en  $\text{m}^2$

$\frac{dT}{dx}$  : gradiente de la temperatura en  $\frac{^\circ\text{C}}{\text{m}}$

$\dot{q}_{\text{conv}}$ : transferencia de calor por convección en W

h : coeficiente de convección en  $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$

$T_s$  : temperatura de la superficie en  $^\circ\text{C}$

$T_m$  : temperatura del medio en  $^\circ\text{C}$

$T_p$ : temperatura del película en  $^\circ\text{C}$

$\beta$ : coeficiente volumétrico de expansión térmica en  $^\circ\text{C}^{-1}$

Gr: número de Grashof

g : gravedad en  $\text{m}/\text{s}^2$

$L_C$  : longitud característica en m

$\nu$  : viscosidad cinemática en  $\text{m}^2/\text{s}$

Ra: número de Rayleigh

Pr: número de Prandtl

Re: número de Reynolds

V: velocidad del aire en  $\text{m}/\text{s}$

Nu: número de Nusselt

$\dot{q}_{\text{rad}}$ : transferencia de calor por radiación en W

e: emisividad del material

$\sigma$ : constante de Stefan – Boltzman, correspondiente a  $5,670 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}^4}$

n: eficiencia térmica

h: cantidad de humedad

$m_h$ : masa en producto húmedo

$m_s$ : masa en producto seco

$T_r$  es la temperatura del radiador en °C

$T_c$  es la temperatura circundante en °C

## RESUMEN

Este proyecto nace debido a que en la empresa PRODEGEL S.A. se requiere obtener la eficiencia de un secador de gelatina tipo túnel ya que al momento presenta problemas de humedad en el producto, presentando en algunas ocasiones del día una humedad mayor a la requerida y en otras un porcentaje de humedad menor.

Se utilizó el método experimental y se recolectó los parámetros con los que trabajaba el secador, en donde se obtuvo el valor de humedad al 10,3 por ciento a la salida del equipo, esto correspondiente a días en donde el secador trabajó con una carga aproximada de 12 kg/min en producto húmedo, según los datos recolectados se estima que el equipo retira un 57,2 por ciento de humedad del fideo de gelatina, es decir que más de la mitad del producto de entrada fue agua, obteniendo un flujo de gelatina de 5,14 kg/min de producto seco, la banda del secador trabajó con una velocidad de 9,5 cm/min, empleando un total de 3 horas con 32 minutos en salir el fideo para triturarse.

Como resultados se obtuvo un rendimiento del proceso de secado del fideo correspondiente al 56,31 por ciento. Al analizar el fideo de gelatina según el departamento de calidad el fideo debería tener un porcentaje de humedad del 11 por ciento a la salida del secador, y se logró obtener dicho porcentaje al elevar la velocidad de la banda de 9,5cm/min a 11,5 cm/min, obteniendo resultados satisfactorios.

**Palabras clave:** Secador de gelatina, Rendimiento del proceso, Humedad del fideo, Parámetros, Análisis térmico, Proceso de secado.

## ABSTRACT

This project was born because in the company PRODEGEL S.A. It is necessary to obtain the efficiency of a tunnel-type gelatin dryer since at the moment it presents problems of humidity in the product, presenting on some occasions of the day a humidity greater than that required and on others a lower percentage of humidity.

The experimental method was used and the parameters with which the dryer worked were collected, where the humidity value was obtained at 10.3 percent at the exit of the equipment, this corresponding to days in which the dryer worked with an approximate load of 12 kg/min in wet product, according to the data collected it is estimated that the equipment removes 57.2 percent of moisture from the gelatin noodle, that is to say that more than half of the input product was water, obtaining a flow of gelatin of 5.14 kg/min of dry product, the dryer band worked with a speed of 9.5 cm/min, using a total of 3 hours and 32 minutes to leave the noodle to be crushed. As a result, a yield of the noodle drying process corresponding to 56.31 percent was obtained. When analyzing the gelatin noodle according to the quality department, the noodle should have a humidity percentage of 11 percent at the exit of the dryer, and this percentage was obtained by raising the speed of the belt from 9.5 cm/min to 11.5 cm/min, obtaining satisfactory results.

**Keywords:** Gelatin dryer, Process performance, Moisture of the noodle, Parameters, Thermal analysis, Drying process

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes investigativos

Para realizar el proyecto se procedió a recopilar información sobre los distintos análisis que se han elaborado en distintas instituciones, sobre el análisis térmico.

El secado de los distintos alimentos es un proceso muy antiguo, destinado a la conservación de los mismos, por ejemplo se secaban desde la antigüedad las carnes al sol añadiéndole sal y de esta manera poder conservarla en buen estado por más tiempo, ya que en esas épocas no existía aún el refrigerador [1].

El secado de forma natural ha sido por muchos años el método más usado, pero de esta forma siempre se esperaba que las condiciones climáticas colaboren con dicho proceso, y es debido a esta dependencia que ha llevado al hombre a crear nuevas formas de deshidratar los alimentos o productos [1].

Es así como en la actualidad existen varios métodos para deshidratar cualquier tipo de producto y el método adecuado dependerá de las necesidades que este procure, de las condiciones en las que se presente y también del presupuesto económico con el que se cuenta para poner en marcha el proceso, debido a que según lo anteriormente mencionado un método presentará mayores beneficios frente a otros [2].

De acuerdo al método que se utilice, el principal objetivo del secado será aumentar la estabilidad del producto es decir es una técnica que permite conservar los productos por un tiempo más prolongado mediante la disminución del agua, debido a que un producto con agua es más propenso a sufrir ciertos cambios no beneficiosos en los mismos, sin embargo durante el proceso de secado el producto es sometido a diferentes cambios como su textura, su color, su sabor e incluso cambios nutricionales que estos pueden aportar, afectando también en la calidad del producto y es ahí la importancia de la elección del método de deshidratación ya que se debería procurar causar un mínimo daño al producto, además de analizar costes y eficacia del proceso [2].

En el trabajo de titulación “Optimización del proceso de secado en pastas alimenticias”, se menciona que el contenido de humedad y la actividad del agua en las pastas alimenticias es un indicador de tener un producto estable y de calidad, es por eso que estos parámetros son muy importantes [3].

## **1.2 Justificación**

Prodegel es una empresa perteneciente al grupo Gelco International, la cual está situada en el km 10 y ½ Vía Baños, es una planta que se dedica a la producción de gelatina.

El presente trabajo de grado se elaboró debido a que en uno de los secadores de la empresa se nota un secado deficiente de gelatina, disminuyendo la productividad de la misma, además que se desea elevar la carga del secador para lo cual se necesita realizar análisis sobre los parámetros que debe cumplir el secador con la finalidad de obtener un producto adecuado.

El secado de gelatina es un proceso muy importante debido a que durante este proceso la gelatina adquiere ciertas propiedades como: dureza, firmeza, y además adquiere una textura quebradiza que facilita su trituración, para ser molida y almacenada para su venta.

Es por ello que los parámetros de secado tales como temperaturas, flujo de aire, presiones, ingreso de vapor son valores muy críticos, debido a que si no se hace una elección idónea se corre el riesgo de perder varios lotes de gelatina por defectos adquiridos durante el proceso de secado.

## **1.3 Fundamentación teórica**

### **1.3.1 Gelatina**

La gelatina es considerada una proteína, cuyo origen proviene tanto de las pieles como de los huesos de algunos animales, como: ganado, cerdo, etc., esto es posible gracias a la extracción de su colágeno [4].

La gelatina también es considerada una sustancia que forma gel y tiene la particularidad de formar largas moléculas y cuando estas se unen se genera una estructura que contiene un porcentaje determinado de agua, según sea el proceso mediante el cual fue obtenida la gelatina. [4]

#### **1.3.1.1 Proteínas:**

Las proteínas son consideradas moléculas orgánicas las cuales contienen diferentes elementos, como: Carbono, Oxígeno, Hidrógeno, Nitrógeno y Azufre en algunos casos [5].

Las proteínas son altamente esenciales en lo que tiene que ver con la estructura y función de las células [5].

#### **1.3.1.2 Tipos de gelatina:**

En resumen existen dos grandes grupo de gelatina:

- Gelatina de origen animal.
- Gelatina de origen vegetal [6].
  
- Gelatina de origen animal:

Este tipo de gelatina es considerada muy nutritiva debido a que puede alcanzar a contener hasta un 90% de proteínas, en el mercado se la puede encontraren polvo o también en forma de hojas, entre sus beneficios se tiene:

- Ayuda a prevenir la osteoporosis.
- Ayuda a mantener una piel firme e hidratada.
- Ayuda en el proceso de la digestión [6].
  
- Gelatina de origen vegetal:

Este tipo consiste en la extracción de gelatina de algunas algas, estas poseen hasta 10 veces más poder gelificante que las de origen animal, su principal uso es para brindarle mayor densidad a salsas y cremas, entre sus beneficios tenemos:

- Controla el colesterol de la sangre.
- Alivia malestares digestivos.
- Gracias a su contenido de macro minerales y oligoelementos cuida el sistema óseo [6].

Dentro de este tipo podemos encontrar la siguiente división:

-Agar-agar: son algas cocinadas que absorben una cantidad de agua considerable.

- Musgo de Irlanda o carragenina: son algas secas o también se lo puede conseguir en forma de: tapioca, Kuzu, etc. [6]

### **1.3.1.3 Criterios de calidad:**

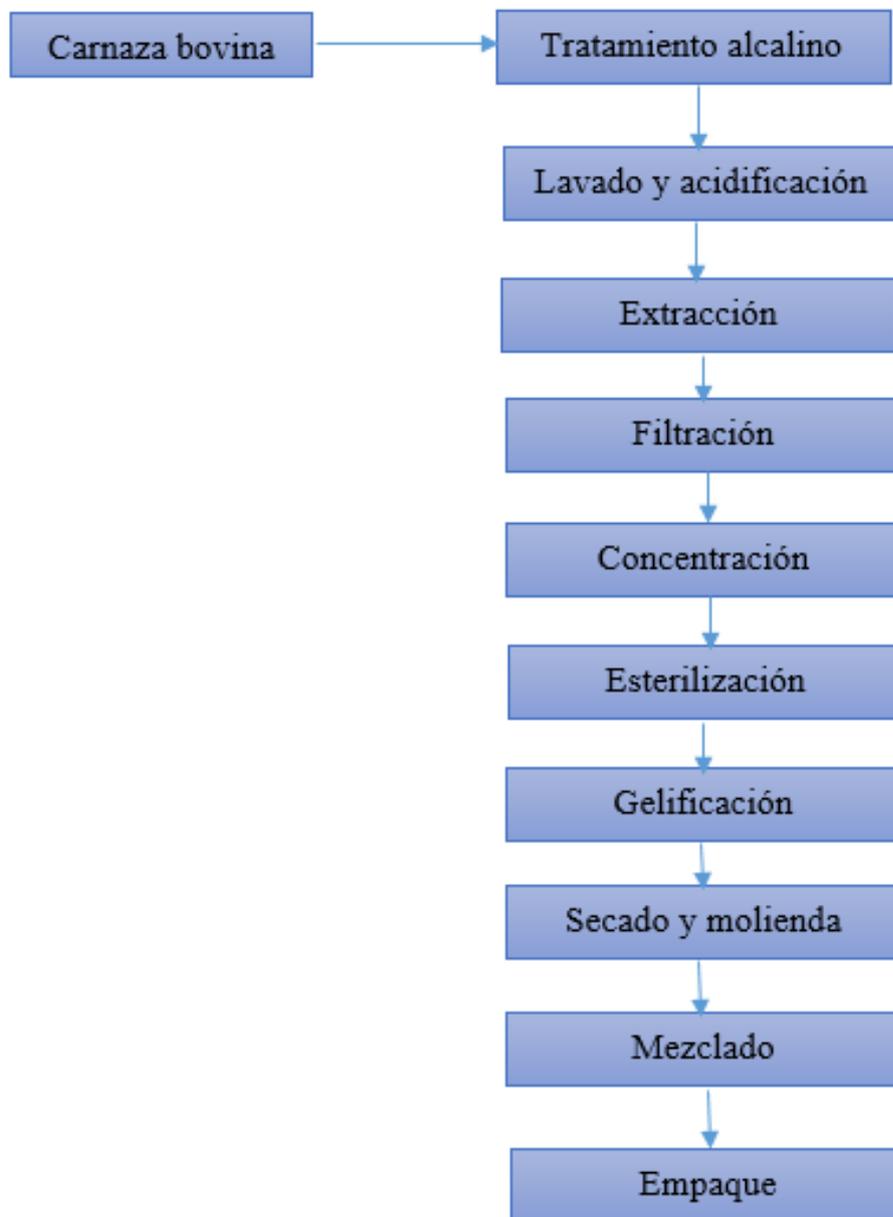
La calidad de la gelatina depende de algunos parámetros, por ejemplo:

- El PH
- Su viscosidad
- Su recuento microbiológico
- Su capacidad de gelificación
- Su humedad
- Su tamaño de grano [6].

### **1.3.1.4 Proceso de manufactura de gelatina:**

La empresa Gelco es capaz de producir gelatina haciendo uso de la piel de ganado vacuno únicamente. Dichas pieles son lavadas y sometidas a un tratamiento alcalino con la finalidad de obtener la solubilidad del colágeno, posterior a esto se acidifica y extrae por hidrólisis con agua caliente, obteniendo un caldo de gelatina que es sometido a procesos de concentración, gelificación, secado y molienda [7].

En la figura 1 se puede observar el diagrama de flujo del proceso de elaboración de gelatina por Gelco. [7]

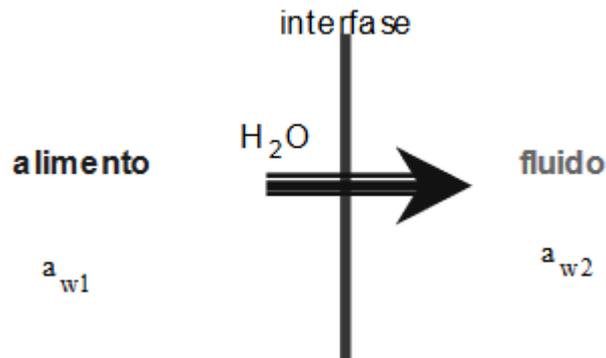


**Figura 1:** Proceso de elaboración de gelatina por Gelco [7]

### 1.3.2 El secado:

Es un proceso utilizado antiguamente con el propósito de mantener los alimentos por una cantidad mayor de tiempo y mediante este proceso se pretende eliminar una determinada cantidad de agua de los productos. Actualmente la deshidratación de alimentos o productos es ampliamente utilizado en las industrias de alimentos a nivel de todo el mundo. En las industrias es más común observar la deshidratación de productos agroalimentarios en estado sólido por lo que se podría decir que el secado

es la transferencia de agua de un sólido a una fase fluida que rodea al producto, como se muestra en la figura 2 [8].



**Figura 2:** Transporte de agua alimento-fluido [8]

### 1.3.2.1 Consecuencias de la deshidratación:

- Reducción del peso del producto.
- Reducción del volumen del producto.
- Reduce los costos de transporte.
- Provoca un cambio de color y textura.
- Se pierden componentes que causan un cambio en el aroma y sabor de los alimentos, debido a las altas temperaturas a las que estos son expuestos.
- Existen pérdidas de componentes nutricionales [8].

### 1.3.2.2 Métodos de deshidratación de productos agroalimentarios:

-Prensado: comprime un sistema de dos fases sólido-líquido, logrando que el líquido salga del sólido, el cual queda retenido en las superficies compresoras [8].

-Centrifugado: separa el líquido del sólido al aplicar una fuerza centrífuga alta produciendo que el líquido se desplace en dirección de la fuerza aplicada [8].

-Deshidratación por aire caliente: también conocida como evaporación superficial, en este método existe una corriente de aire caliente dentro del sistema produciendo que el contenido de agua del producto se evapore [8].

-Liofilización: se logra separa el líquido del sólido por la sublimación, en donde es necesario que el producto este previamente congelado para posteriormente someterse a un proceso en condiciones de vacío [8].

-Absorción: es más utilizada cuando se trata de gases [8].

- Adsorción: este proceso se puede observar cuando se desea eliminar el agua presente en el aire haciendo uso de adsorbentes como por ejemplo: el gel de sílice [8].

-Congelación: se da al congelar un producto que contiene líquido el cual se puede separar una vez que haya sido transformado a sólido [8].

### **1.3.3 Secadores:**

Un secador es aquel equipo encargado de reducir o incluso eliminar la humedad de un producto todo esto se logra por medio de la generación de calor [8].

#### **1.3.3.1 Tipos de secadores:**

- **Secadores convectivos:**

Utilizan gases calientes los cuales están en contacto directo son el sólido-húmedo y transmiten calor por convección y envían los vapores producidos fuera del secador [8].

Dentro de los gases empleados, tenemos:

-Aire calentado por vapor de agua

- Los productos de la combustión.

- Vapor sobrecalentado

- Aire calentado por colectores solares

Este tipo de secadores pueden ser continuo o discontinuos, siendo de menor costo los continuos [8].

- **Secadores por conducción:**

En estos secadores la transmisión de calor se da por conducción al emplear una pared caliente.

Se puede presentar como fuente de calor, los siguientes:

- Agua caliente
- Gases de combustión
- Aceites térmicos
- Resistencias eléctricas

Este tipo permite recupera el disolvente y se emplean donde las presiones son reducidas, empleado para deshidratar productos que son oxidables. Estos secadores funcionan tanto en régimen continuo como discontinuo [8].

- **Secadores por radiación:**

Estos utilizan la energía radiante para evaporar la humedad en un producto. Esta energía proviene por medio de infrarrojos o por medio de refractarios, los cuales son calentados con gas, haciendo que ese tipo de secado sea muy costoso [8].

- **Secadores dieléctricos:**

Los secadores dieléctricos forman un campo eléctrico de alta frecuencia, provocando una gran agitación de moléculas en el interior del producto, generando calor y dando paso a la evaporación del agua contenida [8].

### **1.3.4 Tipos de secadores por convección:**

Este tipo de secadores son los más comunes dentro de las industrias y sus partes principales son: recinto, sistema de calefacción y el sistema de impulsión del aire [8].

### 1.3.4.1 Secadores de estufa:

Es un sistema simple en donde el aire de secado es calentado por un quemador en el primer piso y atraviesa por convección natural o forzada el segundo piso en donde se encuentra el producto que se desea secar, como se puede observar en la figura 3 [8].

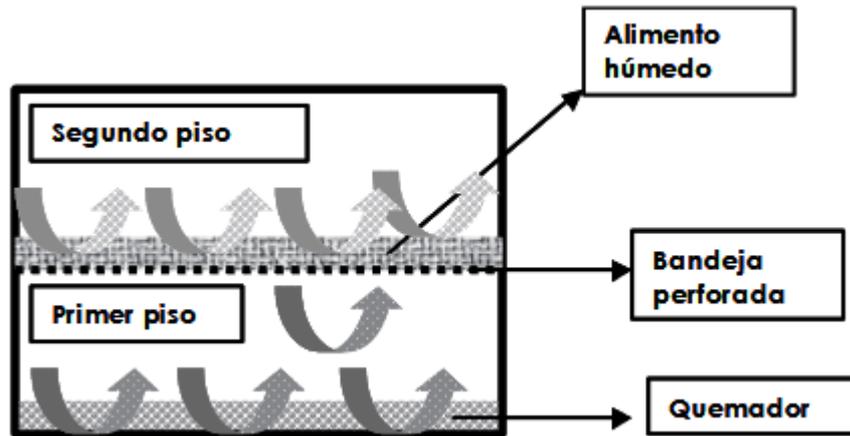


Figura 3: Secador de estufa [8]

### 1.3.4.2 Secador de túnel:

Son secadores semejantes a los secadores por bandejas y son muy comunes en la deshidratación de alimentos, pueden configurarse ya sea en paralelo y contracorriente y funciona gracias a un mecanismo de rieles que mueven carretillas a lo largo de la cabina por lo que se considera un proceso semicontinuo, como se puede apreciar en la figura 4 [8].

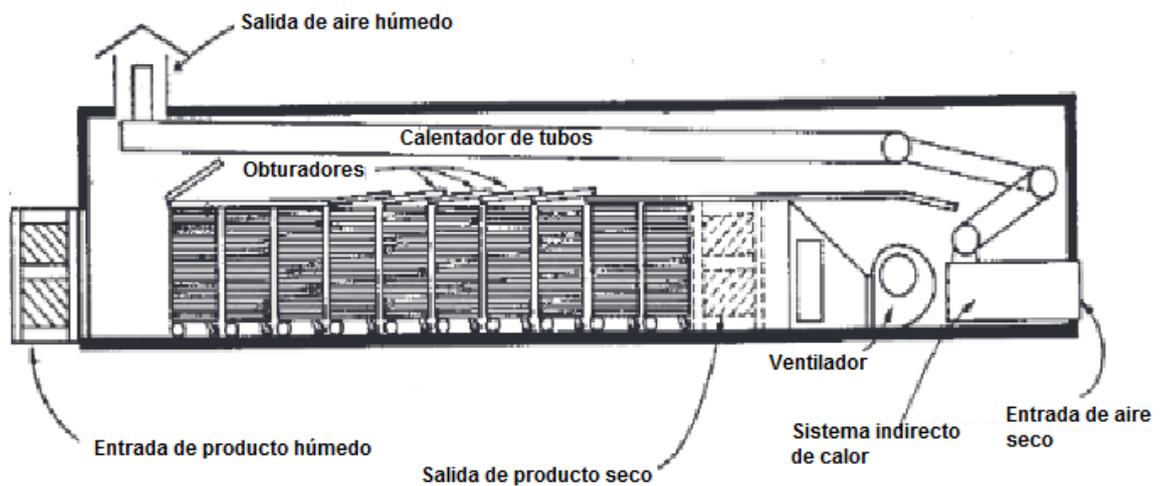
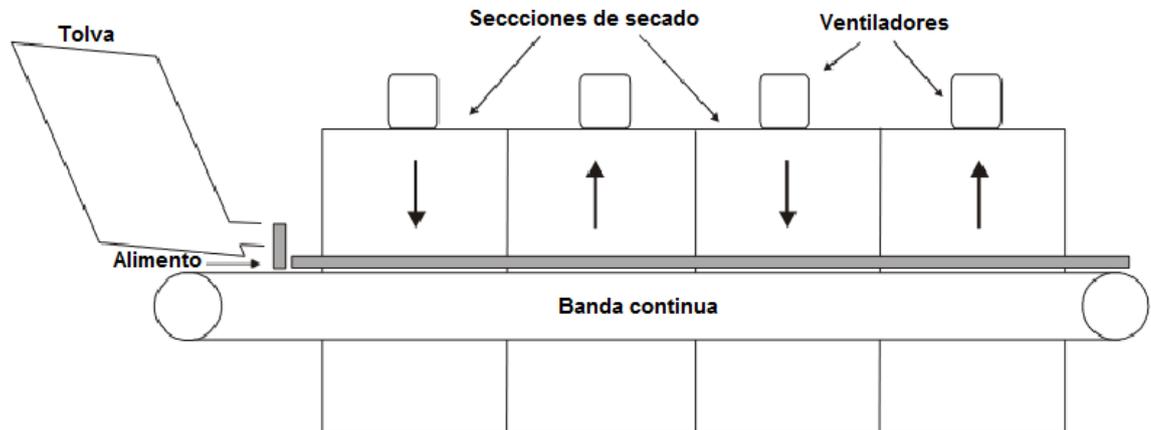


Figura 4: Secador de túnel [8]

### 1.3.4.3 Secador de túnel con banda transportadora:

En este tipo de secador el movimiento del producto se logra gracias a una banda transportadora accionada mediante motores, su configuración más habitual es la conocida como flujo transversal de aire [9].



**Figura 5:** Secador de túnel con banda transportadora [9]

### 1.3.5 Partes principales constitutivas de un secador de tunel con banda transportadora

Un tunel de secado de flujo continuo generalmente está compuesto por los siguientes elementos [10]:

- **Cámaras de secado**

La cámara de secado constituye toda la estructura física del secador es decir constituye el límite en donde se efectuará la deshidratación del producto [10].

- **Ventiladores**

Son dispositivos o equipos que son destinados para generar movimiento a un fluido ya sea un gas o aire mediante un rodete que sirve como impulsor. El ventilador está compuesto por un orificio de aspiración y otro de impulsión, además este se acciona gracias a un motor eléctrico [10].

- **Vapor o agua caliente:**

Para la generación de una fuente de calor como el vapor es necesario una caldera en donde el agua eleva su presión y su temperatura hasta llegar a una temperatura de 171,82°C y una presión de 105,3 Psi. La generación de vapor viene siendo un aspecto muy importante dentro de un secador debido a que si el vapor no contiene la suficiente temperatura el proceso resulta ineficiente [10].

- **Controlador de temperatura**

Es un dispositivo el cual mantiene y regula cierta temperatura dentro de un sistema [10].

- **Banda transportadora**

Una banda transportadora se considera un sistema de transporte en donde se puede emplear distintos tipos de bandas para trasladar el producto de un lugar a otro, en este la banda transporta el producto desde el inicio del secador hasta el final del mismo [10].

- **Trampas de vapor**

Una trampa de vapor es un dispositivo en donde su objetivo es dar paso a los condensados y evitar que el vapor se escape [10].

- **Intercambiadores de calor**

Un intercambiador de calor es un equipo en donde dos fluidos transfieren energía con el objetivo de enfriar o calentar uno de los dos, utilizando el otro como un foco de calor o frío [10].

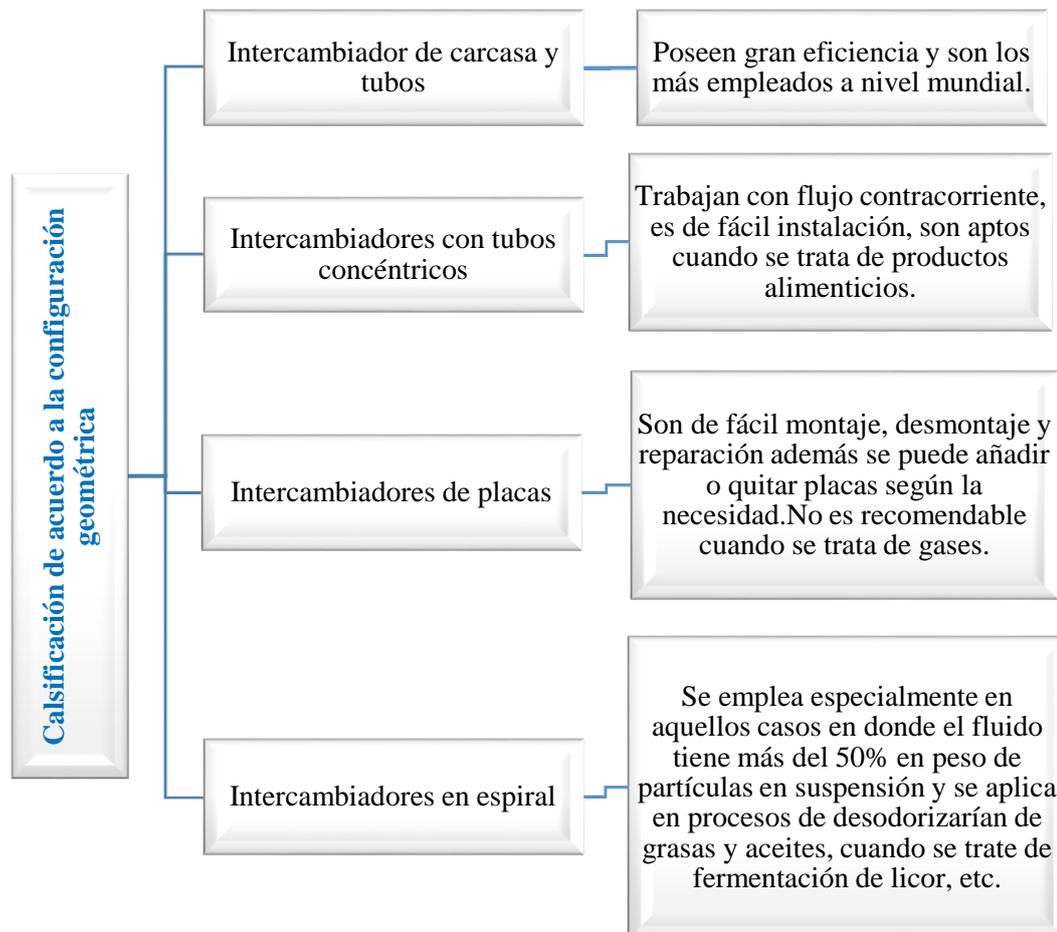
### 1.3.6 Clasificación de intercambiadores de calor:

Cuando se trata de clasificación de los intercambiadores de calor, existen dos criterios de clasificación:

- En función de la forma en que se realiza la transferencia de calor respecto al tiempo.
- En función de la naturaleza de los fluidos con que trabaja el intercambiador.

[11]

Y esta clasificación parte de acuerdo a la configuración geométrica de los intercambiadores:



**Figura 6:** Intercambiadores según su configuración geométrica [11]

### **1.3.6.1 Clasificación en función al intercambio de calor respecto al tiempo:**

Se clasifican en dos grupos:

1. Intercambiadores de calor recuperadores

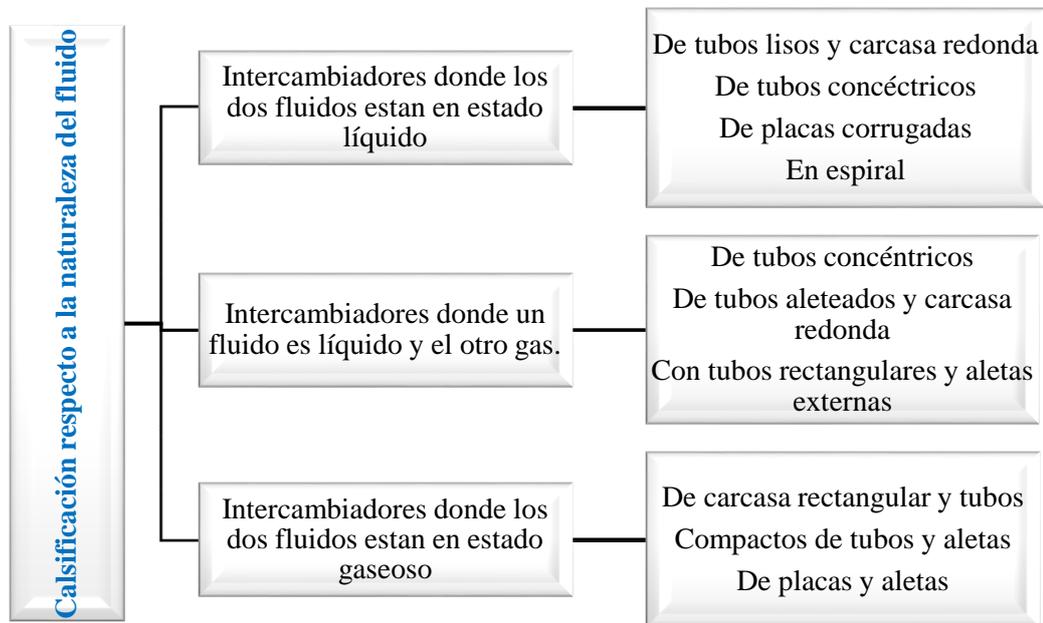
Son aquellos en donde los fluidos circulan en zonas diferentes, es decir sin mezclarse y el calor se transfiere desde el fluido más caliente al de menor temperatura a través de la pared que los separa. En este tipo de intercambiadores se considera que la temperatura en cualquier punto es constante [11].

2. Intercambiadores de calor regeneradores

Son aquellos en donde la superficie se expone a un fluido caliente adquiriendo calor posterior a esto se somete a un fluido frío para transferir la energía que había absorbido del fluido caliente. Este tipo de intercambiadores tienen aplicaciones especiales como en turbinas de gas, procesos de licuación de gases, etc., con el objetivo de recuperar calores residuales. [11]

Estos dos grupos son intercambiadores de superficie diferentes a los intercambiadores de calor por contacto en donde el calor se transfiere por contacto directo entre el fluido caliente y el frío, es decir estos se mezclan ya sea completa o parcialmente [11].

### 1.3.6.2 Clasificación en función de la naturaleza de los fluidos con que trabaja el intercambiador:



**Figura 7:** Intercambiadores según la naturaleza del fluido [11]

### 1.3.7 Criterios de selección de intercambiadores

Se consideran los siguientes:

1. Naturaleza del fluido: se considera el aspecto más importante debido a que no todos los intercambiadores son aptos para trabajar con líquidos y gases o solo líquidos o gases, esto es debido a que el diseño del intercambiador se basa en el comportamiento que los fluidos tienen [11].
2. La presión de trabajo: este parámetro es debido a que cada intercambiador está diseñado para una presión máxima a la que podría trabajar [11].
3. Temperaturas: Los intercambiadores de calor están contruidos para trabajar en determinados rangos de temperaturas, por lo que es necesario evaluar a que temperaturas serán expuestos, para no causar daños al equipo ni accidentes al personal que este expuesto estos [11].

4. El tamaño: es importante considerar el espacio en donde el intercambiador será instalado, debido a que en ciertos casos existe limitación del área [11].

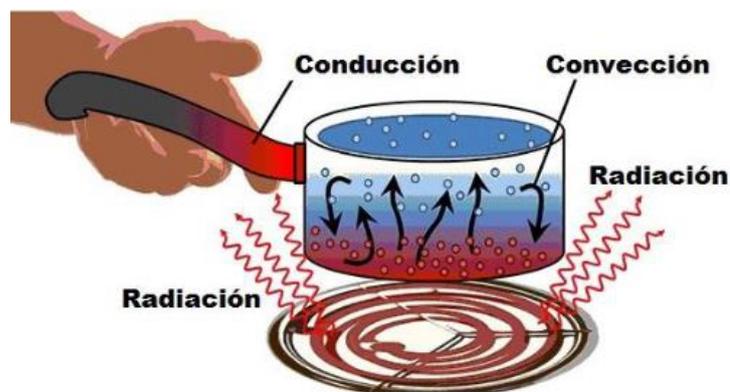
### 1.3.8 Transferencia de calor:

La transferencia de calor es el proceso en el cual existe permutación de energía, en donde el requisito fundamental para que se dé la transferencia de calor es que exista diferencia de temperaturas. [12]

### 1.3.9 Mecanismos de transferencia de calor:

El calor de un sistema se puede transferir a otro mediante tres modos: por conducción, convección y radiación, todos estos modos de transferencia de calor necesitan de la presencia de una diferencia de temperatura y siempre ocurrirá desde el medio de mayor temperatura al de menor temperatura [13].

En la figura 8 se ilustra los diferentes mecanismos de transferencia de calor.



**Figura 8:** Mecanismos de transferencia de calor [13]

#### 1.3.9.1 Transferencia de calor por conducción:

Es el producto del movimiento rápido de un objeto y estas chocan contra las moléculas que tienen menos energía produciéndose así una transferencia de energía de una región de mayor temperatura hacia otra con temperatura menor [13].

La ecuación que representa la transferencia de calor por conducción es la siguiente:

$$\dot{q}_{\text{cond}} = -k * A * \frac{dT}{dx} \quad \text{Ec. 1. 1}$$

Donde:

k: conductividad térmica del material en  $\frac{W}{m * ^\circ C}$

A: es el área de la superficie en  $m^2$

$\frac{dT}{dx}$  : gradiente de la temperatura en  $\frac{^\circ C}{m}$

### **1.3.9.2 Transferencia de calor por convección:**

Este tipo de transferencia ocurre gracias a una fuerza externa que mueve un gran número de moléculas, produciendo el movimiento del fluido, dicha fuerza puede producirse debido a un cambio de densidad como en la convección natural o también debido a diferencia de presiones generada por una bomba o ventilador [13].

Dependiendo el origen del movimiento del fluido, se clasifica en dos tipos:

Convección natural: este tipo de transferencia se da debido a que el movimiento del fluido se da debido al cambio de densidades del fluido, es así como como un fluido con mayor densidad tiende a bajar y uno con menor densidad tiende a subir [13].

Convección forzada: este tipo de transferencia ocurre cuando una fuerza externa como puede ser una bomba o un ventilador, los cuales ocasionan el movimiento de un fluido sobre una superficie sea de mayor o menor temperatura que la del fluido [13].

La ecuación que cuantifica este proceso de transferencia es la siguiente:

$$\dot{q}_{\text{conv}} = h * A * (T_s - T_m) \quad \text{Ec. 2. 1}$$

Donde:

$h$  : coeficiente de convección en  $\frac{W}{m^2 * ^\circ C}$

$A$  : es el área de transferencia de calor en  $m^2$

$T_s$ : es la temperatura de la superficie en  $^\circ C$

$T_m$  : es la temperatura del medio en  $^\circ C$  [14].

El coeficiente de transferencia de calor por convección, se lo determina con el siguiente procedimiento:

Paso 1: Determinación de la temperatura de película. Dicha temperatura es de gran importancia, debido a que a esta temperatura es el determinante para evaluar las propiedades del fluido:

$$T_p = \frac{(T_s + T_m)}{2} \quad \text{Ec. 2. 1. 1}$$

Donde:

$T_s$  corresponde a la temperatura de la superficie en  $^\circ C$

$T_m$  corresponde a la temperatura del medio en  $^\circ C$

Paso 2: Determinación del coeficiente volumétrico de expansión térmica.

$$\beta = \frac{1}{T_p} \quad \text{Ec. 2. 1. 2}$$

En donde:

$\beta$  representa el coeficiente volumétrico de expansión térmica en  $^{\circ}\text{C}^{-1}$

$T_p$  es la temperatura promedio o de película en  $^{\circ}\text{C}$

Paso 3: Cálculo del número de Grashof. El número de Grashof es la fracción entre la fuerza de flotabilidad y la fuerza viscosa que actúa sobre un fluido.

$$\text{Gr} = \frac{g\beta(T_s - T_m)L_c^3}{\nu^2} \quad \text{Ec. 2. 1. 3}$$

Donde:

$g$  representa el valor de la gravedad en  $\text{m/s}^2$

$\beta$  es el coeficiente de expansión volumétrica en  $^{\circ}\text{C}^{-1}$

$T_s$  es la temperatura de la superficie

$T_m$  temperatura del medio

$L_c$  corresponde a la longitud característica en m

$\nu$  es la viscosidad cinemática en  $\text{m}^2/\text{s}$

Paso 4: Determinación del número de Rayleigh. El número de Rayleigh es el producto del número de Grashof y de Prandtl:

$$\text{Ra} = \text{Gr} * \text{Pr} \quad \text{Ec. 2. 1. 4}$$

Paso 5: Obtención del número de Reynolds. Es la razón entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, se expresa como:

$$\text{Re} = \frac{\text{Fuerzas de inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{V * L_c}{\nu} \quad \text{Ec. 2. 1. 5}$$

Donde:

V es la velocidad del aire en m/s

v es la viscosidad cinemática del fluido en  $\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

El número de Reynolds muestra si el flujo es laminar, transitorio o turbulento de acuerdo a las siguientes condiciones, cuando se trata de convección forzada:

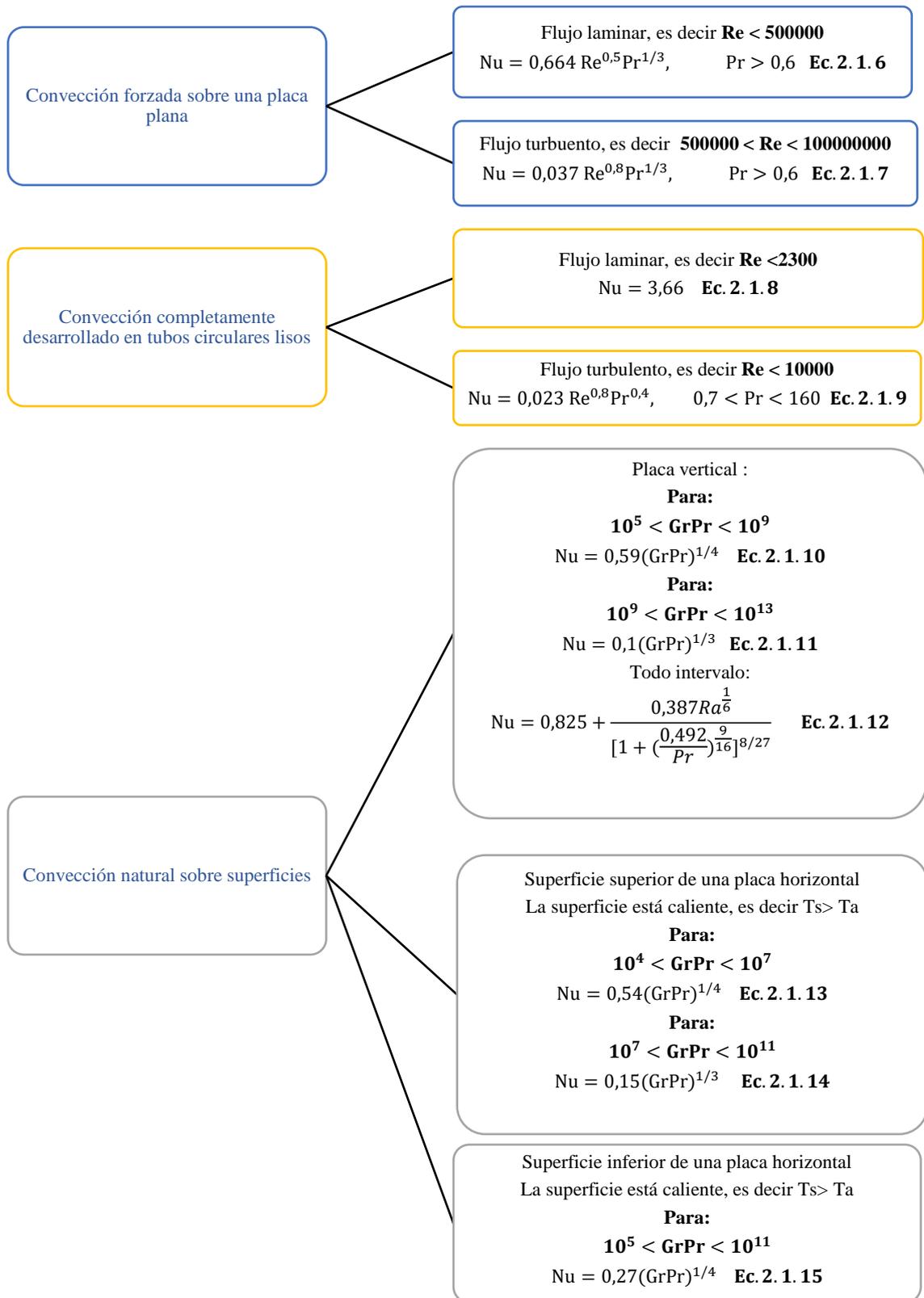
Si  $Re < 2000$  se trata de flujo laminar

Si  $2000 < Re < 4000$  se trata de flujo transitorio

Si  $Re > 4000$  el flujo es turbulento [15]

Paso 6: Cálculo del número de Nusselt. Para determinar el número de nusselt, se debe tener en cuenta las siguientes condiciones, resumidas en la tabla 1

**Tabla 1:** Condiciones para determinar el número de Nusselt [12]



Paso 7: Obtención del coeficiente de transferencia de calor por convección. El número de nusselt representa una mejora de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la relación entre la convección y la conducción a través de la misma capa, se representa de la siguiente forma:

$$Nu = \frac{hL_c}{k} \quad \text{Ec. 2. 1. 16}$$

Donde:

h es el coeficiente de transferencia de calor por convección en  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

$L_c$  representa la longitud característica en m

k representa a la conductividad térmica del fluido en  $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$

De donde se puede despejar la variable buscada h, representada en la siguiente fórmula:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L_c} \quad \text{Ec. 2. 1. 17}$$

### 1.3.9.3 Transferencia de calor por radiación:

Este es un mecanismo de transferencia de calor en donde un cuerpo caliente transfiere a otro más frío mediante el uso de ondas electromagnéticas, por ejemplo es el caso de un microondas. La transferencia de calor por radiación no necesita de un medio material para generarse como es el caso de la convección y conducción [16].

La ecuación que cuantifica el flujo de calor por radiación es:

$$\dot{q}_{rad} = e \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_r - T_c)^4 \quad \text{Ec. 3. 1}$$

Donde:

$\epsilon$  es el valor de emisividad del material, es adimensional y su valor se

encuentra entre 0 y 1

$A$  corresponde al área superficial en  $m^2$

$\sigma$  es la constante de Stefan – Boltzman, correspondiente a  $5,670 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4}$

$T_r$  es la temperatura del radiador en  $^{\circ}C$

$T_c$  es la temperatura circundante en  $^{\circ}C$

### **1.3.10 Transferencia de calor en el proceso de secado:**

En un proceso de secado la transferencia de calor se produce por convección, por conducción y por radiación [17].

Secado por conducción: aquí el producto húmedo o que se desea deshidratar es situado en un recipiente que se encuentra a una alta temperatura al ser calentado externamente y tiene una salida por la cual se elimina el vapor. En este tipo de secadores la velocidad de secado va disminuyendo conforme el producto pierde su humedad debido a que conforme pasa el tiempo disminuye la transferencia de calor de la pared caliente al producto que se está secando [17].

Secado por convección: existe la presencia de un gas caliente el cual es direccionado a la superficie del producto húmedo entregando calor y eliminando el vapor que se ha formado. En el secador la transferencia de calor por convección el coeficiente de transferencia de calor es grande y este no cambia significativamente durante el proceso de secado y aquí la velocidad del secado depende del coeficiente de transferencia de materia, produciéndose dos regímenes de secado:

- Periodo de velocidad constante.
- Periodo de velocidad decreciente [17].

En general se dice que la velocidad depende de la transferencia de calor por lo que se considera que la velocidad de secado de un producto solo puede ser determinada experimentalmente [17].

Secado por radiación: este proceso se basa en la transferencia de energía radiante con el objetivo de evaporar la humedad de un producto [17].

### **1.3.11 Primera ley de la termodinámica:**

“La primera ley de la termodinámica establece que la energía no se crea ni se destruye durante algún proceso, esta solo cambia de forma”. Es decir que cualquier cantidad de energía por pequeña que sea debe justificarse durante un proceso [18].

De aquí que se origina el concepto de balance de energía el cual se expresa como:

$$E_{\text{entrada}} - E_{\text{salida}} = \Delta E_{\text{sistema}} \quad \text{Ec. 4. 1}$$

Es decir que la variación de energía en un sistema durante un proceso es igual a la diferencia que existe entre la energía total que entra al sistema y la energía total que sale del mismo durante dicho proceso [18].

### **1.3.12 Balance de energía para sistemas de flujo estacionario:**

Cuando se trata de sistemas de flujo estacionario se habla de que no existe cambios con respecto al tiempo en un punto en específico, es decir que la cantidad de energía que entra en un volumen de control sea esta manifestada en sus diferentes formas tales como: trabajo, transferencia de masa, calor, etc. debe ser igual a la energía que sale de dicho volumen [12].

En un sistema de flujo estacionario en donde el cambio de energía potencial y cinética es despreciable el balance de energía está representado por la siguiente ecuación: [12]

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T \quad \text{Ec. 5. 1}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T_f - T_0) \quad \text{Ec. 5. 1. 1}$$

Donde:

$\dot{m}$  es el flujo másico del producto a ser calentado en kg/s

$C_p$  corresponde al calor específico del producto en  $\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$

$\Delta T$  corresponde a la diferencia entre la temperatura final y la inicial

### 1.3.13 Eficiencia térmica:

La eficiencia térmica en una máquina térmica se expresa como:

$$\eta = \frac{\text{Salida de trabajo neto}}{\text{Entrada total de calor}}$$

$$\eta = \frac{W_{\text{neto, salida}}}{Q_{\text{entrada}}} \quad \text{Ec. 6. 1}$$

En donde la salida de trabajo neto es:

$$W_{\text{neto, salida}} = Q_{\text{entrada}} - Q_{\text{salida}}$$

Por ende la eficiencia también se puede expresar de la siguiente forma: [18]

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{salida}}}{Q_{\text{entrada}}} \quad \text{Ec. 6. 2}$$

## **1.4 Objetivos:**

### **1.4.1 Objetivo general:**

- Realizar un análisis térmico del proceso de secado de gelatina para determinar su eficiencia en la empresa PRODEGEL S.A.

### **1.4.2 Objetivos Específicos:**

- Especificar los parámetros actuales de operación para el proceso de secado de gelatina.
- Calcular la carga máxima que puede alcanzar el túnel de secado.
- Calcular las pérdidas de energía en la cámara de secado.
- Determinar la eficiencia del proceso de secado.
- Determinar los rangos de operación adecuados.
- Simular la distribución óptima de temperaturas al interior de la cámara.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1 Materiales**

Los materiales que se emplearon para el desarrollo del proyecto fueron equipos disponibles en la empresa para la medición de ciertas variables, tales como:

**Pirómetro:** este dispositivo es capaz de medir la temperatura mediante la radiación y con una increíble velocidad que se podría decir que es instantáneo, haciéndolo práctico para la medición de temperaturas en la estructura del secador, como en paredes, motores, etc.

**Anemómetro:** dispositivo útil para medir la velocidad del aire o el flujo de aire que circula en un conducto o sistema, para el desarrollo del proyecto fue útil para la medición de la velocidad del aire que circulaba por los ductos del secador para posteriormente ser calentado por un intercambiador de calor.

**Sensor de humedad relativa:** es un dispositivo electrónico el cual es capaz de determinar la humedad del aire y su temperatura, el cual se empleó para determinar la humedad y temperatura del aire dentro del secador, durante cada una de las 8 zonas presentes en el mismo.

#### **2.2 Metodología:**

##### **2.2.1 Tipo de investigación**

En el presente trabajo experimental intervienen varias actividades que dependen de los parámetros iniciales de operación de un secador, con la finalidad de obtener una curva de secado eficiente de tal manera que se requiere a estudiar cada parámetro del secador de manera detallada para así lograr un correcto secado del producto, además se requiere determinar la máxima capacidad del secador por lo que se requiere de análisis respectivos, así también se determinará las pérdidas por convección y por conducción del túnel de secado para posteriormente determinar

la eficiencia del proceso de secado haciendo uso del método indirecto. Para llevar a cabo el proyecto se hará uso de las siguientes metodologías:

- El método lógico analítico debido a que se desea analizar el proceso de secado de gelatina, teniendo en cuenta cada uno de los parámetros importantes de este proceso, mediante este método se busca afirmar o no un pensamiento o una idea, esto se debe a que durante el camino de la investigación se aceptarán o anularán ciertas ideas.
- El método experimental debido a que según los datos recolectados se analiza distintas condiciones y parámetros de funcionamiento, para poder encontrar el punto óptimo entre estas variables y obtener un buen secado del producto.
- El método bibliográfico puesto que es necesario el análisis de varias fuentes que aporten con información sobre el presente tema de investigación con la finalidad de obtener fuentes confiables que aporten de manera significativa a la realización del proyecto.

## **2.3 Población y muestra**

### **2.3.1 Población:**

Dentro de la población que se destinó para la realización del proyecto se consideró los dos secadores de la empresa PRODEGEL S.A., los cuales funcionan en la actualidad en la empresa para deshidratar la gelatina, cabe recalcar que los dos secadores tienen un principio de funcionamiento similar pero su estructura es algo diferente.

### **2.3.2 Muestra:**

De los dos secadores presentes en la empresa ya mencionada, se seleccionó al secador número 2 para la realización del estudio, debido a que este secador presentó problemas a la hora de ponerlo en funcionamiento, dando como resultado un producto o gelatina algo húmeda, específicamente se obtuvo datos del secador y producto en aquellos días en donde este trabajó a carga máxima.

### **2.3.3 Descripción de producto y datos técnicos de la cámara de secado:**

#### **2.3.3.1 Descripción del producto:**

Los fideos de gelatina poseen un diámetro aproximado de 2,3 mm, y un largo aproximado de 10 cm, estos entran a una razón máxima de 12 kg/min al secador, con una humedad aproximada del 65% este circula mediante una banda transportadora por el secador con la finalidad de obtener el porcentaje de humedad adecuado para que este pueda ser triturado y empaquetado.

#### **2.3.3.2 Datos técnicos de la cámara de secado:**

La cámara de secado posee una longitud de 22,2 m, 3,5 m de ancho y 4m de altura, se divide en dos pisos y en 8 cuartos llamados zonas, las cuales tienen controladores de temperaturas que ayudan a que cada zona se mantenga en determinadas condiciones.

La cámara de secado está constituida por 8 intercambiadores de calor, ubicados uno en cada zona y 4 motores y ventiladores uno cada 2 zonas, un motor y ventilador a la entrada del aire al secador y un motor y ventilador centrífugo a la salida del túnel de salida del aire.

El secador contiene una banda transportadora de 3m de ancho por donde circulan los fideos de gelatina desde la entrada hasta la salida del secador para posterior a esto ser triturado y molido para su posterior empaquetamiento.

### **2.4 Hipótesis:**

El análisis térmico en la cámara de secado de gelatina permitirá determinar sus niveles de eficiencia.

### **2.5 Identificación y operacionalización de variables:**

#### **2.5.1 Identificación de variables:**

##### **2.5.1.1 Variable independiente:**

Análisis térmico en la cámara de secado

### 2.5.1.2 Variable dependiente:

Niveles de eficiencia del proceso de secado

### 2.5.1.3 Término de relación:

Permitirá

### 2.5.2 Operacionalización de variables:

#### 2.5.2.1 Variable independiente:

Análisis térmico en la cámara de secado

**Tabla 2:** Variable independiente

Conceptualización	Categorías	Indicadores	índice	Técnicas e instrumentos
Un análisis térmico es un conjunto de métodos que nos brindan una ayuda para el estudio del comportamiento que pueden tener los materiales con relación a su temperatura.	Método Indirecto	Pérdidas de calor presentes en el túnel de secado.	Convección: Perdida por escape de gases. Perdidas por aperturas de puertas. Perdidas por aberturas.	Mediciones de temperaturas internas y externas. Ecuaciones de transferencia de calor Bibliografía
			Conducción: Perdidas por paredes	

#### 2.5.2.2 Variable dependiente:

Niveles de eficiencia del proceso de secado.

**Tabla 3:** Variable dependiente

Conceptualización	Categorías	Indicadores	índice	Técnicas e instrumentos
El nivel de eficiencia significa que tan adecuado se desarrolló un proceso o que tan bien trabaja na máquina térmica.	Eficiencia térmica	Calor que entra a la máquina	% Eficiencia	Ecuaciones de eficiencia. Bibliografías
		Calor útil		

### 2.6 Recolección de información:

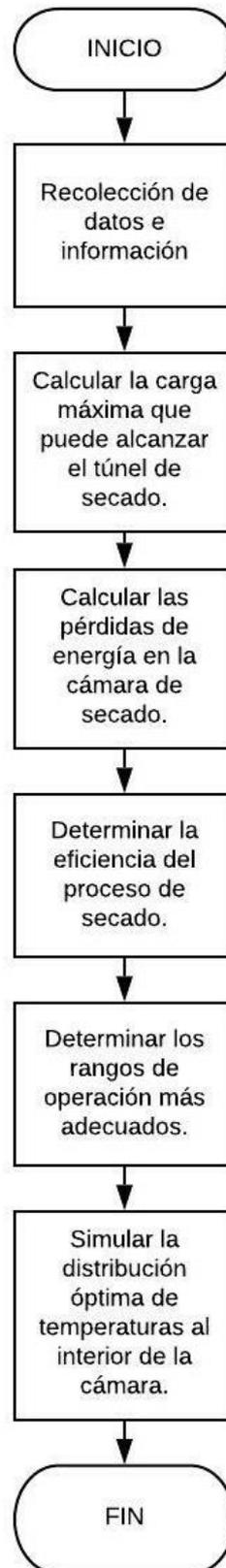
Para la recolección de información se hizo uso de fuentes bibliográficas con lo que tiene que ver con el funcionamiento de secadores y el proceso de transferencia de calor que se da en los mismos así como también las fórmulas que se empleó para los cálculos correspondientes.

Con respecto a los parámetros y condiciones de funcionamiento del secador se realizó visitas a la planta PRODEGEL S.A. con la finalidad de recolectar datos con los que trabajaba el secador en condiciones similares, es decir se recolecto datos cuando el secador trabaja a carga máxima y de esta manera poder relacionar las distintas variables del proceso. Los datos fueron recolectados desde el 29 de septiembre de 2021 hasta el 15 de marzo del año 2022, en días que se trabajó a una misma carga correspondiente a 12 kg/min.

### 2.7 Procedimiento:

Posterior a la recolección de información ya sea bibliográfica y la información obtenida directamente de la empresa mediante tablas para toma de datos, así que para el desarrollo de cada uno de los objetivos se desarrolló las actividades resumidas en los siguientes flujogramas.

### 2.7.1 Procedimiento general para la elaboración del proyecto:



**Figura 9:** Proceso general para la elaboración del proyecto

### 2.7.2 Procedimiento para determinar los parámetros actuales de operación del secado de gelatina



**Figura 10:** Proceso para obtención de los parámetros actuales de operación del secador

### 2.7.3 Procedimiento para determinar la carga máxima del secador



**Figura 11:** Procedimiento para determinar la carga máxima del secador

#### 2.7.4 Procedimiento para tomar datos de temperatura internas y externas



**Figura 12:** Procedimiento para tomar datos de temperaturas internas y externas

### 2.7.5 Procedimiento para calcular las pérdidas de energía en la cámara de secado



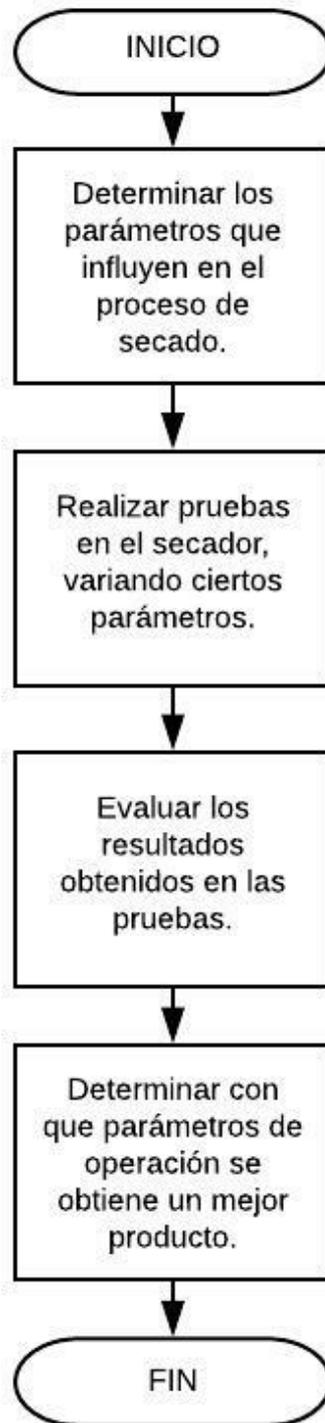
**Figura 13:** Procedimiento para el cálculo de pérdidas de energía

### 2.7.6 Procedimiento para determinar la eficiencia del proceso de secado



**Figura 14:** Procedimiento para determinar la eficiencia

**2.7.7 Diagrama de flujo para determinar los rangos de operación más adecuados.**



**Figura 15:** Procedimiento para obtener los parámetros adecuados del secador

**2.7.8 Proceso para simular la distribución óptima de temperaturas al interior de la cámara.**



**Figura 16:** Procedimiento para simular la distribución del aire en el secador

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Parámetros actuales de operación del secador

##### 3.1.1 Parámetros de operación del cilindro Votator

El cilindro votator para intercambio de calor y suministro de producto al secador, es el equipo encargado de enviar la gelatina mediante un eje con aspas hacia la corneta del mismo en donde la gelatina sale en forma de fideos.

**Tabla 4:** Parámetros de operación del cilindro votator

PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL CILINDRO VOTATOR					
Fecha	Peso fideos (kg/min)	P (bar) ingreso de gelatina al votator	T(°C) fideos	P (psi) tanque de expansión	T(°F) tanque de expansión
29/9/2021	11,3	17	26	27,5	12,5
30/9/2021	12,3	18	26	27,5	12,5
1/10/2021	12,3	17	26	30	15
4/10/2021	12,15	19	25	22,5	7,5
5/10/2021	11,4	20	25	22,5	7,5
6/10/2021	11,1	20	25,5	22,5	7,5
7/10/2021	11,6	19	25,5	25	10
11/10/2021	11,9	20	31	20	5
13/10/2021	11,65	19	31	20	5
15/10/2021	12,3	17	24	25	10
19/10/2021	11,6	20	24	25	10
26/10/2021	11,5	19	28	26	12
9/11/2021	11,3	20	23	17,5	0
11/1/2022	11,8	19	27,5	16	-1
18/1/2022	11,8	19	29,5	15	0

15/2/2022	11,8	19	31	15	0
17/2/2022	11,8	19	31,5	16	-1
22/2/2022	11,8	19	32,5	22,5	7,5
15/3/2022	11,8	20	27	15	0

Dentro de las variables que se tomó en cuenta fueron:

El flujo del fideo: este parámetro tiene que ver con cuanta cantidad de fideo de gelatina húmeda sale del cilindro del votator para posteriormente dirigirse al secador mediante una banda transportadora. Este parámetro varía entre 11 y 12 kg/min.

La presión de ingreso al votator: este parámetro es la presión con que la gelatina ingresa al cilindro. Este parámetro varía entre 17 y 20 bares.

La temperatura de los fideos: este valor trata sobre la temperatura con la que salen los fideos de gelatina del cilindro. Este parámetro varía entre 26 y 33 °C.

Presión del tanque de expansión: es la presión en la que se encuentra el tanque de expansión y trabaja entre 15 a 30 PSI.

Temperatura del tanque de expansión: es la temperatura a la que se encuentra el tanque de expansión y trabaja entre -1 y 13 °F.

### 3.1.2 Temperaturas y velocidad del aire en las que trabajó el secador, en cada zona correspondiente.

**Tabla 5:** Temperaturas y velocidad de aire del secador

# Zona	Temperatura		Velocidad del aire (m/s)
	Temperatura de seteo (°C)	de funcionamiento (°C)	
Zona 1	50	49,1	10,75
Zona 2	55	54,82	5,97
Zona 3	59	58,72	3,54
Zona 4	61	60,87	1,41
Zona 5	63	63,26	4,34
Zona 6	63	62,99	4,82
Zona 7	63	63,02	7,31
Zona 8	63	63,72	10,96

### 3.1.3 Tiempo de secado de la gelatina

**Tabla 6:** Tiempo de secado de gelatina

# Zona	Tiempo (min)		
Zona 1	23		
Zona 2	23		
Zona 3	23		
Zona 4	23		
Zona 5	30		
Zona 6	30		
Zona 7	30		
Zona 8	30		
	<b>212</b>	<b>Tiempo total de secado</b>	<b>3 h : 32 min</b>

### 3.1.5 Humedad presente en los fideos de gelatina, correspondiente a cada zona:

En la siguiente tabla la letra Z significa zona y el número 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8 es el número correspondiente de cada zona.

**Tabla 7:** % de humedad presente en la gelatina [19]

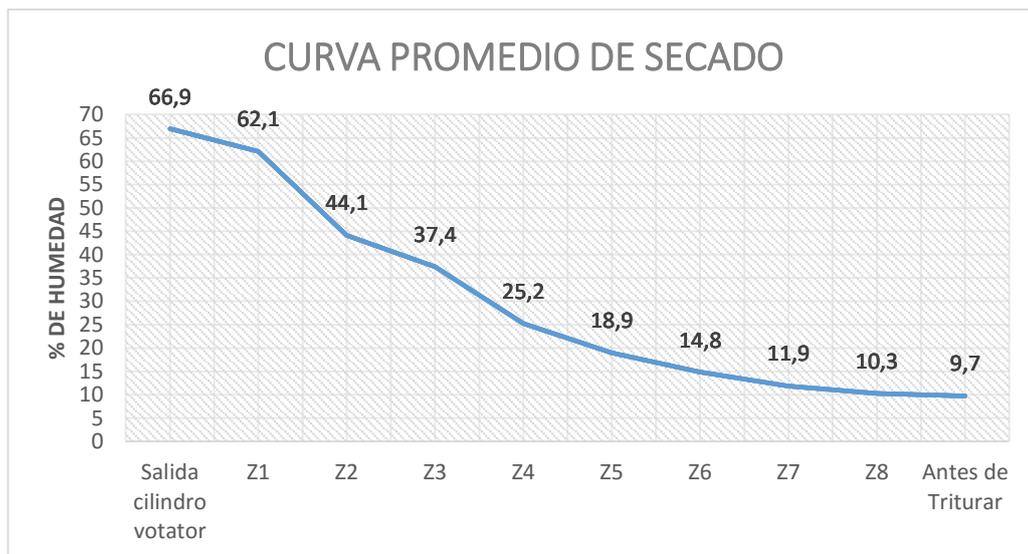
Fecha	Salida Corneta	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Antes de Triturar
15/10/2021	70,2	67,3	52,5	44,4	20,1	18,0	12,5	10,2	9,4	9,2
19/10/2021	67,6	65,1	41,8	33,7	17,1	16,1	12,5	12,0	10,7	10,4
21/10/2021	65,3	59,7	40,4	33,6	23,7	18,2	14,3	13,0	10,9	11,6
26/10/2021	66,1	62,2	45,7	37,3	27,7	22,7	13,0	12,3	10,4	9,6
9/11/2021	66,2	61,1	42,1	40,7	34,7	16,4	15,3	12,0	9,3	9,2
16/11/2021	65,5	58,0	38,0	36,0	29,4	15,1	14,5	10,3	9,2	8,0
18/1/2022	67,4	62,7	38,9	25,1	22,3	19,6	12,8	11,3	10,2	9,1
22/2/2022	67,4	61,0	53,8	48,3	27,0	25,6	23,8	13,9	12,3	10,6

## Promedio:

**Tabla 8:** Tabla de promedio de humedad de gelatina

	Salida cilindro votator	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Antes de Triturar
Humedad	66,9	62,1	44,1	37,4	25,2	18,9	14,8	11,9	10,3	9,7

El secador retira en promedio un 57,2 % de humedad de agua, es decir que más de la mitad del producto que ingreso era agua, obteniendo la siguiente curva promedio de secado:



**Figura 17:** Curva promedio de secado [19]

### 3.2 Determinación de la capacidad máxima del secador

Según la información técnica del secador, este es capaz de producir 140 Kg de gelatina por cada hora, es decir 2,33 kg/min, esto en producto seco, teniendo en cuenta que el secador fue diseñado para eliminar un 69 % de humedad, se procedió a calcular a qué valor corresponde en producto húmedo:

$$\%h = \frac{m_h - m_s}{m_h} * 100 \quad \text{Ec.7.1}$$

$$h = \frac{m_h - m_s}{m_h}$$

$$m_h = \frac{m_s}{1 - h}$$

$$m_h = \frac{2,33 \frac{\text{kg}}{\text{min}}}{1 - 0,69} = 7,06 \text{ kg/min}$$

Esto teniendo en cuenta que fue diseñado para obtener el producto seco en un tiempo total de 2h con 40 minutos, consumiendo un caudal de vapor de 1670 kg/h, es decir que consumía un total de vapor de:

$$2,67h * \frac{1670\text{kg}}{h} = 4458,9 \text{ kg de vapor}$$

En la actualidad el secador trabaja a una carga máxima considerada de 12 kg/min en producto húmedo y según datos evaluados el secador elimina un 57,2 % de humedad, el valor que corresponde en producto seco es de:

$$m_s = m_h(1 - h)$$

$$m_s = \frac{12\text{Kg}}{\text{min}} (1 - 0,572) = 5,136 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

En ese entonces el secador trabajaba durante 3h con 32 min, consumiendo un caudal de vapor de 848 kg/h, es decir que por cada lote de dicho tiempo consumía un total de vapor de:

$$3,53h * \frac{848 \text{ kg}}{h} = 2993,44 \text{ kg de vapor}$$

A continuación en la siguiente tabla se presentó un resumen de la capacidad según las condiciones iniciales y las condiciones con las que se trabaja actualmente:

**Tabla 9:** Resumen capacidades del secador

Parámetros	Según condiciones	Según condiciones
	iniciales	actuales
Flujo de gelatina húmeda	7,06 kg /min	12 kg/min
Humedad que retira	69%	57,2%
Cantidad de gelatina seca	2,33 kg/min	5,14 kg/min
Tiempo de secado por cada lote	2h:40 min	3h:32min
Consumo de vapor por cada lote	4458,9 kg	2993,44 kg

Determinar la capacidad máxima que soporta cada componente del secador:

1. Los radiadores poseen una presión máxima de 71,12 PSI, según la placa correspondiente.
2. Las tuberías del vapor son de los siguientes diámetros a velocidades específicas de diseño, estas deberán soportar la presión de 30 PSI:

**Tabla 10:** Especificación de diámetros de tuberías

Zona	Diámetro(in)	Diámetro(mm)	Velocidad(m/s)
Tubería principal	4	102	25
Zona 1	2 1/2	64	25
Zona 2	2	51	25
Zona 3	1 1/2	38	25
Zona 4	1 1/4	32	25
Zona 5	1 1/2	38	25
Zona 6	1	25	25
Zona 7	1	25	25
Zona 8	1	25	25

Según los datos anteriores se calculó el caudal que circulará por dichas tuberías:

**Tabla 11:** Caudal que circula en la tubería

Zona	Diámetro(in)	Velocidad(m/s)	Flujo másico del vapor (kg/h)
<b>Tubería principal</b>	4	25	848
<b>Zona 1</b>	2 1/2	25	332
<b>Zona 2</b>	2	25	212
<b>Zona 3</b>	1 1/2	25	120
<b>Zona 4</b>	1 1/4	25	83
<b>Zona 5</b>	1 1/2	25	120
<b>Zona 6</b>	1	25	53
<b>Zona 7</b>	1	25	53
<b>Zona 8</b>	1	25	53

Las tuberías están diseñadas para soportar cierta presión máxima, la cual se representa como ejemplo en el anexo 1 según el catálogo de Dipac de tubería cédula 40.

### 3.3 Determinación de pérdidas de energía en la cámara de secado:

#### 3.3.1 Calor perdido por convección natural al exterior de la cámara:

1. Determinar la temperatura de película, correspondiente a cada zona:

**Tabla 12:** Determinación de temperatura de película

<b>TEMPERATURA DE PELÍCULA</b>			
# Zona	Temperatura ambiente Tm (°C)	Temperatura superficie Ts (°C)	Temperatura película (°C)
<b>Z1</b>	23	37,13	30,07
<b>Z2</b>	23	41,02	32,01
<b>Z3</b>	23	35,76	29,38
<b>Z4</b>	23	35,00	29,00
<b>Z5</b>	23	34,42	28,71
<b>Z6</b>	23	34,11	28,56
<b>Z7</b>	23	34,73	28,87
<b>Z8</b>	23	33,04	28,02

2. Determinar las propiedades del aire

**Tabla 13:** Propiedades del aire

<b>PROPIEDADES DEL AIRE (ANEXO 1)</b>						
<b># Zona</b>	<b>Temp. película (°C)</b>	<b>Conductividad Térmica K (W/m*k)</b>	<b>Viscosidad cinemática v (m2/s)</b>	<b>Temp. película (°K)</b>	<b>Núm. de Prandtl Pr</b>	<b>Coficiente volumétrico de expansión térmica (°K^-1)</b>
<b>Z1</b>	30,07	0,02588	0,00001609	303,22	0,78	0,00330
<b>Z2</b>	32,01	0,02602	0,00001627	305,16	0,73	0,00328
<b>Z3</b>	29,38	0,02583	0,00001598	302,53	0,73	0,00331
<b>Z4</b>	29,00	0,0258	0,00001592	302,15	0,73	0,00331
<b>Z5</b>	28,71	0,02578	0,00001587	301,86	0,73	0,00331
<b>Z6</b>	28,56	0,02577	0,00001584	301,71	0,73	0,00331
<b>Z7</b>	28,87	0,02579	0,00001589	302,02	0,73	0,00331
<b>Z8</b>	28,02	0,02573	0,00001576	301,17	0,73	0,00332

3. Calcular el número de Nusselt según la ecuación 2.1.12

Cumple la condición de convección natural para placa vertical:

$$Nu = 0,825 + \frac{0,387Ra^{\frac{1}{6}}}{[1 + (\frac{0,492}{Pr})^{\frac{9}{16}}]^{\frac{8}{27}}}$$

En donde:

$$Ra = Gr * Pr$$

**Tabla 14:** Determinación del número de Nusselt

<b>DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE NUSSOLT</b>						
<b># Zona</b>	<b>Temperatura del medio(°C)</b>	<b>Longitud de configuración geométrica(L)</b>	<b>Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Número de Grashof</b>	<b>Número de Rayleigh</b>	<b>Número de Nusselt</b>
<b>Z1</b>	23	4	0,00001609	1,13039E+11	88396522229	512,22
<b>Z2</b>	23	4	0,00001627	1,40073E+11	1,01917E+11	530,75
<b>Z3</b>	23	4	0,00001598	1,03664E+11	75509134074	482,10
<b>Z4</b>	23	4	0,00001592	98383326353	71672253248	474,11
<b>Z5</b>	23	4	0,00001587	94327552664	68727054871	467,78
<b>Z6</b>	23	4	0,00001584	92153707040	67143190949	464,30
<b>Z7</b>	23	4	0,00001589	96603238477	70375459231	471,34
<b>Z8</b>	23	4	0,00001576	84303879924	61440667689	451,30

4. Determinar el coeficiente medio de convección

**Tabla 15:** Determinación del coeficiente medio de convección

<b>COEFICIENTE MEDIO DE CONVECCIÓN</b>			
<b># Zona</b>	<b>Longitud característica(m)</b>	<b>Coef. de convección(W/m<sup>2</sup>°C)</b>	<b>Coef. medio de convección(W/m<sup>2</sup>°C)</b>
<b>Z1</b>	4	3,314	4,42
<b>Z2</b>	4	3,453	4,60
<b>Z3</b>	4	3,113	4,15
<b>Z4</b>	4	3,058	4,08
<b>Z5</b>	4	3,015	4,02
<b>Z6</b>	4	2,991	3,99
<b>Z7</b>	4	3,039	4,05
<b>Z8</b>	4	2,903	3,87

5. Determinar las pérdidas por convección natural al exterior de la cámara, según la ecuación 2.1

$$\dot{q}_{conv} = h * A * (T_s - T_m)$$

**Tabla 16:** Pérdidas por convección natural

<b>CALOR PERDIDO POR CONVECCIÓN NATURAL AL EXTERIOR DE LA CÁMARA</b>					
<b># Zona</b>	<b>Área de transferencia (m2)</b>	<b>Temperatura del medio(°C)</b>	<b>Temperatura superficie(°C)</b>	<b>Flujo de calor por convección(W)</b>	
<b>Z1</b>	184	23	37,13	8618,40	
<b>Z2</b>	184	23	41,02	11448,90	
<b>Z3</b>	184	23	35,76	7306,63	
<b>Z4</b>	184	23	35,00	6752,09	
<b>Z5</b>	184	23	34,42	6336,30	
<b>Z6</b>	184	23	34,11	6115,45	
<b>Z7</b>	184	23	34,73	6560,96	
<b>Z8</b>	184	23	33,04	5365,20	KW
			Total	58503,92	58,50

$$q_{conv} = 58,50 \text{ KW}$$

### 3.3.3 Pérdidas por radiación:

Para lo cual se empleó la ecuación 3.1

$$\dot{q}_{\text{rad}} = e * A * \sigma * (T_r - T_c)^4$$

Donde:

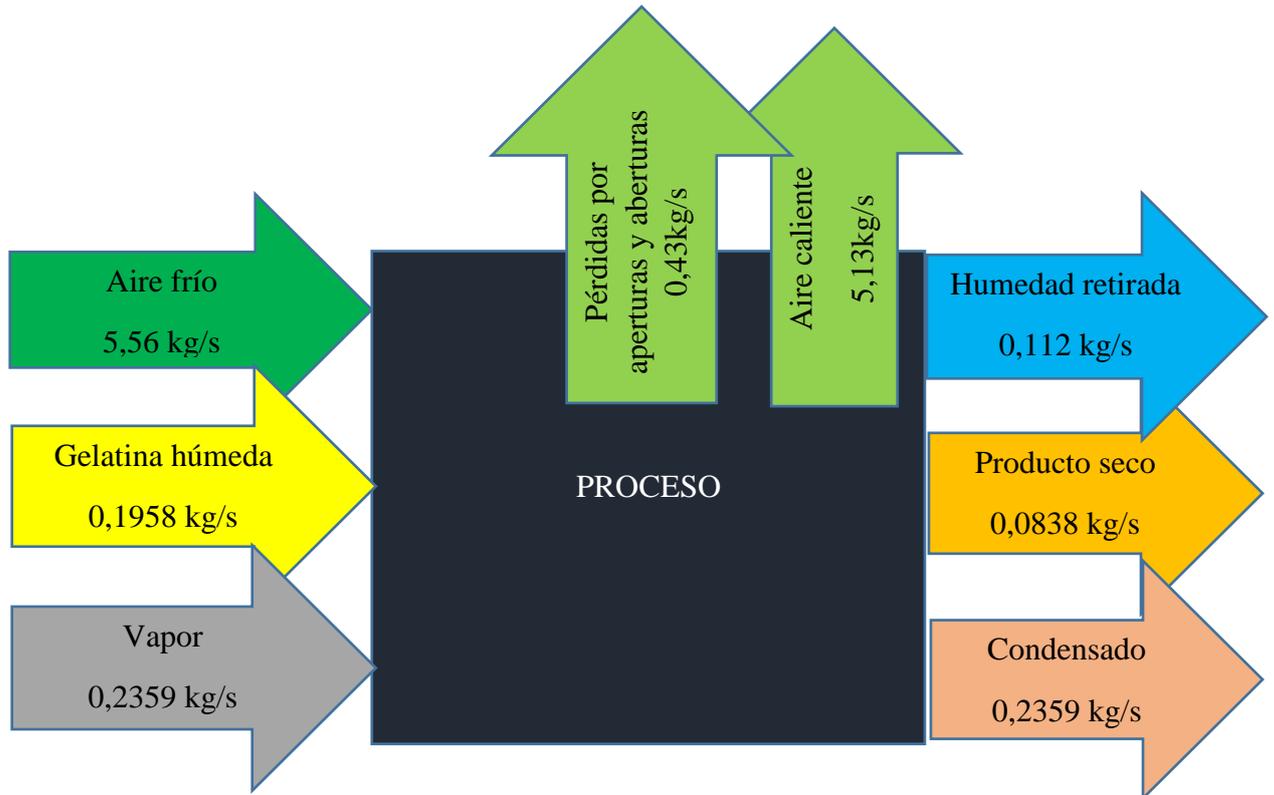
El valor de la emisividad corresponde al valor del acero inoxidable con el que están hechos los radiadores.

**Tabla 17:** Pérdidas por radiación

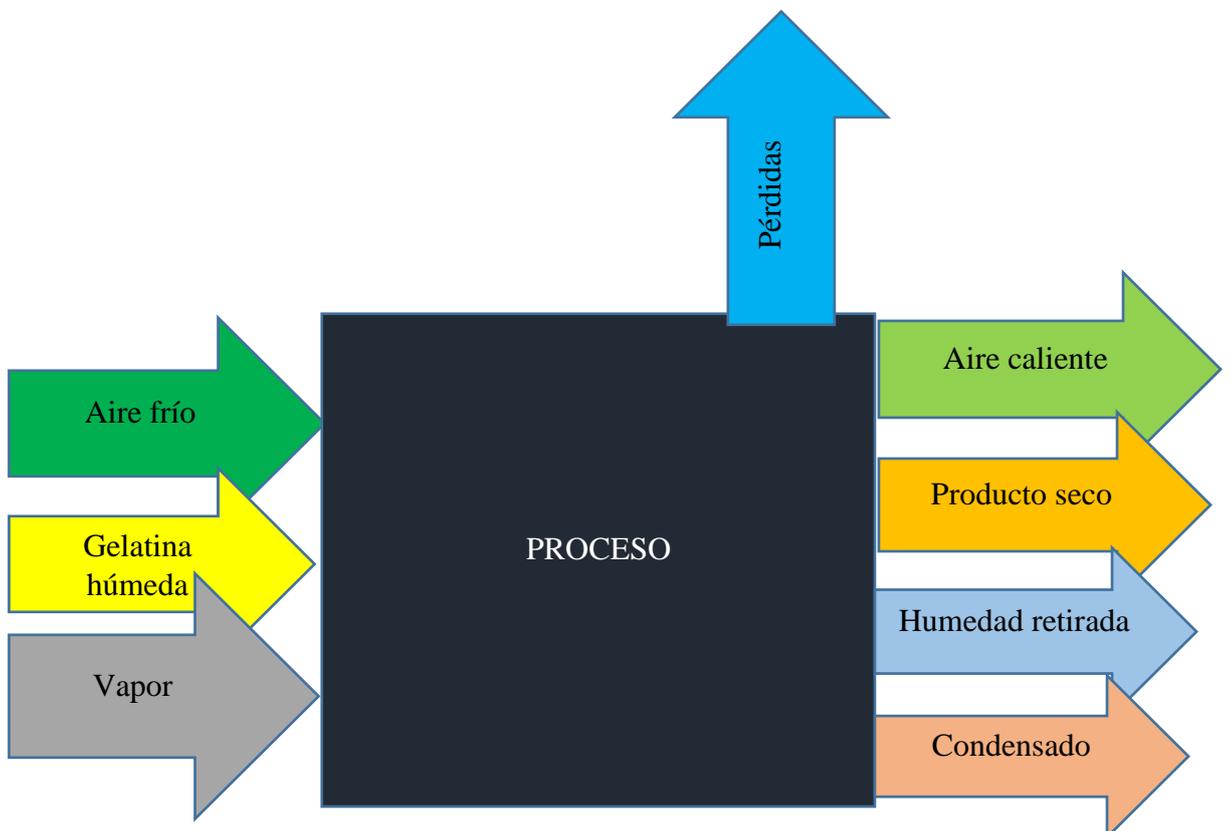
PÉRDIDAS POR RADIACIÓN						
# Zona	Constante (W/(m <sup>2</sup> *K <sup>4</sup> ))	Emisiv.	Variación Temperatura (°K)	Área de transf.(m2)	Flujo de calor disipado por radiación (W)	
Z1	5,67E-08	0,14	4626420165	77,00	2827,79	
Z2	5,67E-08	0,14	3198681475	77,00	1955,12	
Z3	5,67E-08	0,14	2593518918	77,00	1585,23	
Z4	5,67E-08	0,14	2675609068	77,00	1635,40	
Z5	5,67E-08	0,14	257831294,5	77,00	157,59	
Z6	5,67E-08	0,14	2055999167	77,00	1256,68	
Z7	5,67E-08	0,14	4389104217	77,00	2682,73	
Z8	5,67E-08	0,14	519133827	77,00	317,31	KW
					12417,85	12,42

$$\dot{q}_{\text{rad}} = 12,42\text{KW}$$

### 3.3.4 Diagrama balance de masa, portadores energéticos



### 3.3.5 Diagrama de balance de energía global:



$$\dot{E}_e = \dot{E}_s$$

$$\dot{E}_{ae} + \dot{E}_{ve} = \dot{E}_{as} + \dot{E}_{ps} + \dot{E}_{vs} + \dot{E}_H + \text{Pérdidas}$$

### 3.3.5.1 Determinación de la energía aportada por el vapor:

$$(\dot{E}_{ve} - \dot{E}_{vs}) = \dot{Q}_v$$

$$\dot{Q}_v = \dot{m}_v(h_v - h_a)$$

Flujo másico del vapor:

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{V}}{V_{esp}}$$

Se calcula el flujo volumétrico o caudal:

$$\dot{V} = V * A$$

La velocidad permitida en líneas primarias de vapor es de 25 m/s - 60 m/s y en líneas secundarias es de 10 m/s - 25 m/s

El diámetro de la tubería primaria es de 4 pul.

$$\dot{V} = V * A$$

$$\dot{V} = 25 * 0,008 = 0,203 \text{ m}^3/\text{s}$$

El volumen específico:

$$V_{esp} = 0,8605 \rightarrow \text{Por tablas de vapor}$$

Flujo másico:

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{V}}{V_{esp}}$$

$$\dot{m}_v = \frac{0,203 \text{ m}^3/\text{s}}{0,8605 \text{ m}^3/\text{kg}}$$

$$\dot{m}_v = 0,2359 \text{ kg/s}$$

Determinación de entalpías:

Por tablas de vapor se tiene:

$$h_v = 2767,93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow 115\text{psi a temperatura alta cercana a la del distribuidor}$$

$$h_a = 509,08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow 30\text{psi pero es un líquido saturado}$$

Energía de entrada del vapor:

$$\dot{E}_{ve} = \dot{m}_v(h_v)$$

$$\dot{E}_{ve} = 0,2359 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (2767,93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$\dot{E}_{ve} = 652,95 \text{ KW}$$

Energía de salida del condensado:

$$\dot{E}_{vs} = \dot{m}_v(h_a)$$

$$\dot{E}_{vs} = 0,2359 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (509,08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$\dot{E}_{vs} = 120,092 \text{ KW}$$

Energía aportada por el vapor:

$$\dot{Q}_v = \dot{m}_v(h_v - h_a)$$

$$\dot{Q}_v = 532,86 \text{ KW}$$

### 3.3.5.2 Determinación de la energía utilizada por el aire

Energía de entrada del aire:

$$E_{ae} = \dot{m}_{ae}(h_{a \rightarrow 17^\circ\text{C}})$$

$$E_{ae} = 5,56 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (290,15) \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$E_{ae} = 1613,23 \text{ KW}$$

Energía de salida del aire:

$$E_{as} = \dot{m}_{as}(h_{a \rightarrow 63^\circ C})$$

$$E_{as} = 5,13 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (336,15) \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$E_{as} = 1724,45 \text{KW}$$

Energía utilizada para calentar el aire:

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_{ae}(h_{a \rightarrow 63^\circ C} - h_{a \rightarrow 17^\circ C})$$

$$\dot{Q}_a = 5,56 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (336,15 - 290,15) \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_a = 255,76 \text{KW}$$

**3.3.5.3 Determinación de la energía absorbida por el producto:**

$$(E_{ps} - E_{pe}) = \dot{Q}_p$$

$$\dot{Q}_p = \dot{m}_p C_{pp}(T_f - T_0)$$

$$\dot{Q}_p = 0,1958 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 4 \frac{\text{KJ}}{\text{kgK}} * (63 - 23)$$

$$\dot{Q}_p = 31,96 \text{KW}$$

**3.3.5.4 Energía empleada para retirar la humedad del producto:**

$$\dot{E}_H = \dot{m}_p \Delta H_p h_{fg \rightarrow 45^\circ C}$$

$$\dot{E}_H = 0,1958 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (0,572)(2394 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}})$$

$$\dot{E}_H = 268,12 \text{KW}$$

**3.3.6 Calor total de entrada:**

$$\dot{E}_e = \dot{E}_{ae} + \dot{E}_{ve}$$

$$\dot{E}_e = 1613,23 \text{KW} + 652,95 \text{KW}$$

$$\dot{E}_e = 2266,18 \text{KW}$$

### 3.3.7 Cálculo de pérdidas no cuantificadas:

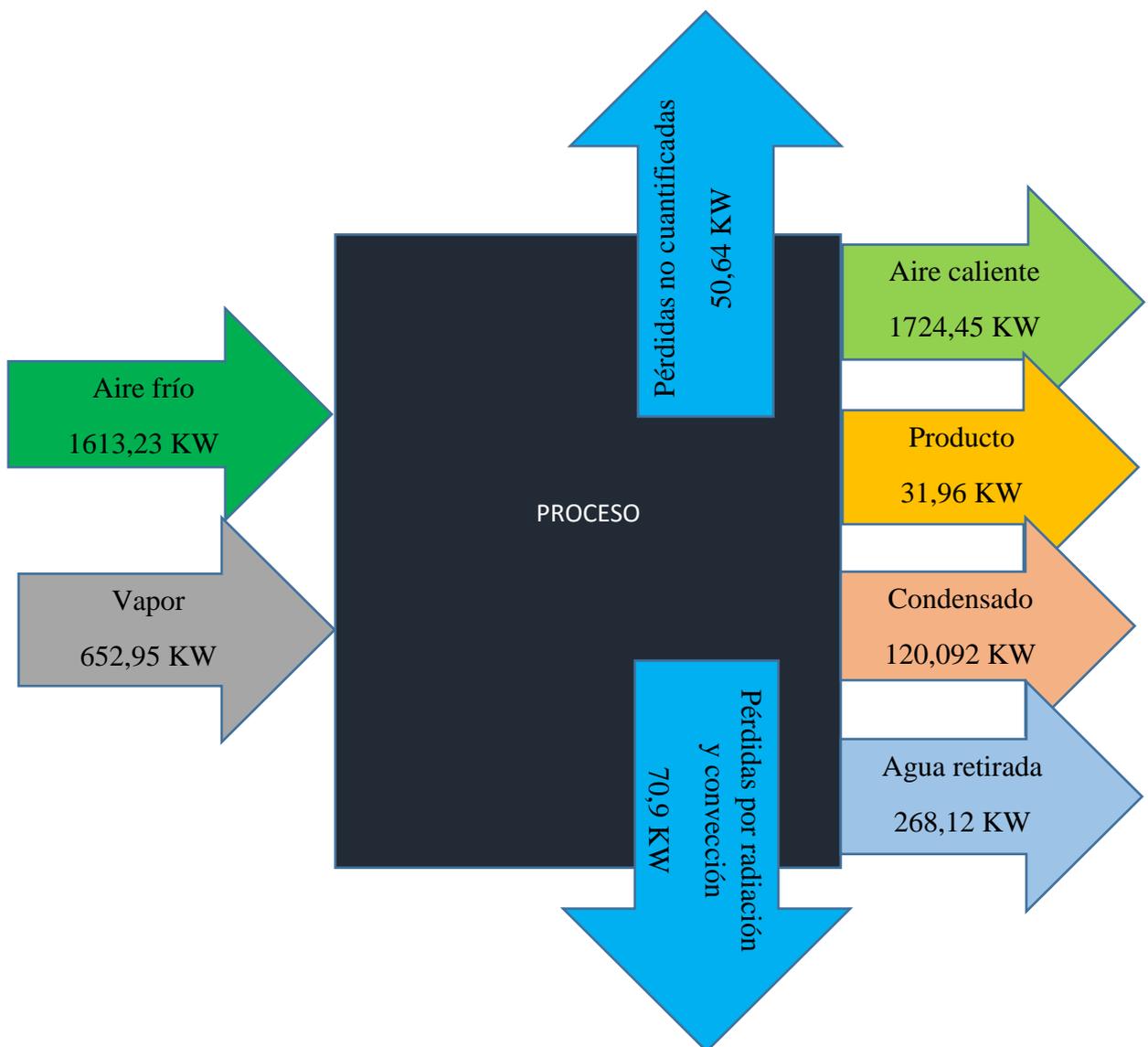
$$\dot{E}_{ae} + \dot{E}_{ve} = \dot{E}_{as} + \dot{E}_{ps} + \dot{E}_{vs} + \dot{E}_H + \text{Pérdidas}$$

$$\dot{E}_{ae} + \dot{E}_{ve} = \dot{E}_{as} + \dot{E}_{ps} + \dot{E}_{vs} + \dot{E}_H + \dot{q}_{conv} + \dot{q}_{rad} + \dot{q}_{p.n.c.}$$

$$2266,18\text{KW} = 1724,45\text{KW} + 31,96\text{KW} + 120,092\text{KW} + 268,12\text{KW} + 58,50\text{KW} \\ + 12,42\text{KW} + \dot{q}_{p.n.c.}$$

$$\dot{q}_{p.n.c.} = 50,64 \text{ KW}$$

### 3.3.8 Diagrama de balance de energía



### 3.4 Cálculo de eficiencia del proceso de secado:

$$n = \frac{\dot{Q}_p + \dot{Q}_H}{\dot{Q}_v} * 100$$
$$n = \frac{31,96\text{KW} + 268,12 \text{ KW}}{532,86\text{KW}} * 100$$
$$n = 56,31 \%$$

#### 3.4.1 Análisis de intercambio de calor en radiadores

-Determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección de flujo externo sobre cilindros:

Las propiedades del aire se determinaron de acuerdo a la temperatura de película:

$$T_p = \frac{(T_s + T_m)}{2}$$

El número de Nusselt, según la relación de Zhukauskas, corresponde:

$$Nu = C * Re^m * Pr^n * \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{1/4}$$

En donde el número de Reynolds Re, corresponde:

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

Siendo D el diámetro de los tubos del radiador

El valor de C y m se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 18:** Constantes para determinar el número de Nusselt

<b>Re</b>	<b>C</b>	<b>m</b>
<b>1 – 40</b>	0,75	0,4
<b>40 – 1000</b>	0,51	0,5
<b>10<sup>3</sup> – 2*10<sup>5</sup></b>	0,26	0,6
<b>2*10<sup>5</sup> – 10<sup>6</sup></b>	0,076	0,7

El valor de la constante n corresponde a 0,37

Según la tabla anterior el número de Nusselt :

$$Nu = 0,26 * Re^{0,6} * Pr^{0,37} * \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{1/4}$$

$Pr_s$  es el número de Prandtl evaluado a temperatura superficial

**Tabla 19:** Número de Nusselt para flujo externo en cilindros

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE NUSSOLT						
# Zona	Temp. superficie (°C)	Temp. del medio (°C)	Diámetro de tubos (D)	Vel. en m/s	Número de Reynolds	Número de Nusselt
Z1	79,60	49,6	0,0127	10,75	7031,93	11,76
Z2	74,80	54	0,0127	5,97	3909,00	8,26
Z3	75,80	59,4	0,0127	3,54	2280,74	6,00
Z4	76,80	60	0,0127	1,41	904,76	3,44
Z5	63,80	62,1	0,0127	4,34	2862,98	6,89
Z6	75,80	63	0,0127	4,82	3077,47	7,18
Z7	88,80	63	0,0127	7,31	4517,62	8,97
Z8	65,40	62	0,0127	10,96	7202,32	11,86

-Determinación del coeficiente de convección:

**Tabla 20:** Coeficiente de convección y coeficiente medio de convección

<b>COEFICIENTE MEDIO DE CONVECCIÓN</b>			
<b># Zona</b>	<b>Diámetro de tubos (m)</b>	<b>Coeficiente de convección(W/m<sup>2</sup>°C)</b>	<b>Coeficiente medio de convección (W/m<sup>2</sup>°C)</b>
<b>Z1</b>	0,0127	26,31	35,08
<b>Z2</b>	0,0127	18,46	24,62
<b>Z3</b>	0,0127	13,52	18,03
<b>Z4</b>	0,0127	7,78	10,37
<b>Z5</b>	0,0127	15,36	20,48
<b>Z6</b>	0,0127	16,26	21,68
<b>Z7</b>	0,0127	20,66	27,55
<b>Z8</b>	0,0127	26,47	35,29

Determinación del rendimiento térmico en radiadores:

**Tabla 21:** Energía aprovechada por los radiadores

<b>ENERGÍA APROVECHADA POR LOS RADIADORES</b>					
<b># Zona</b>	<b>Área de transferencia(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura del medio(°C)</b>	<b>Temperatura superficie(°C)</b>	<b>Flujo de calor por convección(W)</b>	
<b>Z1</b>	80,50	49,6	79,60	84709,87	
<b>Z2</b>	77,00	54	74,80	56178,60	
<b>Z3</b>	77,00	59,4	75,80	44294,67	
<b>Z4</b>	77,00	60	76,80	45375,02	
<b>Z5</b>	77,00	62,1	63,80	4591,52	
<b>Z6</b>	77,00	63	75,80	34571,45	
<b>Z7</b>	77,00	63	88,80	69683,07	
<b>Z8</b>	77,00	62	65,40	9183,04	<b>KW</b>
			<b>Total</b>	<b>348587,25</b>	<b>348,59</b>

$$n = \frac{348,59 \text{ KW}}{532,86 \text{ KW}} * 100$$

$$n = 65,42\%$$

### 3.5 Determinar los rangos de operación más adecuados:

Según el departamento de calidad de la empresa la gelatina debe salir del secador con una humedad del 11%, esta sería la humedad óptima del producto.

Según la figura 17 en la zona 7, es decir a los 167 minutos se obtuvo una humedad del 11,9 % y a los 212 minutos es decir en la zona 8 se obtuvo una humedad del 10,3 % , y se interpoló obteniendo el siguiente resultado:

11% de humedad en la gelatina se obtiene a los 192 minutos

Una vez calculado el tiempo en el que se logra obtener dicha humedad se calculó la velocidad de la banda:

$$V = \frac{e}{t}$$
$$V = \frac{2220\text{cm}}{192\text{min}} = 11,56\text{cm/min}$$

Dicha velocidad corresponde a que la banda debe trabajar a una frecuencia aproximada de 28,45 Hz.

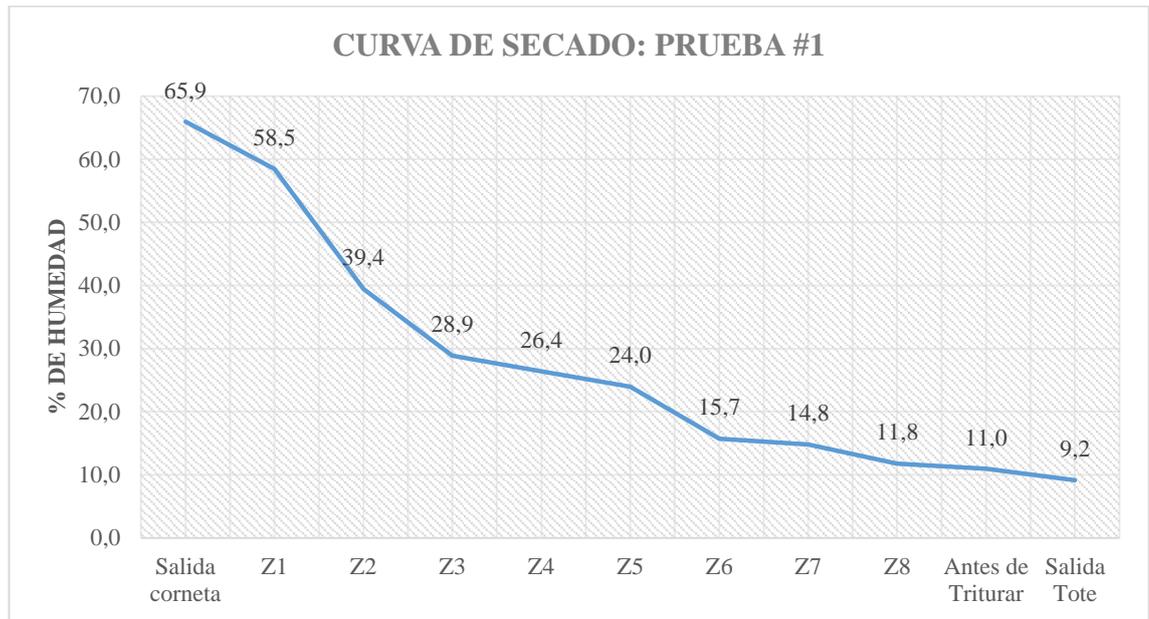
Previo al secador los fideos de gelatina debieron cumplir con ciertos parámetros importantes, esto debido a que estos también influyen en la calidad de secado que obtiene el producto, tales como:

**Tabla 22:** Rangos adecuados de operación

RANGOS ADECUADOS DE OPERACIÓN								
Concentración de gelatina en el fideo:	38-42°Brix							
Viscosidad de la gelatina	30-50 MP							
Presión del tanque de expansión	20-30 PSI							
Temperatura del fideo	25-28 °C							
Humedad del fideo a la entrada del secador	65-66,9%							
Flujo del fideo húmedo máximo	12 kg/min							
Temperaturas de seteo en cada zona (°C)	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
	50	55	59	61	63	63	63	63
Velocidad de la banda	11,56 cm/min							

Dichos datos considerando los equipos con los que trabaja el secador en la actualidad la empresa, tales como motores, ventiladores, radiadores, tuberías, etc.

Se realizó una prueba bajo los parámetros anteriormente mencionados y se obtuvo la siguiente curva de secado:



**Figura 18:** Curva de secado a 28, 45 Hz [19]

-Obteniendo un rendimiento de:

$$n = \frac{\dot{Q}_p + \dot{Q}_H}{\dot{Q}_v} * 100$$

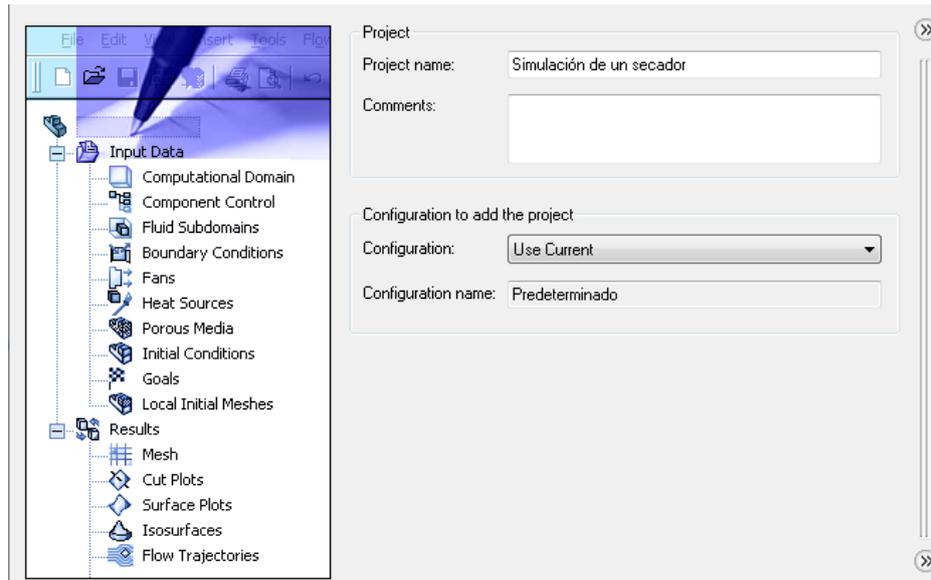
$$n = \frac{31,96KW + 265,78 KW}{532,86KW} * 100$$

$$n = 55,87 \%$$

### 3.6 Simular la distribución óptima de temperaturas al interior de la cámara.

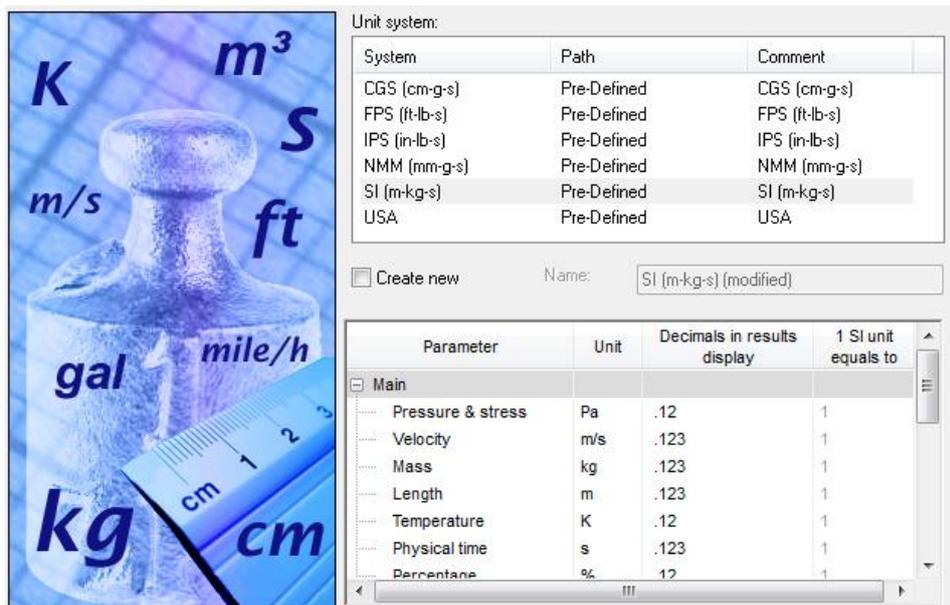
Para esto se empleó el programa solidworks con su herramienta flow simulation.

Una vez abierto el asistente de la herramienta es posible mantener o cambiar el nombre del proyecto.



**Figura 19:** Asistente de Flow Simulation

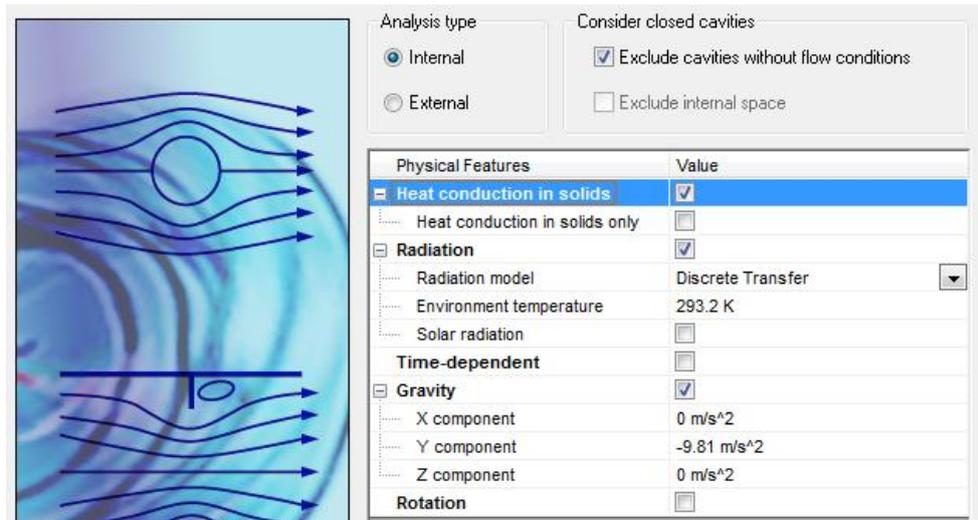
Como siguiente paso se debe seleccionar el sistema con el que se desee trabajar.



**Figura 20:** Elección de unidades de trabajo

-Selección del tipo de análisis:

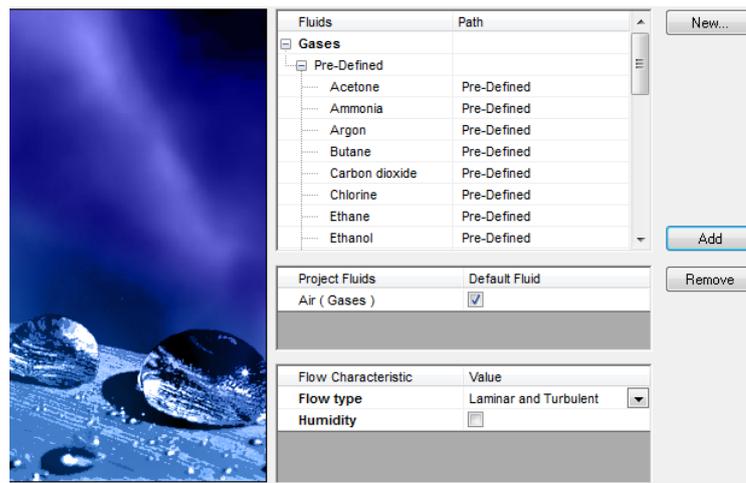
En este caso fue un análisis interno y se escoge las características físicas para la simulación, en donde se activó las opciones de Radiation para el análisis de radiación y la opción Gravity para el análisis de convección.



**Figura 21:** Tipo de análisis

-Tipo de fluido

Se selecciona el tipo de fluido, para el presente caso es aire.



**Figura 22:** Tipo de fluido

Y las demás ventanas las dejamos por defecto y presione finish.

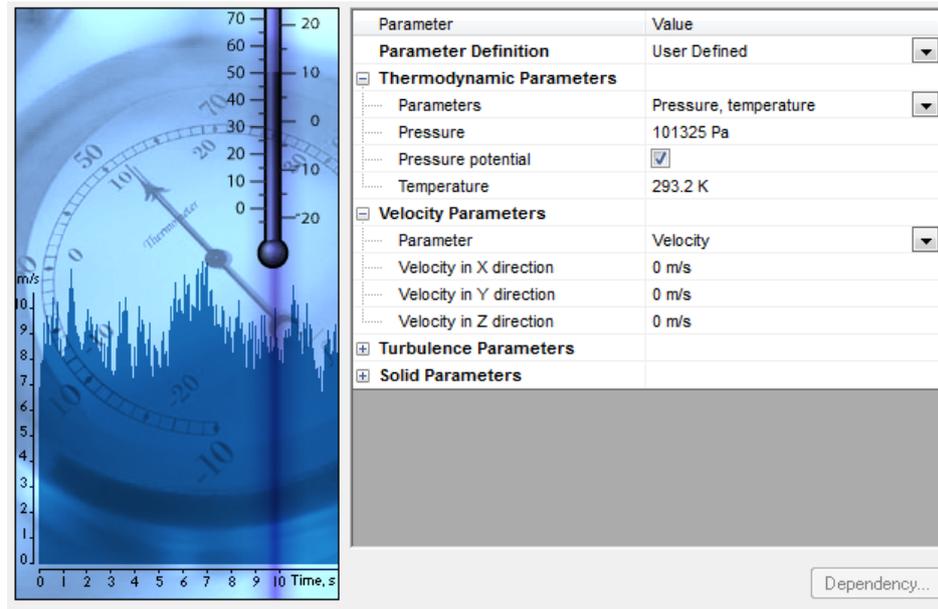


Figura 23: Parámetros por defecto

-Opción Computational Domain

Posterior a esto se selecciona el dominio computacional

El presente caso fue una simulación de tipo 3D.

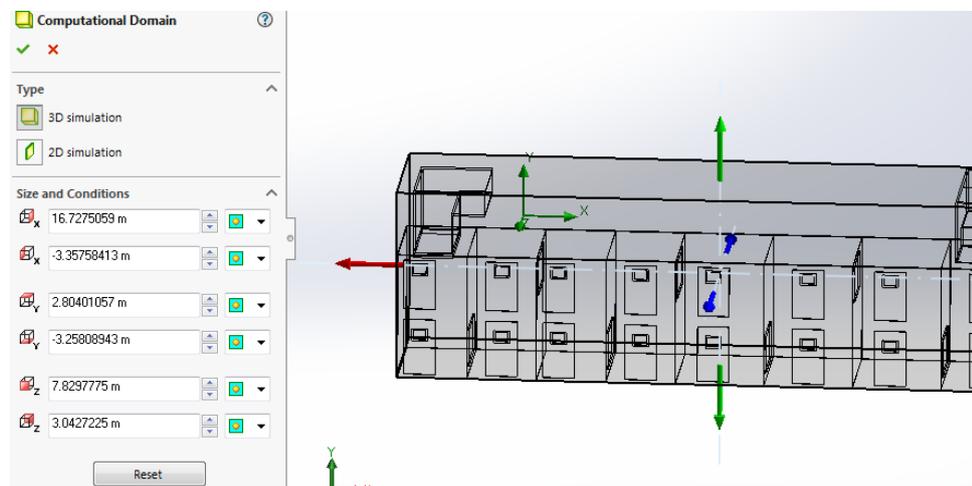


Figura 24: Dominio en 3D

-Opción Solid Materials

Se selecciona el material correspondiente para cada componente

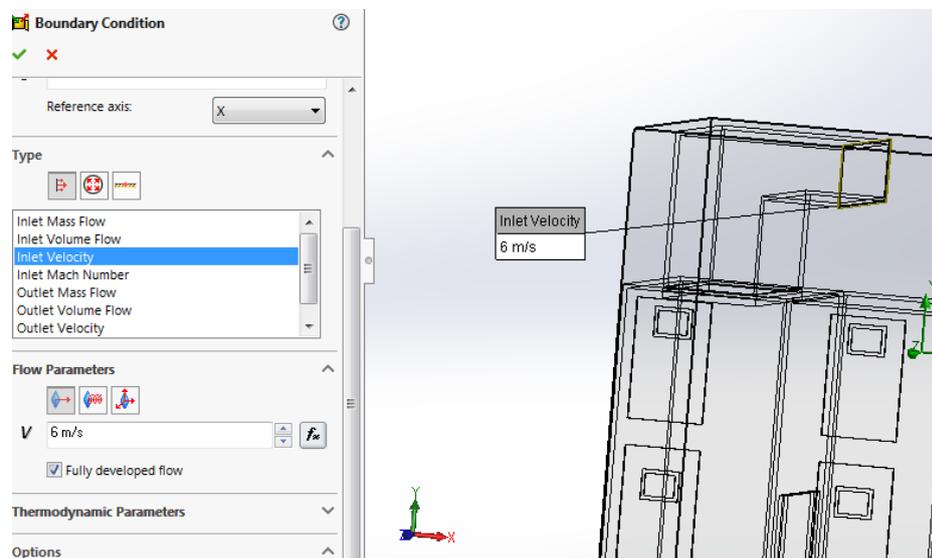


**Figura 25:** Selección del material correspondiente

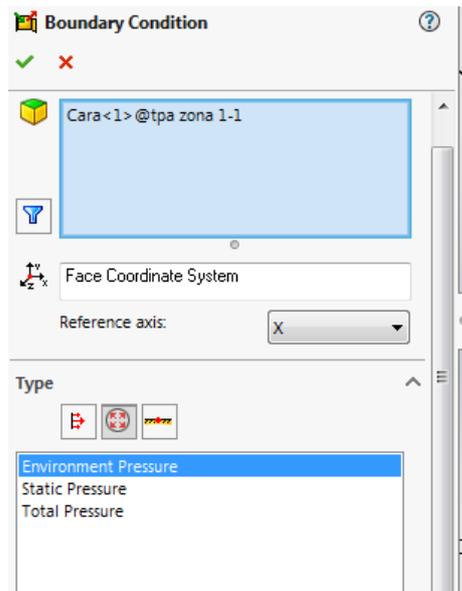
-Opción Boundary condition

En este apartado se insertó las condiciones iniciales del secador:

Se selecciona la entrada del aire y se coloca su velocidad, además de la presión correspondiente que sería la presión ambiental.

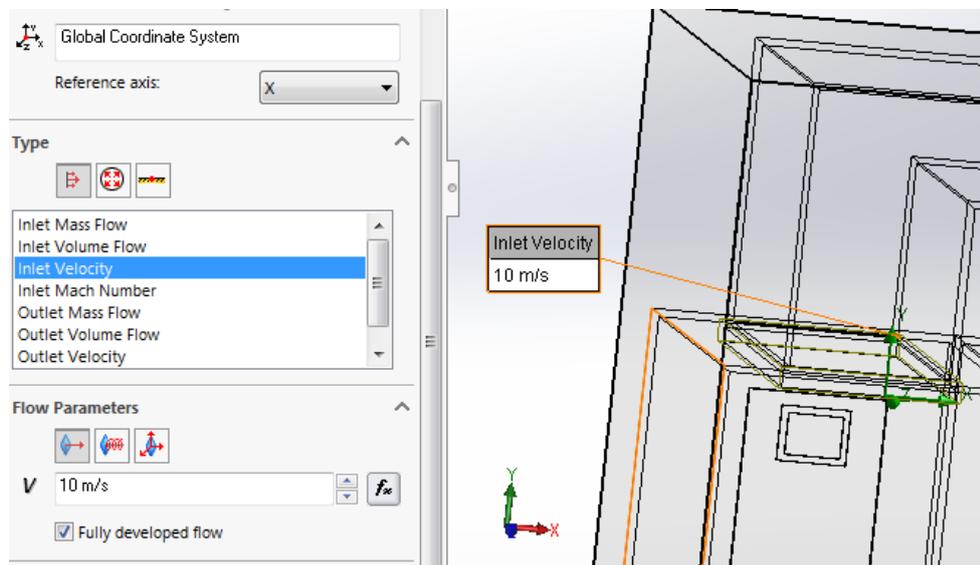


**Figura 26:** Condiciones iniciales, velocidad



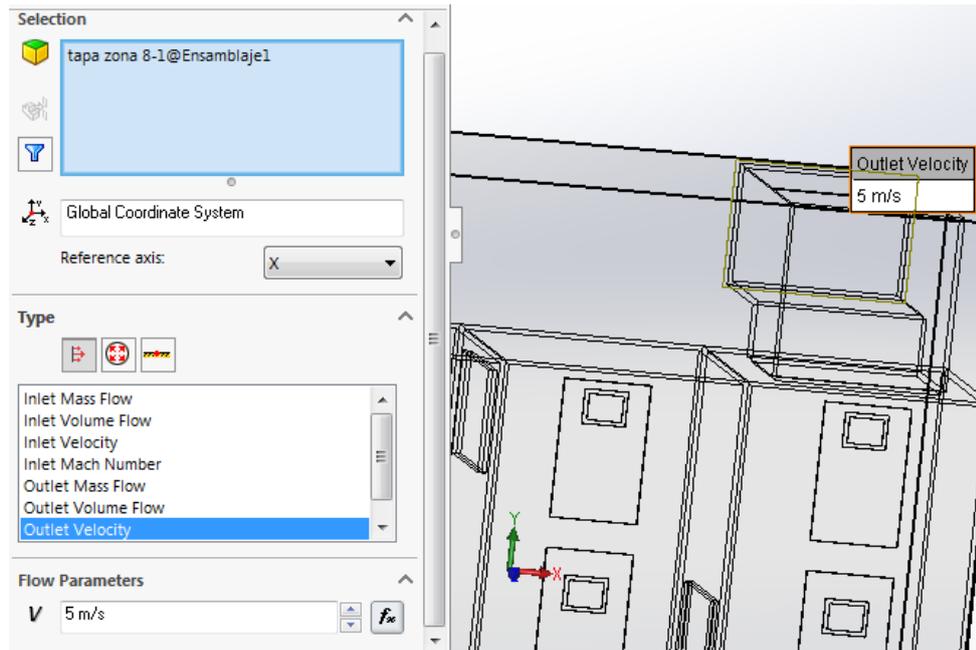
**Figura 27:** Condiciones iniciales, presión

Posterior a esto se coloca en cada zona la entrada de aire con su respectiva velocidad



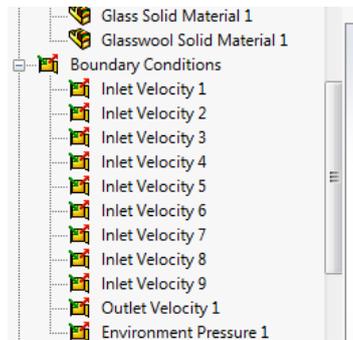
**Figura 28:** Velocidad del aire correspondiente en cada zona

Y también se coloca por donde se va a ir el aire es decir la salida del fluido.



**Figura 29:** Salida del aire

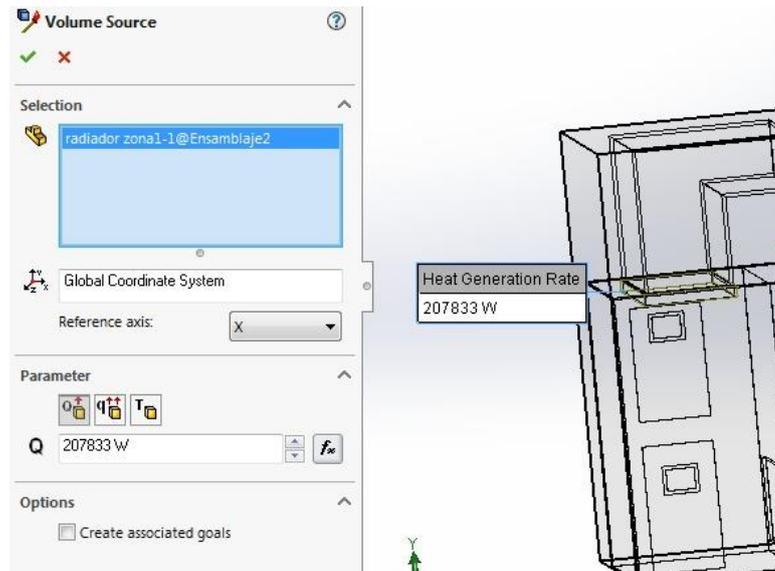
Obteniendo las siguientes condiciones de entrada, en donde se tiene la presión de entrada la velocidad del aire de entrada, la velocidad del aire en cada zona, y la velocidad del aire en la salida.



**Figura 30:** Condiciones iniciales

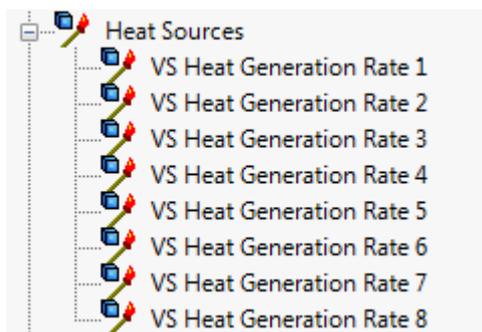
-Opción heat resources: recursos de calor

Se selecciona la cantidad de calor que emite cada radiador de cada zona correspondiente.



**Figura 31:** Seleccionar los recursos de calor

Insertando la generación de calor de los 8 radiadores



**Figura 32:** Generación de calor de cada uno de los radiadores

-Opción radiate surfaces

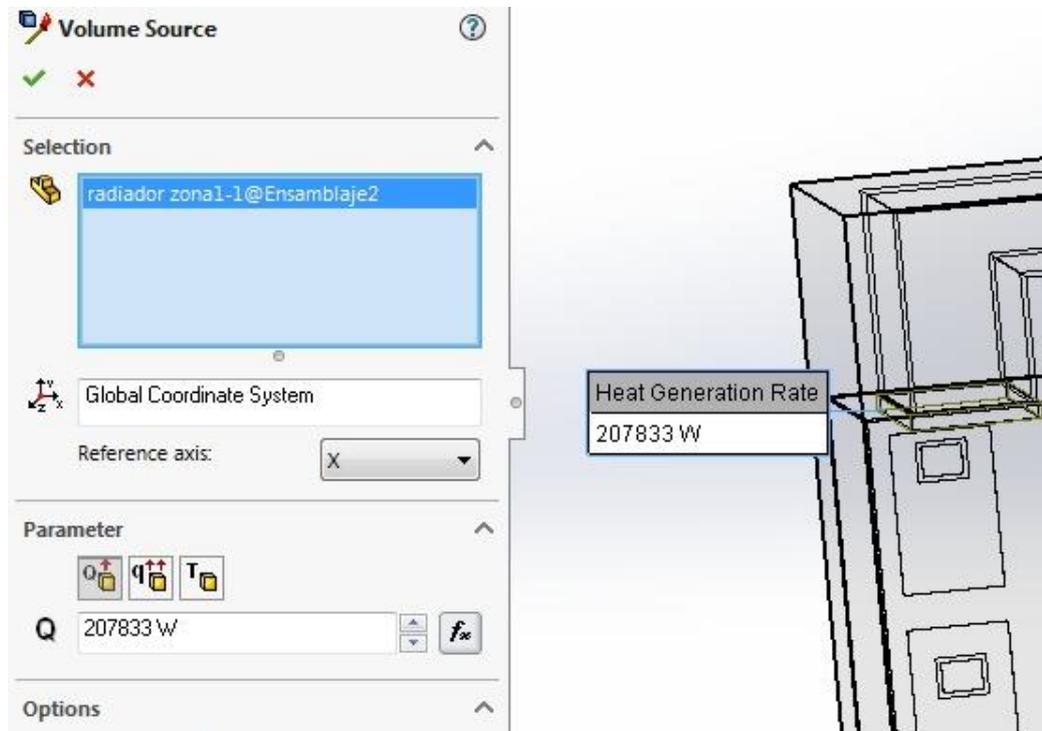
En este apartado se seleccionan los elementos que irradian y los que están expuestos a radiación, los cuales corresponderían a los radiadores y las láminas de aluminio, existente en las paredes del secador.



**Figura 33:** Elementos que irradian

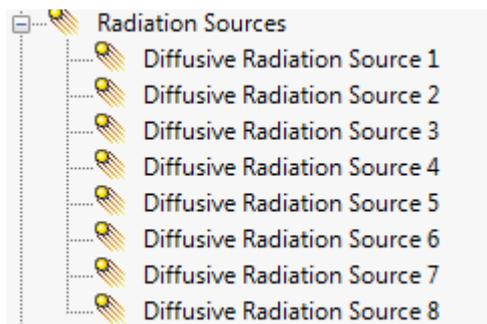
-Opción radiation sources

En este apartado se determina las fuentes de radiación los cuales son los radiadores en donde se coloca el flujo de calor de cada radiador.



**Figura 34:** Determinar las fuentes de radiación

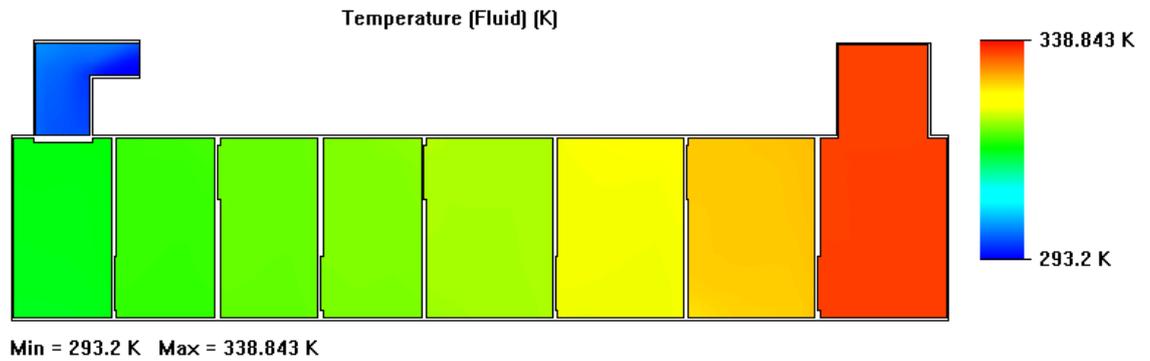
Como son 8 radiadores tenemos 8 condiciones en este apartado.



**Figura 35:** Fuentes de radiación presentes

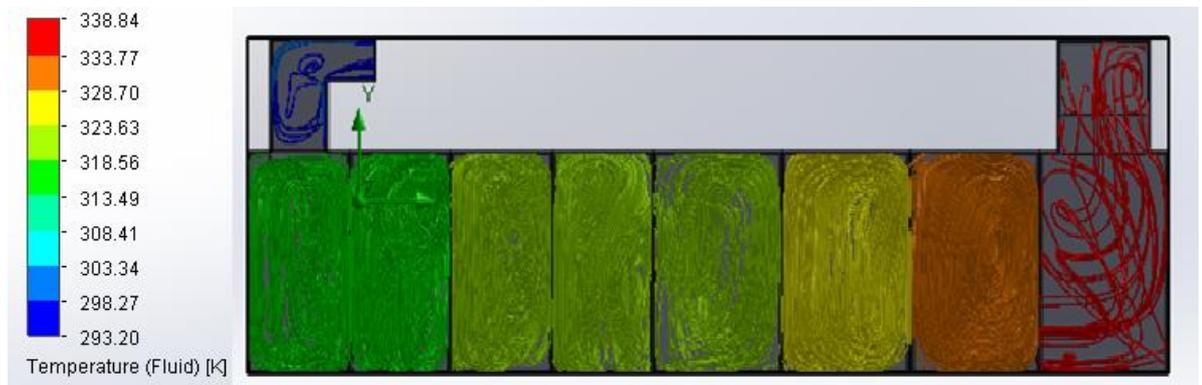
Con esto el proyecto estaría listo para arrojar sus resultados:

**-Temperatura al interior de la cámara:**



**Figura 36:** Temperatura al interior de la cámara

A continuación se presenta el recorrido del aire dentro de la cámara, con su respectiva temperatura:



**Figura 37:** Recorrido del aire al interior de la cámara

A continuación se realizó una tabla en donde se puede observar de forma resumida las temperaturas en cada zona según el software:

**Tabla 23:** Temperaturas según el software

<b>TEMPERATURAS SEGÚN EL SOFTWARE</b>		
<b># Zona</b>	<b>Tem. °K</b>	<b>Tem. °C</b>
<b>Zona 1</b>	314,56	41,41
<b>Zona 2</b>	316,5	43,35
<b>Zona 3</b>	320,68	47,53
<b>Zona 4</b>	322,63	49,48
<b>Zona 5</b>	323,3	50,15
<b>Zona 6</b>	328,4	55,25
<b>Zona 7</b>	332,5	59,35
<b>Zona 8</b>	338,84	65,69

Se realizó una comparación con los datos medidos experimentalmente dentro de la cámara:

**Tabla 24:** Comparación entre datos medidos y datos del software

<b>TEMPERATURAS AL INTERIOR DE LA CÁMARA</b>					
	<b>Según el software</b>			<b>Según datos medidos</b>	
<b># Zona</b>	<b>Tem. °K</b>	<b>Tem. °C</b>	<b>Salto de Temperatura °C</b>	<b>Tem. °K</b>	<b>Tem. °C</b>
<b>Zona 1</b>	314,56	41,41		322,25	49,1
<b>Zona 2</b>	316,5	43,35	1,94	327,97	54,82
<b>Zona 3</b>	320,68	47,53	4,18	331,87	58,72
<b>Zona 4</b>	322,63	49,48	1,95	334,02	60,87
<b>Zona 5</b>	323,3	50,15	0,67	336,41	63,26
<b>Zona 6</b>	328,4	55,25	5,1	336,14	62,99
<b>Zona 7</b>	332,5	59,35	4,1	336,17	63,02
<b>Zona 8</b>	338,84	65,69	6,34	336,87	63,72

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- El secador trabaja de tal manera que retira 57,2 % de agua del producto al transcurrir 3 horas con 32 minutos dentro del túnel de secado, el cual está dividido en 8 zonas, cada una seteada a una cierta temperatura, empezando en la zona 1 con una temperatura de 50 °C y saliendo en la zona 8 con una temperatura de 63°C, bajo ciertos parámetros los fideos de gelatina obtienen una humedad al final del secador desde 9,2 % hasta 12,3 % de contenido de humedad, obteniendo una gelatina con bajo contenido de agua o bien con alto contenido de humedad lo cual afecta a la calidad y peso del producto, debido a que el porcentaje óptimo de humedad es de 10 a 11%.
- Según la información técnica del secador, este es capaz de producir 140 kg de gelatina por hora, el secador transportaba y deshidratava el producto en un tiempo de 2 horas y 40 minutos, consumiendo un total de 4458,9 kg de vapor, en la actualidad el secador trabaja de tal manera que puede ser capaz de producir 308,16 kg por hora y transporta el producto a una velocidad de 9,5 cm por minuto, tardando 3 horas con 32 minutos en salir el producto de tal manera que consume 2993,44 kg de vapor.
- Las pérdidas de energía en el secador son de 121,56 KW , las cuales corresponden a lo siguiente: 58,5 KW a pérdidas por convección natural al exterior de la cámara, 12,42 KW correspondiente a pérdidas por radiación y 50,64 KW de pérdidas no cuantificadas las cuales son debido a aberturas, aperturas, por fugas de dicha energía del sistema. Para minimizar dichas pérdidas se puede mejorar el sistema de aislamiento del secador elevando el grosor del mismo.

- Se determinó que el secador de fideos de gelatina alcanzó una eficiencia del 56,31%, este rendimiento se obtuvo para un flujo de fideo de 12 kg/min en producto húmedo.
- Para elevar la eficiencia del secador se puede llevar a cabo un aprovechamiento de calor en la entrada del aire, haciendo que el aire no entre frío, sino a una temperatura aproximada de 40 °C, así se puede elevar la velocidad de la banda llevando a cabo el proceso de forma más rápida, produciendo mayor cantidad de gelatina.
- Se consideró que el secador trabaja en condiciones adecuadas cuando opere bajo los siguientes rangos: un flujo de fideo máximo de 12 kg/ min , la presión de ingreso al cilindro rotatorio se debe situar entre 15 y 20 bares, la temperatura con que los fideos salen del cilindro será entre 25 y 28 °C, la presión del tanque de expansión entre 20 a 30 PSI, las temperaturas de trabajo se considera que sean las mismas es decir de 50°C en la zona 1 , 55°C en la zona 2, 59 °C en la zona 3 , 61°C en la zona 4, y 63 ° en las últimas zonas, se modificó el tiempo total de secado de gelatina de 3 horas con 32 minutos a 2 horas con 52 minutos , brindando al fideo una humedad a la salida del proceso del 11% el cual es un indicador de buena calidad.
- Al simular la distribución de temperaturas al interior de la cámara, el incremento de temperaturas en las primeras zonas es menor a 5°C, lo cual refleja una distribución algo uniforme de temperatura al ingreso del producto en la cámara de secado.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Es importante realizar un seguimiento al producto desde procesos anteriores para especificar las propiedades con que llega el producto hacia el secador.
- Para realizar cualquier tipo de prueba cambiando ciertos parámetros de operación del secador, debe asegurarse que esto no cause daños a equipos dentro del proceso o posteriores a este.
- La simulación del trabajo de un equipo es de gran ayuda gracias a que estas nos revelan datos, parámetros, entre otros, de cierto equipo las cuales pueden ser beneficiosas o no, brindando un estimado de que podría ocurrir bajo ciertas circunstancias.
- Se podría complementar la simulación con un análisis CFD el cual brinda un acercamiento mejor a la realidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Tacuri y M. Quintana, “Diseño concurrente de una secadora vertical intermitente para arroz”, tesis de grado, ESPOCH, Riobamba, 2010.
- [2] C. Contreras, “Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas”, tesis doctoral, UPV, Valencia, 2006.
- [3] I. Aguilar, “Optimización del proceso de secado en pastas alimenticias”, tesis de grado, UCUENCA, Cuenca, 2017.
- [4] M. Koppman, *Manual de gastronomía molecular*. 1<sup>ra</sup> ed. Buenos Aires: Siglo Veintiuno Editores, 2014.
- [5] G. Tortora, B. Funke y C. Case, *Introducción a la microbiología*. 9<sup>na</sup> ed. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2007.
- [6] Alimentación Holística, “Gelatina Neutra”, *Revista Cocina*, 2021.
- [7] Gelco S.A.S.(s.f.). Líderes en la fabricación de gelatina para uso comestible y farmacéutico [Online]. Recuperado de: <https://silo.tips/download/gelco-sas-lideres-en-la-fabricacion-de-gelatina-para-uso-comestible-y-farmaceuti>
- [8] P. Maupoey, A. Andrés, J. Barat y A. Albors, *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. 1<sup>ra</sup> ed. España: Universitat Politècnica de València, 2016.
- [9] C. Orrego, *Procesamiento de alimentos*. 1<sup>ra</sup> ed. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [10] C. Aucancela y E. Chávez, “Diseño y construcción de un secador de túnel para la deshidratación del maíz”, tesis de grado, ESPOCH, Riobamba, 2009.
- [11] J. Marín y S. Guillén, *Diseño y cálculo de intercambiadores de calor monofásicos*. España: Paraninfo, 2013.
- [12] C. Yunus y G. Afshin, *Transferencia de calor y masa*. 4<sup>ta</sup> ed. México: Mc Graw Hill, 2011.
- [13] L. Ramirez. (s.f.). Calor concepto formas de propagación: por conducción, convección y radiación [Online]. Disponible en: [http://gomez2010.weebly.com/uploads/5/8/0/2/5802271/transferencia\\_de\\_calor-\\_ramirez.pdf](http://gomez2010.weebly.com/uploads/5/8/0/2/5802271/transferencia_de_calor-_ramirez.pdf)

- [14] S. Miranda, *Métodos numéricos aplicados a la transmisión de calor*, España: Ceac S.A., 2002.
- [15] F. Incropera y D. Dewitt, *Fundamentos de transferencia de calor*, 4<sup>ta</sup> ed. México: Prentice Hall , 1999.
- [16] J. Hernández , J. Rodríguez y J. Sanz, *Transmisión de calor para ingenieros*, Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2010.
- [17] G. Nonhebel, C. Eng, F. Inst y otros , *El secado de sólidos en la industria química*, Barcelona: Reverté, 2002
- [18] C. Pineda y S. Velasco, *Termodinámica* , 1<sup>ra</sup> ed. Madrid, 2013.
- [19] Prodegel S.A. Departamento de calidad, Ambato, 2022.
- [20] Anónimo. Mecanismos de transferencia de calor, (s.f.). [Online] Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34475/1/Mecanismos%20de%20transmisi%C3%B3n%20de%20calor%20%28CONDUCCION%2C%20CONVECCION%2C%20RADIACION%29.pdf>

## ANEXOS

### Anexo1: Propiedades del aire

Propiedades del aire a 1 atm de presión

Temp. T, °C	Densidad $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico $c_p$ J/kg · K	Conductividad térmica k, W/m · K	Difusividad térmica $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s	Viscosidad dinámica $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946

**Anexo2:** Presión máxima de tubería según el catálogo de Dipac

Zona	Diámetro externo mm	Espesor mm	Presión de prueba kg/cm2	Presión de prueba PSI
Principal	114,30	6,02	155	2210
1	73,03	5,16	176	2500
2	60,33	3,91	176	2500
3	48,26	3,68	91	1300
4	42,16	3,56	91	1300
5	48,26	3,68	91	1300
6	33,40	3,38	49	700
7	33,40	3,38	49	700
8	33,40	3,38	49	700

**Anexo 3:** Toma de velocidades de aire



**Anexo 3:** Esquema del secador

1

2

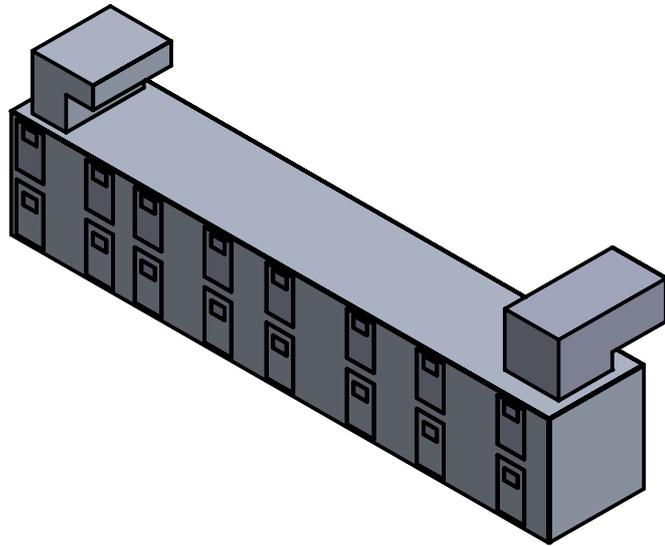
3

4

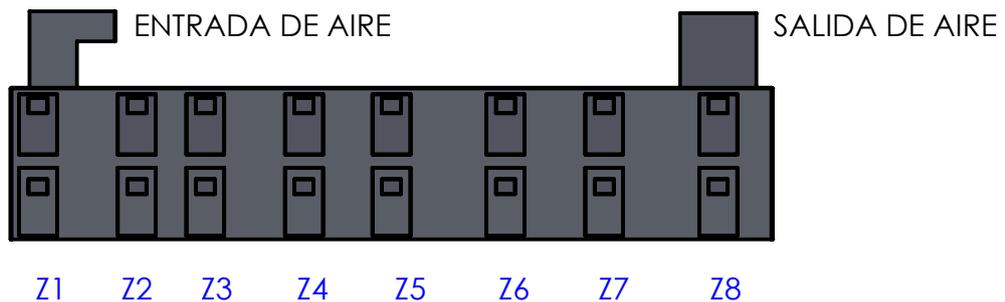
A

## ESQUEMA DE UN SECADOR TIPO TÚNEL

B



C



D

E

Z1: ZONA 1  
 Z2: ZONA 2  
 Z3: ZONA 3  
 Z4: ZONA 4  
 Z5: ZONA 5  
 Z6: ZONA 6  
 Z7: ZONA 7  
 Z8: ZONA 8

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				-	16818695gr	ALUMINIO	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 13/07/2022	WENDY ACOSTA		
				Diseño: DELTEC			
				Aprobó: 13/07/2022	Ing. SANTIAGO CABRERA	SECADOR TIPO TÚNEL	1:200
				U.T.A.			
				INGENIERÍA MECÁNICA		1 DE 1	
Edición.	Modificación.	Fecha.	Nombre.			(sustitución)	