



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

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**ANÁLISIS TÉRMICO PARA EL PROCESO DE SECADO DE FIDEO TIPO
REGIN EN LA EMPRESA INDUSTRIAS CATEDRAL S.A, PARA
DETERMINAR SU EFICIENCIA**

AUTOR: David Nicolás Goyes Guerrero

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 Ingeniero Mecánico, con el tema: **“ANÁLISIS TÉRMICO PARA EL PROCESO DE SECADO DE FIDEO TIPO REGIN EN LA EMPRESA INDUSTRIAS CATEDRAL S.A, PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA”**, elaborado por el Sr. David Nicolas Goyes Guerrero, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1805186101, 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, David Nicolas Goyes Guerrero, con C.I. 1805186101 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“ANÁLISIS TÉRMICO PARA EL PROCESO DE SECADO DE FIDEO TIPO REGIN EN LA EMPRESA INDUSTRIAS CATEDRAL S.A, PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA”** , así como también los criterios, ideas, opiniones, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2022



David Nicolas Goyes Guerrero
C.I. 1805186101
AUTOR

DERECHOS DEL 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 autor.

Ambato, Septiembre 2022



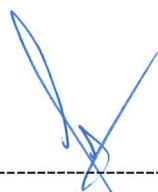
David Nicolas Goyes Guerrero
C.I. 1805186101
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante David Nicolas Goyes Guerrero de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“ANÁLISIS TÉRMICO PARA EL PROCESO DE SECADO DE FIDEO TIPO REGIN EN LA EMPRESA INDUSTRIAS CATEDRAL S.A, PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA”**.

Ambato, Septiembre 2022

Para constancia firman:



Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna
Miembro Calificador



Ing. MSc. José Luis Yunapanta Velastegui
Miembro Calificador

DEDICATORIA

Primeramente, el presente trabajo dedico a Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida, a mi padre quien ha sido mi apoyo incondicional durante toda mi trayectoria académica guiándome y siendo mi ejemplo a seguir, a mi madre que desde el cielo me bendice, a mis abuelitos Carlos y Lucila quienes han sido el pilar fundamental durante toda mi vida. A mi hermana por estar siempre conmigo en todo momento.

Nicolas Goyes

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la salud y todas sus bendiciones.

Profundo agradecimiento a mi alma mater en especial a la FICM y sus docentes quienes me han impartido sus conocimientos,

A mi tutor Ing. Santiago Cabrera por toda su paciencia y conocimientos impartidos durante este proyecto.

Al Ing. Giovanni Pineda por su amistad y apoyo académico.

Finalmente, a mis amigos por estar en las buenas y en las malas.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DEL AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO 1	1
1.Marco teórico	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2

1.3.2	Objetivos Específicos.....	3
1.4	Fundamentación teórica	3
1.4.1	Transferencia de calor	3
1.4.2.	Balance de energía	8
1.4.3	Análisis térmico	9
1.4.4	Intercambiadores de calor	10
1.4.5	Cámaras de secado.....	11
1.4.6	Proceso de secado de fideo	13
1.4.7	Dinámica de fluidos computacional (CFD)	16
CAPÍTULO 2	17
Metodología.....		17
2.1	Materiales.....	17
2.2	Métodos.....	17
2.3	Técnicas.....	19
2.4	Operacionalización de variables	19
2.5	Procedimiento de toma de datos	22
CAPÍTULO 3	25
2.Resultados	y	discusión
.....	
3.1	Análisis y discusión.....	25
3.1.1	Parámetros físico térmicos que intervienen en el proceso de secado de fideo	25

3.1.2	Parámetros de operación	26
3.1.3	Dimensiones de los secadores estáticos de bandejas	28
3.1.4	Análisis de la transferencia de calor dentro del secador para fideo tipo regin	30
3.1.5	Análisis de transferencia de calor en sacadores para fideo tipo cabello	44
3.1.6	Eficiencia térmica en secado de producto	51
3.1.7	Energía suministrada al sistema para calentamiento de agua	52
3.1.8	Eficiencia global del sistema de alimentación de agua caliente para radiadores	52
3.1.9	Verificación de hipótesis.....	53
CAPÍTULO 4	54
3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
4.1	CONCLUSIONES	54
4.2	RECOMENDACIONES.....	55
4.	BIBLIOGRAFÍA	56
	ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de pastas alimenticias.....	14
Tabla 2 Características de Caldera.....	17
Tabla 3 Características de bomba	18
Tabla 4 Características de ventiladores.....	18
Tabla 5 Características de radiador	18
Tabla 6 Parámetros geométricos para simulación CFD	24
Tabla 7 Parámetros físico-térmicos en fideo tipo regin.	25
Tabla 8 Parámetros físico-térmicos en fideo tipo cabello.	26
Tabla 9 Producción diaria de fideo tipo Regin.....	28
Tabla 10 Producción diaria de fideo tipo cabello.....	28
Tabla 11 Temperaturas en pared externa.	30
Tabla 12 Pérdida por convección natural.....	33
Tabla 13 Características Ventilador	34
Tabla 14 Transferencia de calor por convección forzada en bandejas en fideo Regin. ...	37
Tabla 15 Calor perdido en salidas de aire.	38
Tabla 16 Total de masa en un secador.	39
Tabla 17 Calor consumido para evaporizar el agua.	39
Tabla 18 Calor aprovechado en un secador.	40
Tabla 19 Flujo de calor dentro de un secador para fideo tipo Regin	40

Tabla 20 Características Radiador	41
Tabla 21 Coeficiente de convección en flujo externo alrededor de un cilindro.....	41
Tabla 22 Resumen de valores porcentuales de flujo de calor fideo tipo Regin	44
Tabla 23 Análisis por convección natural.....	45
Tabla 24 Transferencia de calor por convección forzada en bandejas en fideo Cabello.	46
Tabla 25 Análisis en salidas de aire	47
Tabla 26 Calor aprovechado en fideo tipo cabello.....	48
Tabla 27 Calor aprovechado para evaporación.....	49
Tabla 28 Calor aprovechado en un secador	49
Tabla 29 Flujo de calor dentro de un secador	49
Tabla 30 Entrada de energía el secador.....	50
Tabla 31 Resumen de valores porcentuales de flujo de calor fideo tipo Cabello	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Transferencia de calor por conducción	3
Figura 2 Tipos de transferencia de calor por convección	5
Figura 3 Esquema básico de una máquina térmica	9
Figura 4 Intercambiador de calor de coraza y tubos	11
Figura 5 Intercambiadores de calor de placas	11
Figura 6 Secado en bandejas	12
Figura 7 Secador de túnel continuo.....	13
Figura 8 Flujo de agua dentro de tubería.	16
Figura 9 Torres de secado.	25
Figura 10 Secadores estáticos de bandejas.....	27
Figura 11 Secadores Estáticos de bandejas.....	27
Figura 12 Vista frontal puertas de acceso a cámara de secado tipo, dimensiones en mm.....	29
Figura 13 Ubicación de aberturas para salida de aire caliente, dimensiones en mm.	29
Figura 14 Puntos de medición en paredes externas.	30
Figura 15 Resistencias térmicas conducción en pared.....	31
Figura 16 Dimensiones de aberturas de salidas de aire en mm.....	38
Figura 17 Diagrama Sankey de un secador de fideo tipo Regin.....	43
Figura 18 Secador estático de bandejas para fideo tipo cabello.....	44

Figura 19 Dimensiones de aberturas de salidas de aire en mm.....	46
Figura 20 Diagrama Sankey de un secador de fideo tipo Cabello	50
Figura 21 Distribución general del área de producción túnel 1	53

GLOSARIO DE TÉRMINOS

mf:	Masa porción de fideo	kg
lam:	Número de láminas de fideo	-
#B:	Número de bandejas	-
#T:	Número de torres por secador	-
Roll:	Número de rollos por bandeja	-
T_o :	Temperatura inicial	°C
Tf:	Temperatura final	°C
T_{∞} :	Temperatura ambiente	°C
T_w :	Temperatura de pared	°C
T:	Temperatura de película	°C
ΔT :	Cambio de temperatura	°C
t:	Tiempo de secado	h
Δt :	Tiempo total de secado	s
cp:	Calor específico	$\frac{KJ}{kg \text{ } ^\circ K}$
k:	Conductividad térmica	$\frac{W}{m \text{ } ^\circ K}$
ν :	Viscosidad cinemática	$\frac{m^2}{s}$
Pr:	Número de Prandtl	-
a:	Área	m^2
A_{ef} :	Área efectiva	m^2
x:	Altura	m
β :	Coficiente volumétrico de expansión	$\frac{1}{K}$
Gr:	Número de Grashoff	-
Ra:	Número de Rayleigh	-
Nu:	Número de Nusselt	-

$Ne:$	Número de Reynolds	-
$h_{conv}:$	Coefficiente de convección	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
$v:$	Velocidad	$\frac{m}{s}$
$q:$	Flujo de Calor	KW
$\dot{m}:$	Flujo másico	$\frac{kg}{s}$
$g:$	Aceleración de la gravedad	$\frac{m}{s^2}$
$Hfg:$	Calor latente de evaporación	$\frac{kJ}{kg}$
$Ho:$	Humedad de entrada	%
$Hf:$	Humedad de salida	%
$\Phi_r:$	Diámetro de tubo de radiador	m
$A_t:$	Área de un tubo	m^2
$\bar{h}:$	Coefficiente de convección	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
	Flujo cruzado	
$\dot{Q}_r:$	Flujo de calor de radiador	W
$\dot{Q}_m:$	Calor motor eléctrico	KW
$q_{aire}:$	Flujo de calor de aire a la entrada	KW
$h_{aire}:$	Entalpía de aire	$\frac{kJ}{kg}$
$\eta_{ter}:$	Eficiencia térmica	%
$\dot{V}:$	Flujo Volumétrico	$\frac{m^3}{s}$
$PC:$	Poder calorífico	$\frac{kJ}{kg}$
$\rho:$	Densidad	$\frac{kg}{m^3}$
$\eta_{sistema}:$	Eficiencia del sistema	%

RESUMEN

El trabajo experimental inicia debido a la necesidad de contar con un estudio energético actualizado referente a la evaluación de niveles de eficiencia térmica en el proceso de secado de fideo del túnel 1 en la empresa Industrias Catedral S.A; en función de la necesidad de cuantificar el calor aprovechado en una cámara de secado tipo, así como las pérdidas de energía más representativas que se generan en la producción de fideo.

En el proceso experimental del cálculo de la eficiencia térmica se inició con la identificación de los parámetros termo físicos de la materia prima, así como la evaluación de la producción estándar de fideo. Se efectuó la toma de datos y mediciones de temperaturas normales de operación del radiador, temperatura en las bandejas, velocidad de aire a la salida de los ventiladores, velocidad en salidas de aire, calor aprovechado para el secado de fideo, factores fundamentales que interviene en el análisis de transferencia y aprovechamiento de calor dentro de una cámara de secado estático de bandejas tipo.

Como resultado se analizó en una cámara tipo el calor suministrado, para fideo regin es del fideo regin aprovecha 4,067 KW y el fideo cabello 4,761 KW para secarse, representando el 74,76 y 87,51 por ciento de eficiencia térmica de la cámara, mientras que la eficiencia global del sistema es del 74,52 por ciento.

Palabras clave: Análisis térmico, Balance de energía, Eficiencia térmica, Fideo, Proceso de secado, Secador estático, Transferencia de calor.

ABSTRACT

The experimental work begins due to the need to have an updated energy study regarding the evaluation of thermal efficiency levels in the noodle drying process of tunnel 1 in the company Industrias Catedral S.A; based on the need to quantify the heat used in a typical drying chamber, as well as the most representative energy losses generated in the production of noodles.

In the experimental process of calculating the thermal efficiency, it began with the identification of the thermophysical parameters of the raw material, as well as the evaluation of the standard noodle production. The data collection and measurements of normal operating temperatures of the radiator, temperature in the trays, air speed at the outlet of the fans, speed in air outlets, heat used for the drying of noodles, fundamental factors that intervene in the analysis of heat transfer and utilization within a static drying chamber of type trays.

As a result, the supplied heat was analyzed in a type chamber, for region noodles, the regin noodles take advantage of 4,067 KW and the cabello noodle 4,761 KW to dry, representing 74,76 and 87,51 percent of thermal efficiency of the chamber, while that the overall efficiency of the system is 74,52 percent.

Keywords: Drying process, Energy balance, Heat Transfer, Noodle , Static Dryer, Thermal Efficiency

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El proceso de secado resulta ser un método muy importante en la preservación de granos, cereales, madera y productos alimenticios. Teniendo esto en cuenta, es importante disponer de tecnologías como análisis térmicos que permitan elevar los niveles de eficiencia energética en industrias que posean procesos de secado, para garantizar un producto de calidad y un correcto aprovechamiento de la energía térmica logrando optimizar los tiempos de producción.

Hernández Cuenca Walter Wladimir, en su trabajo de titulación, bajo el tema “ANÁLISIS TÉRMICO PARA EL PROCESO DE SECADO DE MADERA LAMINADA DE HASTA 5 MM DE ESPESOR EN LA EMPRESA ARBORIENTE S.A EN LA CIUDAD DE PUYO, PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA” determinó mediante el cociente entre el calor aprovechado por la madera procesada y el calor total suministrado al secador por parte del caldero una eficiencia del 54.34% recomendando desarrollar un rediseño del secador para minimizar las pérdidas de calor y reducir el tiempo de secado de madera [1].

Isabel Margarita Aguilar Guncay, determinó que el tiempo de secado de las pastas alimenticias resulta muy dependiente de las condiciones de temperatura con las que se opera, variando entre 120 y 240 minutos para llegar a la humedad en base seca final de 13,6 g H₂O/100g. El proceso más largo, fue el correspondiente a temperatura más baja (35°C), por el contrario, el tiempo de secado se redujo significativamente cuando se utilizó la condición de alta temperatura (57°C) [2].

Jairo Andrés Gutiérrez Suarez, en su trabajo de grado “MODELACIÓN CFD Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE EVAPORACIÓN DE AGUA EN UN SECADOR POR ASPERSIÓN”, resaltó la importancia de obtener resultados numéricos mediante la utilización de tipos de software, y compararlos con datos recopilados

experimentalmente, ya que desde el punto de vista de la industria un modelo numérico validado puede ser el inicio de planteamientos de mejora en un proceso de producción [3].

1.2 JUSTIFICACIÓN

INDUSTRIAS CATEDRAL, es una empresa ecuatoriana dedicada a la fabricación y distribución de FIDEOS, VELAS, HARINA Y AVENA.; se inicia en 1956 como una iniciativa familiar en la elaboración de velas para el consumo local, para mediados de los años 70 incluye una línea de producción de fideos para posteriormente agregar la molienda, productos que siempre han sido comercializados con marca Catedral desde sus inicios [4].

El presente trabajo experimental tiene como enfoque principal determinar la eficiencia térmica para el proceso de secado de fideo tipo regin, en la empresa Industrias Catedral S.A. debido a la necesidad de evaluar como el secador está operando actualmente, ya que podría existir un consumo innecesario de energía.

Esta investigación parte de estudios previamente desarrollados en otro tipo de máquinas térmicas en donde se evidenció que un análisis térmico es importante para optimizar la energía aprovechada en un proceso de secado.

El desarrollo del estudio es económicamente factible considerando los recursos técnicos disponibles como los equipos de medición con los que cuenta el área de mantenimiento de Industrias Catedral S.A.

El beneficiario directo del presente trabajo experimental es la empresa Industrias Catedral S.A que contará con un estudio energético técnico desarrollado y actualizado, para su posterior aplicación o mejora del sistema productivo de fideos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar térmicamente el proceso de secado de fideo tipo regin en la empresa Industrias Catedral S.A. mediante la recopilación y medición de parámetros necesarios para determinar su eficiencia.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer los parámetros físico térmicos que intervienen en el proceso de secado.
- Evaluar la cantidad de producción de fideo.
- Analizar la transferencia de calor dentro del secador.
- Cuantificar la eficiencia térmica del secador.

1.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.4.1 Transferencia de calor

La transferencia de calor es la ciencia que estudia la energía en tránsito al existir uno o varios cuerpos (sólidos o fluidos) con diferentes temperaturas, su objetivo es conocer la cantidad de energía transferida por unidad de tiempo en condiciones específicas. Esta ciencia abarca varios mecanismos de transferencia de calor los cuales son: conducción, convección, radiación [5].

1.4.1.1 Transferencia de calor por conducción

Al existir un gradiente de temperatura en un medio sólido, el calor circulará desde la región de mayor temperatura hacia la de menor temperatura, la rapidez del flujo dependerá de la conductividad térmica del material debido a esto existen materiales conductores y aislantes [6].

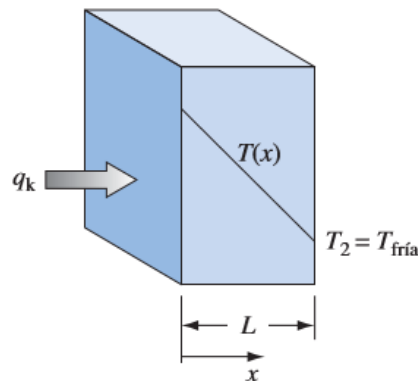


Figura 1 Transferencia de calor por conducción [6]

La ecuación básica para calcular la transferencia de calor por conducción está dada por:

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{Ec 1-1}$$

Donde:

$q \rightarrow$ flujo de calor W

$k \rightarrow$ conductividad térmica de material $\frac{W}{m^{\circ}C}$

$A \rightarrow$ área de transferencia m^2

$\frac{dT}{dx} \rightarrow$ gradiente de temperatura $\frac{W}{m^{\circ}C}$

1.4.1.2 Transferencia de calor por convección

Este modo de transferencia de calor comprende entre un sólido y un medio circundante como un líquido o un gas en movimiento, siendo así una combinación de la conducción y el movimiento del fluido, mientras más rápido se mueve el fluido la transferencia de calor por convección es mayor [7]. Se puede expresar de forma global la convección mediante la ley de enfriamiento de Newton.

$$q = hA(T_s - T_{\infty}) \quad \text{Ec 1-2}$$

Donde:

$q \rightarrow$ flujo de calor W

$h \rightarrow$ coeficiente de convección del medio $\frac{W}{m^2^{\circ}C}$

$A \rightarrow$ área de transferencia de calor m^2

$T_s \rightarrow$ temperatura de la superficie $^{\circ}C$

$T_{\infty} \rightarrow$ Temperatura del medio circundante $^{\circ}C$

En este modo de transferencia de calor si no existe un dispositivo externo que influya en el medio circundante se denomina convección natural. En caso de que el fluido se forcé a incidir

en el cuerpo de análisis mediante un elemento externo como un ventilador se denomina convección forzada.

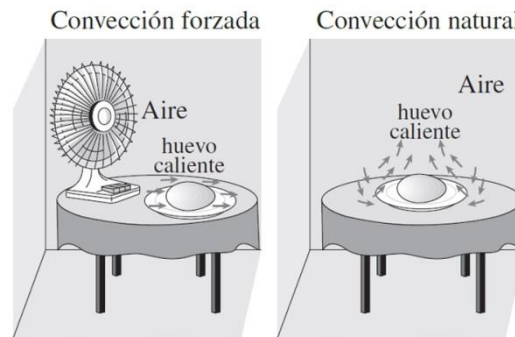


Figura 2 Tipos de transferencia de calor por convección [7]

- Relación de Nusselt para flujo alrededor de un cilindro:

$$\overline{Nu}_D = C Re_D^m Pr^n \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{\frac{1}{4}} \quad \text{Ec 1-3}$$

Donde:

$\overline{Nu}_D \rightarrow$ número de Nusselt

$C \rightarrow$ constante

$Re_D \rightarrow$ número de Reynolds

$m \rightarrow$ Constante

$Pr \rightarrow$ número de Prandtl

Las constantes de la ecuación se muestran en el anexo H.

a. Convección natural en gases

Se produce al exponer un cuerpo caliente al aire ambiente dentro de una habitación sin presencia de un movimiento externo, se experimentará movimiento del aire a causa de la diferencia de densidades cerca del cuerpo caliente [8]. Se debe considerar los siguientes parámetros para los cálculos.

- Coeficiente volumétrico de expansión térmica: Variación del volumen al variar la temperatura.

$$\beta = \frac{1}{T} \quad \text{Ec 1-4}$$

Donde:

$\beta \rightarrow$ Coeficiente de expansión volumétrica K^{-1}

$T \rightarrow$ Temperatura promedio K

- Número de Grashof: Posee igual significado al número de Reynolds, estableciendo relación de fuerzas de movimiento entre resistencia o viscosidad.

$$Gr = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * x^3}{\nu^2} \quad \text{Ec 1-5}$$

Donde:

$Gr \rightarrow$ número de Grashof

$g \rightarrow$ aceleración de la gravedad $\frac{m}{s^2}$

$\beta \rightarrow$ coeficiente de expansión volumétrica K^{-1}

$T_s \rightarrow$ temperatura de la superficie $^{\circ}C$

$T_\infty \rightarrow$ temperatura del medio $^{\circ}C$

$x \rightarrow$ longitud m

$\nu \rightarrow$ viscosidad cinemática del fluido $\frac{m^2}{s}$

- Número de Rayleigh: Expresa la fuerza y presencia de la convección al interior de un fluido, es adimensional.

$$Ra = Gr * Pr \quad \text{Ec 1-6}$$

Donde:

$Ra \rightarrow$ número de Rayleigh

$Gr \rightarrow$ número de Grashof

$Pr \rightarrow$ número de Prandtl

1.4.1.3. Radiación

En este modo de transferencia de calor se produce por la energía que es emitida en forma de ondas electromagnéticas, a diferencia de los anteriores mecanismos de transferencia de calor

este no necesita de un medio interventor, de hecho, este tipo de transferencia de calor es más eficiente en el vacío. Para este estudio se toma en cuenta la radiación térmica, definida como radiación emitida por un cuerpo al poseer temperatura [7].

$$q = e * \sigma * A * T^4 \quad \text{Ec 1-7}$$

Donde:

$e \rightarrow$ emisividad del cuerpo

$\sigma \rightarrow$ coeficiente de Stefan – Boltzman $5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

$A \rightarrow$ área de transferencia m^2

$T \rightarrow$ Temperatura de la superficie K

También se puede realizar una analogía de resistencias térmicas [7]:

$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad} * A} \quad \text{Ec 1-8}$$

Donde:

$R_{rad} \rightarrow$ Resistencia térmica por radiación $\frac{^{\circ}C}{W}$

$h_{rad} \rightarrow$ Coeficiente de transferencia de calor por radiación $\frac{W}{m^2 C}$

$$h_{rad} = e * \sigma (T_s^2 + T_{\infty}^2) * (T_s + T_{\infty}) \quad \text{Ec 1-9}$$

$e \rightarrow$ emisividad del cuerpo

$T_s \rightarrow$ temperatura superficial K

$T_{\infty} \rightarrow$ temperatura ambiente K

1.4.2. Balance de energía

1.4.2.1 Balance de energía en sistemas cerrados

El balance de energía prácticamente consiste en la primera ley de la termodinámica la cual enuncia que la energía no se puede crear ni destruirse, solamente se convierte en formas diferentes exceptuando procesos nucleares.

La ecuación para el cálculo está regida por la variación de la cantidad energía existente dentro de un volumen de control, cantidad neta transferida debido al intercambio de calor en un lapso de tiempo dentro de la frontera y la cantidad neta de energía transferida fuera del sistema por trabajo [9].

$$\Delta\dot{E}C + \Delta\dot{E}P + \Delta\dot{U} = \dot{Q} - \dot{W} \quad \text{Ec 1-10}$$

Donde:

$\Delta\dot{E}C \rightarrow$ energía cinética W

$\Delta\dot{E}P \rightarrow$ energía potencial W

$\Delta\dot{U} \rightarrow$ energía interna W

$\dot{Q} \rightarrow$ Flujo de calor W

$\dot{W} \rightarrow$ Flujo de trabajo por unidad de tiempo W

1.4.2.2 Balance de energía en sistemas abiertos en estado estacionario

El sistema abierto definido como sistema en cuyas fronteras es posible que un flujo de masa, transferencia de calor, para que esto ocurra el sistema debe realizar trabajo tanto para que la masa se mueva en el sistema y a sus alrededores para que esta pueda salir. Estos dos trabajos se los incluye en el balance de energía, su diferencia es el flujo de trabajo, en estos sistemas se habla más de la velocidad con la que se transfiere la energía por unidad de tiempo [10].

1.4.3 Análisis térmico

El análisis térmico se puede definir como el conjunto de técnicas para la medición de los cambios físicos o químicos que experimenta cierto cuerpo en función de la temperatura durante un tiempo controlado, con el propósito de cuantificar el comportamiento térmico de una máquina [11].

1.4.3.1 Máquina térmica

Una máquina térmica se define como dispositivo cuya función es convertir el calor en trabajo, su funcionamiento general viene dado por la recepción de calor de una fuente con alta temperatura, a continuación, parte del calor se convierte en trabajo comúnmente en movimiento rotatorio de una flecha, finalmente rechazan hacia un sumidero el calor de desecho [12].

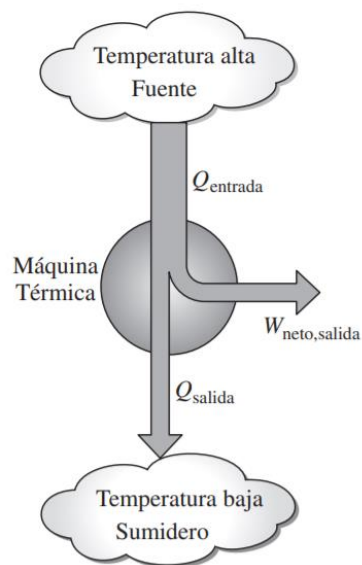


Figura 3 Esquema básico de una máquina térmica [12]

1.4.3.2 Eficiencia térmica

En una máquina térmica es importante conocer con qué porcentaje de eficiencia transforma el calor recibido en trabajo, por esta razón es que constantemente ingenieros tratan de conseguir elevar la eficiencia en esos dispositivos puesto que esto significaría menor

consumo de combustible resultando reducir los costos de producción. En una máquina térmica lo importante es el trabajo neto que equivale al calor de entrada menos el calor de salida, este último nunca puede ser cero. La fracción de la entrada total del calor que se transforma en la salida de trabajo neto es la medida del desempeño de la máquina conocida como eficiencia térmica [12]. Se la expresa como:

$$\eta_{ter} = \frac{\dot{E}ap}{\dot{E}rec} \quad \text{Ec 1-11}$$

Donde:

η_{ter} → *eficiencia térmica*

$\dot{E}ap$ → *Flujo de energía aprovechada J*

$\dot{E}rec$ → *Flujo de energía requerida J*

1.4.4 Intercambiadores de calor

Es un dispositivo que realiza intercambio de calor de fluidos a distinta temperatura de manera controlada y aislados por una pared sólida, el calor se transfiere mediante convección entre fluidos y conducción en la pared que los separa. Se aplican en el campo de la ingeniería como acondicionamiento de aire, generación de potencia, calefacción de locales y generalmente se los clasifica por el arreglo del flujo y el tipo de construcción [5].

1.4.4.1 Intercambiadores de calor de coraza y tubos

Esta configuración de intercambiadores de calor posee mayor número de tubos paralelos al eje de la coraza, uno de los fluidos se mueve por el interior de los tubos y el otro circula por el espacio comprendido entre la coraza y los tubos. Puede tener uno o más pasos de tubos dependiendo del arreglo geométrico en los cabezales del intercambiador. Para aumentar la transferencia de calor por convección con frecuencia se instala baffles [13].

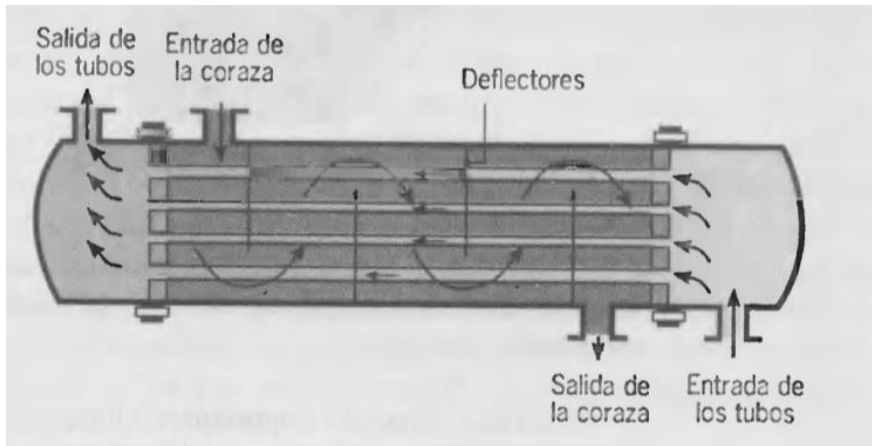


Figura 4 Intercambiador de calor de coraza y tubos [5]

1.4.4.2 Intercambiadores de calor de placas

Este tipo de intercambiador integra un gran número de placas corrugadas, los fluidos (caliente y frío) fluyen en pasos alternados, de manera que cada corriente del fluido frío se rodea por dos de fluido caliente resultando con una transferencia de calor muy eficaz, este equipo es muy útil en intercambio de calor líquido- líquido [7].

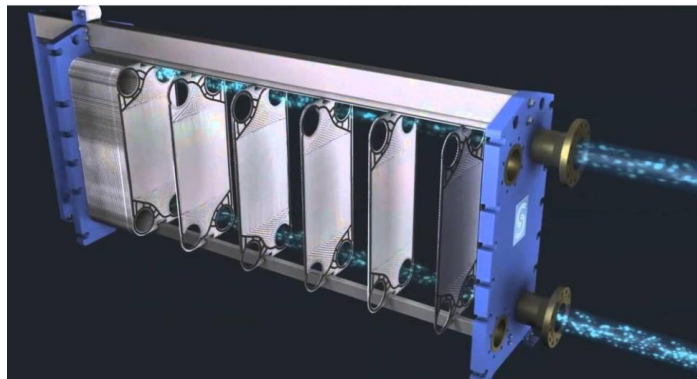


Figura 5 Intercambiadores de calor de placas [14]

1.4.5 Cámaras de secado

Son equipos cuya función es extraer líquido de sólidos mediante evaporización, estos componentes utilizan calor en forma de corriente de aire, el material a secar puede estar estático o móvil.

1.4.5.1 Secador estático en bandejas

Trabajan mediante bandejas que se cargan dentro de una cámara, el elemento a secar puede ser sólido el cual se encuentra estático y se coloca en recipientes de 10 a 100 mm de profundidad. El gabinete posee ventiladores para recircular el aire caliente en la superficie del material, una vez secado se reemplazan las bandejas [15].

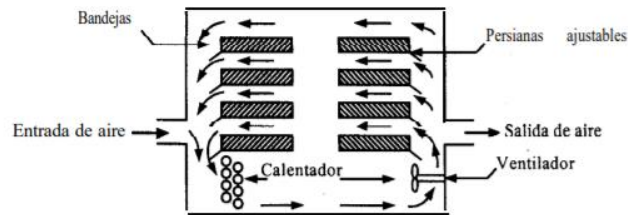


Figura 6 Secado en bandejas [15]

1.4.5.3 Secadores continuos de túnel

Su funcionamiento es mediante carretillas que trabajan en serie. El sólido se coloca dentro en bandejas transportadoras que se mueven continuamente dentro del túnel, el flujo de aire circula sobre cada bandeja este puede ser contra corriente o en paralelo. El secador integra secciones en serie con ventiladores y serpentines, mediante este proceso se secan varios alimentos [15].



Figura 7 Secador de túnel continuo.

1.4.6 Proceso de secado de fideo

El secado de fideo es fundamental para la determinación del producto final. El proceso está compuesto por un sistema de dos etapas: la primera comprende parámetros que se controlan en la masa como contenido de humedad y nivel acuoso, la segunda, parámetros como tiempo de secado, temperatura de la cámara y contenido de humedad.

El Servicio Ecuatoriano de Normalización en su norma técnica 1375, se regula los parámetros de las pastas alimenticias o fideos secos destinados al consumo humano.

Tabla 1 Parámetros de pastas alimenticias.

Requisito	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Humedad	%	-	14,0	NTE INEN-ISO 712
Cenizas*				
Sémola de trigo duro		-	1,30	NTE INEN-ISO 2171
Harina de trigo		-	0,85	
Mezcla de sémola de trigo duro y harina de trigo		-	0,98	
Sémola integral de trigo duro o harina integral de trigo	%	-	2,10	
Compuestos				
Con huevo		-	1,20	
Con vegetales		-	1,50	
Con gluten u otra fuente proteica		-	1,10	
Rellenos		-	2,60	
Proteína*				
Sémola de trigo duro y harina de trigo		10,5	-	NTE INEN-ISO 20483
Mezcla de sémola de trigo duro y harina de trigo		10,5	-	
Sémola integral de trigo duro o harina integral de trigo	%	11,5	-	
Compuestos				
Con huevo		12,5	-	
Con vegetales		10,0	-	
Con gluten u otra fuente proteica		18,0	-	
Rellenos		12,0	-	
Acidez, expresada como ácido sulfúrico	%	-	0,45	NTE INEN 521
Colesterol**, en base seca	mg/kg	150	-	AOAC 994.10***
<p>* Expresado en fracción de masa en base seca, en porcentaje. ** Requisito solo para pastas alimenticias o fideos en los que durante el proceso se han incorporado huevos frescos, enteros, congelados o deshidratados. *** Los métodos AOAC pueden ser utilizados para fines de control de calidad.</p>				

Fuente: [16]

1.4.6.1 Flujograma del proceso de elaboración del fideo tipo regin.

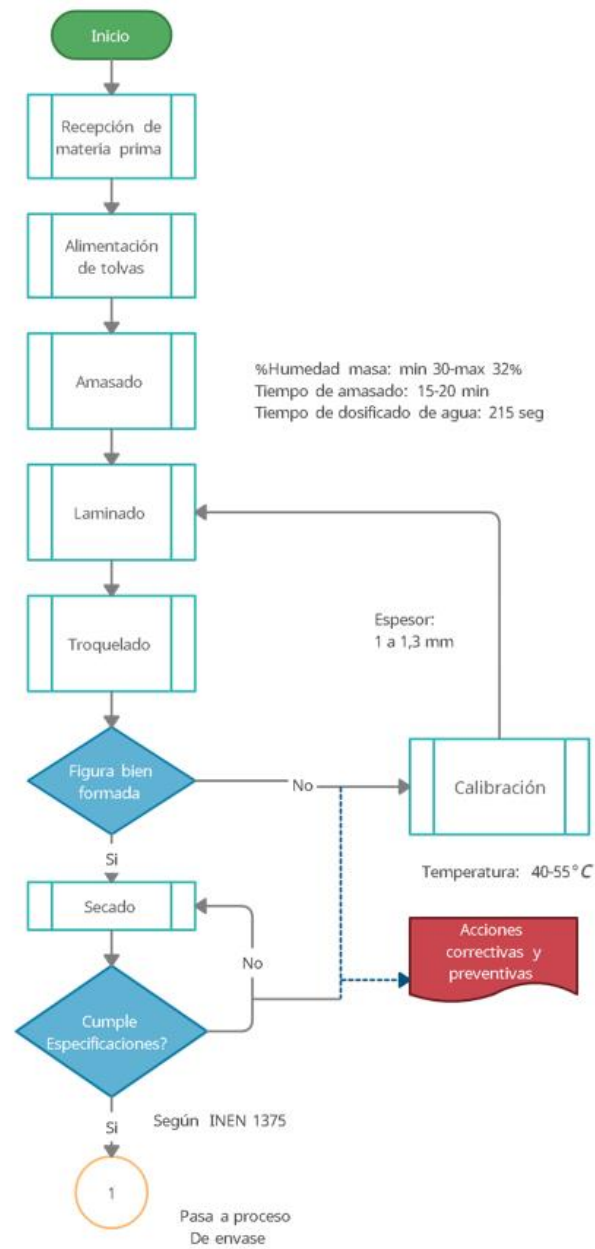


Figura 8 Flujograma usado en Industrias Catedral S.A. [4]

1.4.7 Dinámica de fluidos computacional (CFD)

Es el área que estudia el comportamiento de flujos de fluidos, transferencia de calor, fenómenos como combustión etc. Mediante la combinación de dos disciplinas: mecánica de fluidos y métodos numéricos. Es ampliamente utilizada en la industria automotriz y aeronáutica, puesto que con las herramientas CFD es posible: simulador flujos de aire, evaluar la transferencia de calor en equipos como motores [17].

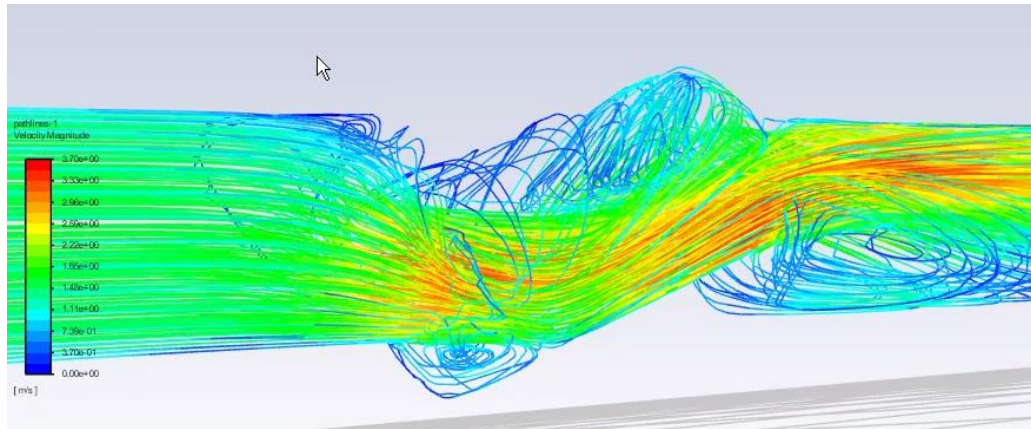


Figura 9 Flujo de agua dentro de tubería.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES

En el presente trabajo experimental se aplicaron recursos que permiten la toma e interpretación de datos como hojas de cálculo y dispositivos de medición.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 De campo

Debido a que se obtuvo datos e información, desde el sitio que se plantea el problema, en la planta Matriz de Industrias Catedral S.A. estando en contacto con técnicos del área de mantenimiento lo cual permitió obtener información primaria como: fichas técnicas y dossier de la maquinaria que interviene en el proceso de secado de fideo, además que se recopiló información necesaria para el posterior análisis energético.

2.2.2 Descriptivo

Puesto a que dentro del área de producción de Industrias Catedral S.A. donde se analizó y evaluó el problema, describiendo maquinaria y componentes que intervienen directamente en el proceso de secado.

Tabla 2 Características de Caldera.

Caldera Jacob's	
Modelo	JM-50-100 HPAC
No. Serie	JHAC-0150-12
Potencia	421785 kcal/h - 490.54 KW
Año	2012

Tabla 3 Características de bomba

Bomba 30A- L2	
Conexión de succión	3 pulgadas
Conexión de descarga	3 pulgadas
Caudal medio	130 GPM - $0,0082017 \text{ m}^3/s$
Motor	Eje libre
Potencia	Hasta 20 HP

Tabla 4 Características de ventiladores

Ventilador	
Diámetro	65 cm
Número de aspas	11
Velocidad de aire	$9,3 \text{ m/s}$

Tabla 5 Características de radiador

Radiador	
Longitud	1,8 m
Número de tubos	6
Diámetro	3/4 pulgada
Área de cada tubo	$0,16 \text{ m}^2$

2.2.3 Bibliográfico documental

Se manejó información confiable y actualizada del problema a indagar, partiendo de fuentes como libros, publicaciones científicas y tesis relacionadas con el análisis y eficiencia térmica.

2.3 TÉCNICAS

2.3.1 Análisis documental

Se identificaron los parámetros necesarios y correlacionados con la investigación en bibliografías previas.

2.3.2 Análisis cuantitativo

Se realizaron mediciones y recopilación de datos para la realización de cálculos de energía aprovechada y energía perdida, así como eficiencia en el proceso de secado de fideo.

2.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

2.4.1 Variable independiente

Análisis térmico para el proceso de secado de fideo tipo regin en la empresa Industrias Catedral S.A.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El análisis térmico consiste en efectuar un estudio mediante recopilación y toma de datos para el análisis de pérdidas por transferencia de calor en el proceso de secado de fideo tipo regin.	Análisis Térmico	Temperaturas	¿Cuáles son las temperaturas de trabajo en el sistema de secado de fideo tipo regin?	Investigación bibliográfica Toma de datos Hojas de calculo
		Componentes del sistema		
	Transferencia de calor	Materiales	-madera tipo Cholguan -Acero -Material aislante	Investigación bibliográfica
		Conducción	¿Cuál es la cantidad de calor transmitida por conducción?	Hoja de datos
		Convección	¿Cuál es la cantidad de calor transferida por convección?	

2.4.2 Variable dependiente

Eficiencia del secador estático

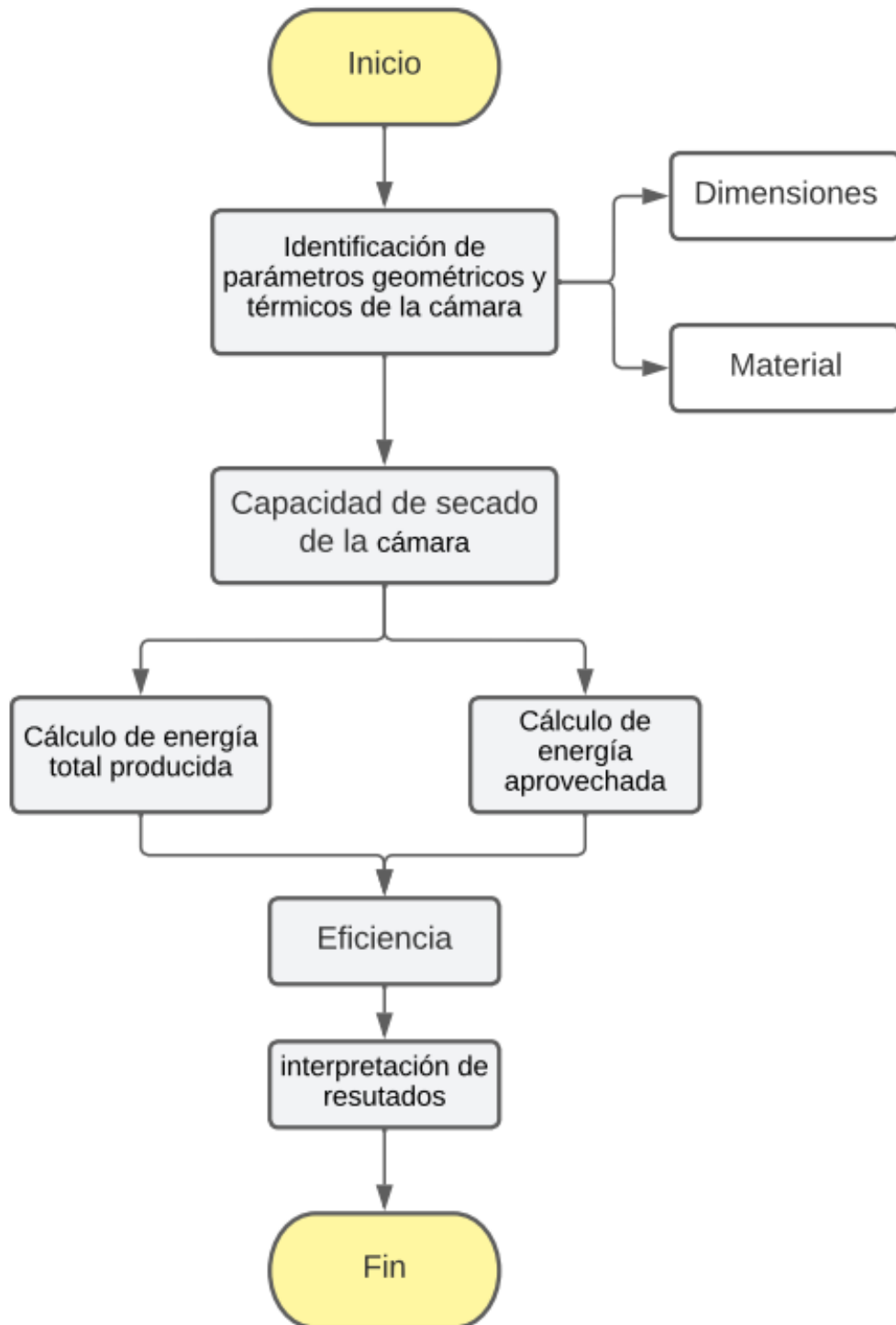
CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La eficiencia consiste en determinar la relación existente entre la energía aprovechada y la energía total producida	Eficiencia térmica	Calor suministrado	¿Cuál es la cantidad de calor suministrado?	Investigación bibliográfica
		Calor aprovechado	¿Cuál es la cantidad de calor aprovechado?	Hojas de calculo
		Calor no aprovechado	¿Cuál es la cantidad de calor no aprovechado?	Hoja de datos

2.4.3 Hipótesis

La aplicación de análisis térmico permitirá determinar niveles de eficiencia para el proceso de secado de fideo tipo regin en la empresa Industrias Catedral S.A.

2.5 PROCEDIMIENTO DE TOMA DE DATOS

2.5.1 Determinación de eficiencia en la cámara de secado



2.5.2 Simulación del flujo de aire caliente al interior de la cámara de secado

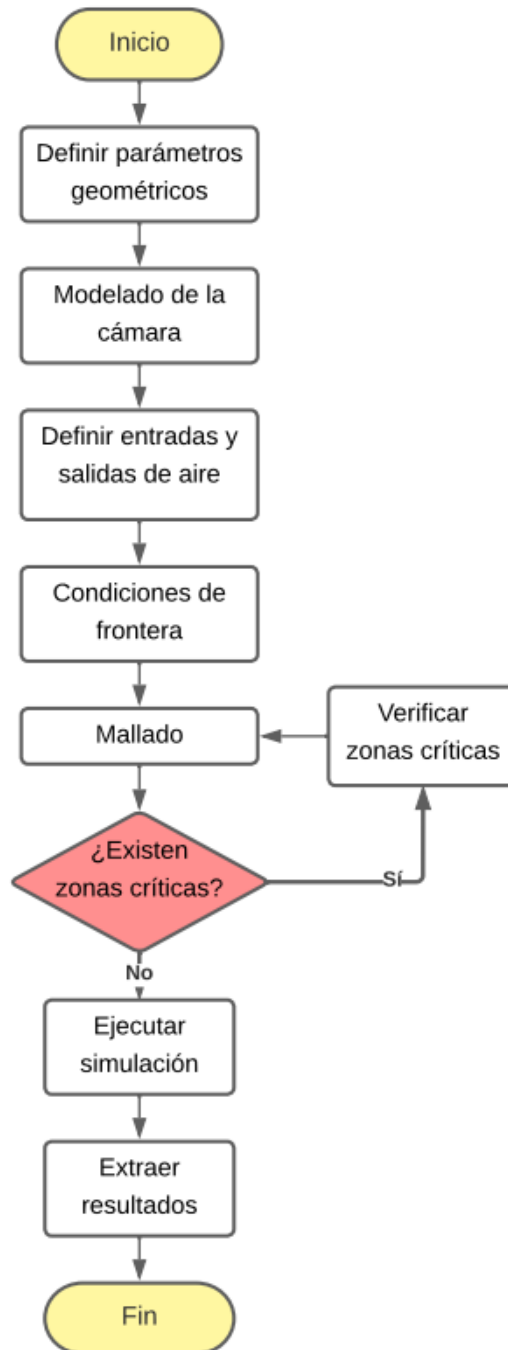
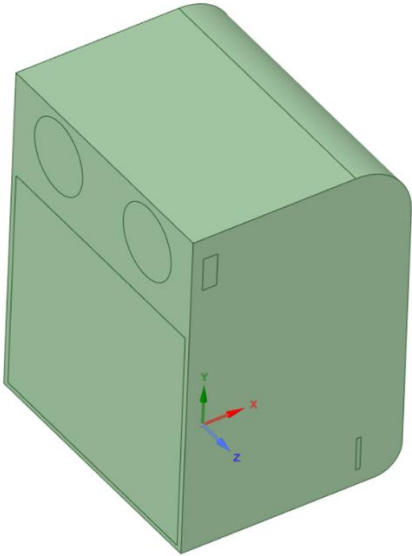
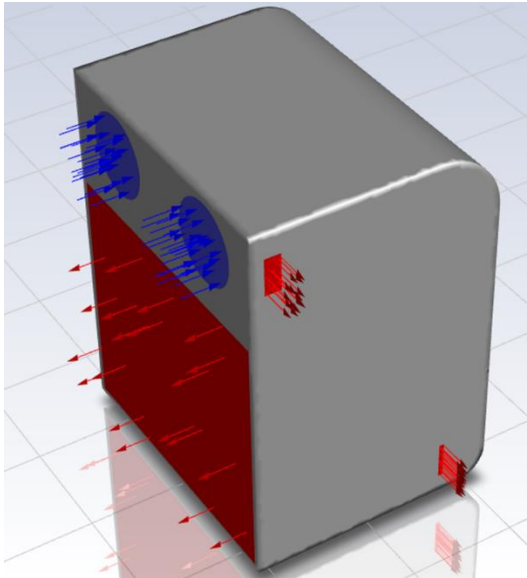


Tabla 6 Parámetros geométricos para simulación CFD

Extracción volumen de fluido	Entradas y salidas de aire
	
<p>Volumen: $14,23 \text{ m}^3$ Área de superficie: $35,07 \text{ m}^2$</p>	<p>Velocidad de entrada: $9,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$</p>

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión

3.1.1 Parámetros físico térmicos que intervienen en el proceso de secado de fideo

Cada secador estático se carga con fideo ubicado en bandejas, las cuales se transportan usando torres móviles.



Figura 10 Torres de secado

Tabla 7 Parámetros físico-térmicos en fideo tipo regin

Parámetro	Símbolo	Magnitud	unidades
Masa de porción de fideo	mf	0,2105	kg
Número deláminas de fideo por bandeja	lam	13	
Número de bandejas	#B	24	
Número de torres por secador	#T	8	
Masa total		525,408	kg

Tiempo de secado en horas	t	18	horas
tiempo total	Δt	64800	segundos
Temperatura inicial	T_o	24	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura final	T_f	40,4	$^{\circ}\text{C}$
Cp masa	C_p	2,72	$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{K}$

Tabla 8 Parámetros físico-térmicos en fideo tipo cabello

Parámetro	Símbolo	Magnitud	unidades
Masa de porción de fideo	mf	0,079	kg
Número de rollos de fideo por bandeja	Roll	30	
Número de bandejas	#B	22	
Número de torres por secador	#T	8	
masa total		417,120	kg

Tiempo de secado en horas	t	14	horas
tiempo total	Δt	50400	segundos
Temperatura inicial	T_o	24	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura final	T_f	54	$^{\circ}\text{C}$
Cp masa	C_p	2,72	$\text{KJ/kg}^{\circ}\text{K}$

3.1.2 Parámetros de operación

La empresa Industrias Catedral S.A. posee cuatro áreas de producción de pasta denominadas: túneles 1, 2, 3, 4. El presente trabajo experimental se enfocó en el análisis térmico del área de producción túnel 1, mismo que comprende la producción de fideo tipo Regin y tipo cabello. Esta área está equipada con 12 cámaras de secado estático; 3 secadores utilizados para la producción de fideo tipo cabello, 8 secadores se utilizan para la producción de fideo tipo Regin, y el secador faltante se encuentra actualmente fuera de servicio. En producción normal únicamente se usan aleatoriamente 6 secadores (estos secadores poseen las mismas geometrías y configuraciones)

Para evaluar la eficiencia térmica, la Empresa Industrias Catedral S.A. facilitó datos de producción que influyen en la función de operación de los secadores estáticos. la figura 3-2 muestra los equipos utilizados en la producción de fideo tipo Regin.

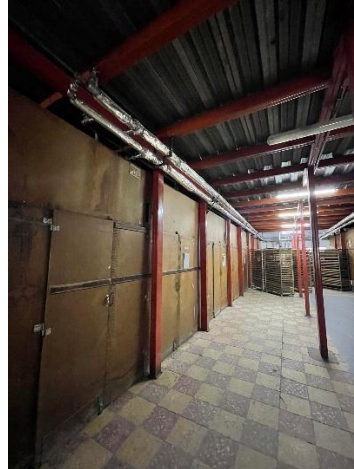


Figura 11 Secadores estáticos de bandejas

Para la producción de fideo tipo cabello se utilizan los secadores mostrados en la figura 12.



Figura 12 Secadores Estáticos de bandejas

En esta área de producción las cámaras de secado poseen una gran carga horaria ya que la operación es ininterrumpida las 24 horas del día, comenzando a las 8 am del día lunes y termina a las 8 am del día sábado. La producción diaria de fideo tipo regin opera con un promedio de 6 secadores, de los 8 instalados:

Tabla 9 Producción diaria de fideo tipo Regin

Producción promedio de Fideo tipo Regin		
Capacidad máxima de producción por secador	525,40	kg
Producción normal (6 secadores)	3152,40	kg
Producción máxima (8 secadores)	4203,20	kg

En el caso del fideo tipo cabello, este opera diariamente con los 3 secadores instalados.

Tabla 10 Producción diaria de fideo tipo cabello

Producción promedio de fideo tipo Cabello		
Capacidad máxima de producción por secador	417,12	kg
Producción normal con 3 secadores	1251,36	kg

3.1.3 Dimensiones de los secadores estáticos de bandejas

Las dimensiones exteriores de una cámara de secado tipo se muestran esquemáticamente en las figuras 13 y 14

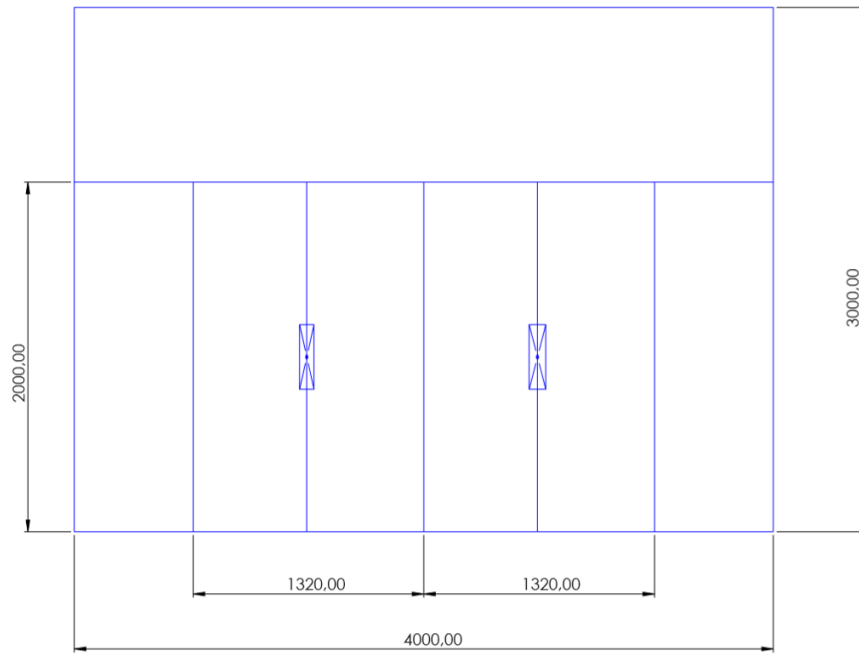


Figura 13 Vista frontal puertas de acceso a cámara de secado tipo, dimensiones en mm

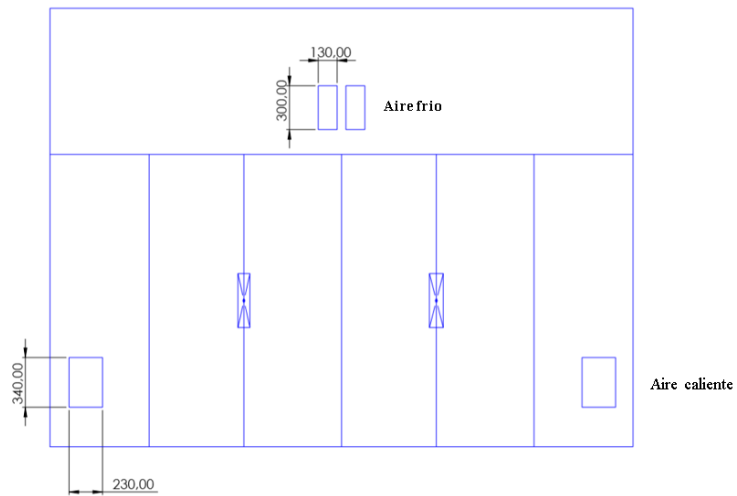


Figura 14 Ubicación de aberturas para salida de aire caliente, dimensiones en mm

3.1.4 Análisis de la transferencia de calor dentro del secador para fideo tipo regin

3.1.4.1 Material

Al ser un secador utilizado para el proceso de fabricación de un producto destinado al consumo humano, el material de cada cámara de secado en su gran mayoría es madera, por lo que para el análisis térmico de pérdidas se consideró únicamente este material.

3.1.4.2 Temperatura en paredes

Para determinar la temperatura en paredes externas se delimito 5 puntos de medición, en la pared frontal del secador.

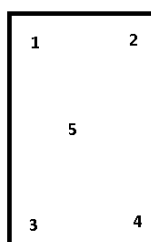


Figura 15 Puntos de medición en paredes externas

A continuación, se muestra los resultados obtenidos al realizar la medición en los puntos delimitados, se trabajó con una temperatura promedio.

Tabla 11 Temperaturas en pared externa

Temperatura exterior en la pared en puntos de medicion		
1	35,1	°C
2	35,4	°C
3	35	°C
4	34,7	°C
5	35,3	°C
Promedio	35,1	°C

Para la obtención de la temperatura en la pared interna se realizó de la misma manera descrita anteriormente, mediante equipo de medición obteniendo un valor promedio de 41,6 °C a la salida del producto.

A continuación, se comprueba la temperatura en la pared exterior mediante la utilización un software de elementos finitos, partiendo de la temperatura conocida en la pared interna del secador, resultando valores similares a los tomados con equipos de medición. El modelo analítico para la resolución de transferencia de calor por conducción, a través de las paredes es:

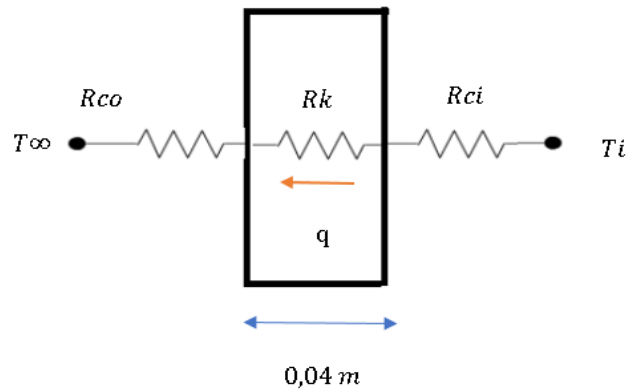


Figura 16 Resistencias térmicas conducción en pared



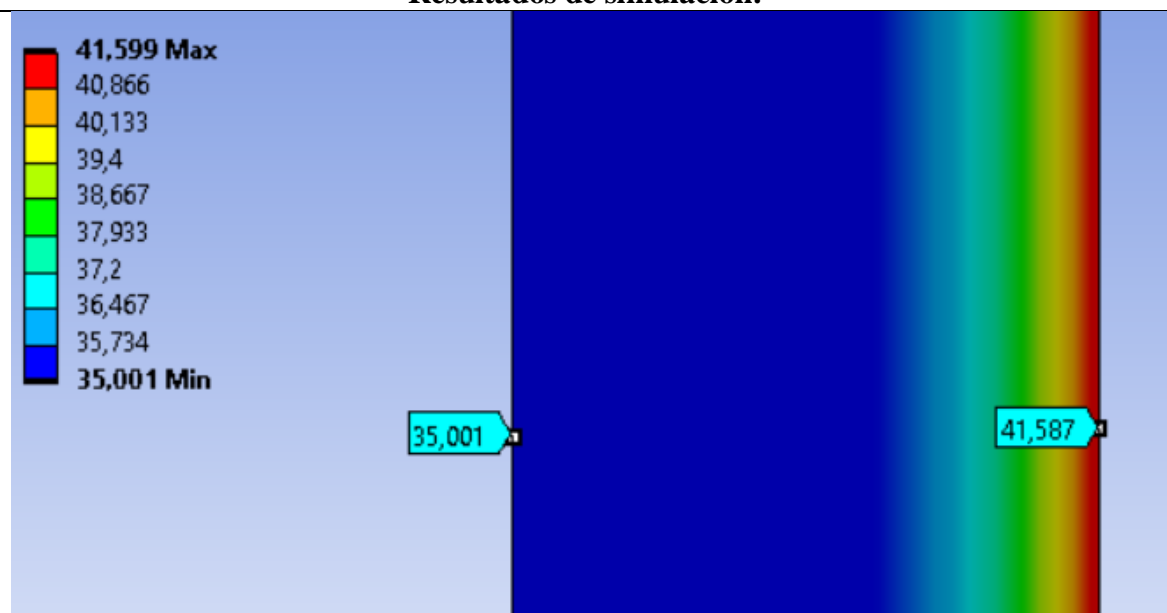
$$Rk = \frac{L}{k * A}$$

$$Rci = \frac{1}{hi * A}$$

$$Rco = \frac{1}{ho * A}$$

$$Req = Rk + Rci + Rco$$

$$q = \frac{Ti - T_{\infty}}{Req}$$

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Conducción en pared plana secador “Plano XY”		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento:
	Temp máx.:41,6°C	Cuadrados	1 minuto
N° nodos:	2109	Tipo de análisis:	Térmico
N° elementos:	600	Tipo de Cargas:	Temperatura
Realizado por:	Nicolás Goyes	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
			
Análisis: El resultado muestra la distribución de temperaturas en la sección transversal de la pared del secador obteniendo una temperatura mínima de 35,001 °C. Mientras que el resultado de medición fue 35,1 °C			

3.1.4.3 Convección natural exterior a la cámara

Se analiza la transferencia de calor por convección debido a que la proporcionalidad directa entre la temperatura ambiente y superficie del secador, esta última coincide con la pared

externa de la cámara de secado. Al momento de tomar la temperatura ambiente del área de producción analizada se obtuvo un valor de 24°C. Por lo tanto, la pérdida por convección natural en el secador está dado por:

Tabla 12 Pérdida por convección natural

Convección natural			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidades
Propiedades del aire a 24 °C			
Conductividad térmica	k	0,025436	W/m °K
Viscosidad cinemática	ν	1,55E-05	m^2/s
Número de Prandtl	Pr	0,7298	
Área	a	12	m^2
Altura	x	3	m
Temperatura ambiente	T_{∞}	297	°K
Temperatura en pared	T_w	307	°K
Resultados			
Temperatura de película	T	302,000	°K
Coefficiente volumétrico de expansión	β	3,31E-03	K^{-1}
Grashoff	Gr	36411820636	
Rayleigh	Ra	26573346700	
Nusselt	Nu	345,344	
Coefficiente de convección	h	2,928	$\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$
Calor por convección natural por secador	q	0,351	KW



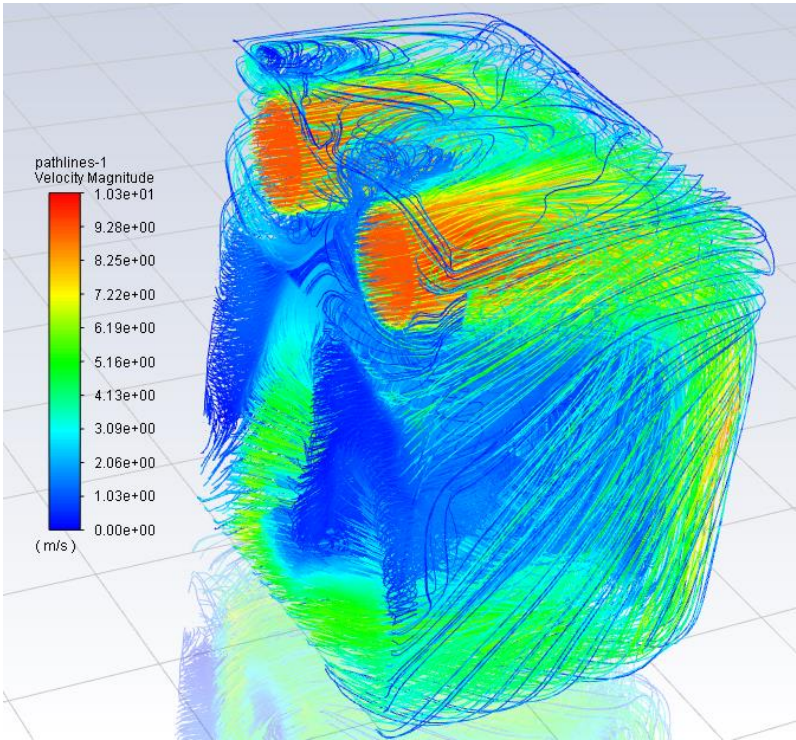
3.1.4.4 Análisis Calor en Bandejas

Al interior de la cámara de secado en la parte superior se encuentran dos ventiladores de iguales dimensiones, se identificó las características principales de los ventiladores.

Tabla 13 Características Ventilador

Características del ventilador	
Diámetro (m)	0,65
Velocidad (m/s)	10

Para que el proceso de secado se lleve a cabo, el fideo se coloca en bandejas, siendo 192 bandejas en cada secador, debido al número elevado de bandejas, también se le debió considerar dentro del análisis. Ya que la distancia entre bandeja es reducida, la velocidad del aire entre bandejas promedio medido por equipo es: $0,5 \text{ m/s}$. Dada esta aclaración el calor perdido en las bandejas resulta:

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Distribución de aire al interior del secador “Pathlines”		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento:
	Inlets: 9,3 m/s	Tetraedros	2 horas
N° nodos:	77326	Tipo de análisis:	CFD Estacionario
N° elementos:	405375	Tipo de Cargas:	Velocidad de viento
Realizado por:	Nicolás Goyes	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
			
<p>Análisis: El resultado da una mejor interpretación de cómo se está con distribuyendo el aire dentro de una cámara de secado, desde que sale de los ventiladores con una velocidad de 9,3 m/s, en las paredes circula a una velocidad de 5,16 m/s.</p>			

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Distribución de aire al interior del secador “Plano XY”		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento:
	Inlets: 9,3 m/s	Tetraedros	2 horas
N° nodos:	77326	Tipo de análisis:	CFD Estacionario
N° elementos:	405375	Tipo de Cargas:	Velocidad de viento
Realizado por:	Nicolás Goyes	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
<p>Análisis: El resultado muestra cómo se distribuye el aire dentro de una cámara de secado, desde la salida de los ventiladores. El área donde se desarrolla el proceso de secado comprende velocidades en un rango de 0 – 2 m/s debido a las simplificaciones de geometrías realizadas en el análisis CFD, en la toma de datos con equipos se obtuvo 0,5 m/s.</p>			

Tabla 14 Transferencia de calor por convección forzada en bandejas en fideo Regin

Calor en las bandejas			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidades
Temperatura inicio del proceso	T_{∞}	297	°K
Temperatura max al interior	T_w	314,6	°K
Temperatura promedio	T	305,8	°K
Propiedades del aire a 305,8 °K			
Conductividad térmica	k	0,026087	W/m °K
Viscosidad cinemática	ν	1,63E-05	m^2/s
Número de Prandtl	Pr	0,7274	
Longitud placa plana	x	1	m
Velocidad	v	0,5	m/s
Área total	A	115,2	m^2
Resultados			
Número de Reynolds	Re	3,06E+04	Flujo turbulento
Nusselt	Nu	104,460	
Coefficiente de convección	\bar{h}	2,725	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Calor en las bandejas	q	5,525	KW

3.1.4.5 Calor por salida de aire en aberturas

El secador posee aberturas de salida de aire caliente en la parte inferior, por este simple hecho se evaluó las pérdidas de calor generado en esta región. La abertura posee una malla por lo que se debe considerar un área efectiva del 65% del área real. Considerando esto la pérdida generada en el secador es:

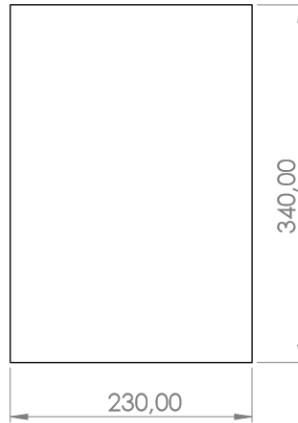


Figura 17 Dimensiones de aberturas de salidas de aire en mm

Tabla 15 Calor perdido en salidas de aire

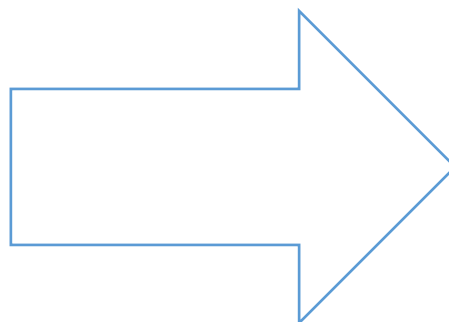
Calor salidas de aire			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidades
Velocidad del aire	v	2,1	m/s
Temperatura de salida	Ts	305	°K
Área	A	0,078	m ²
Área efectiva	Aef	0,033	m ²
Entalpía del aire	h	305	KJ/Kg
Flujo másico	\dot{m}	0,0735	Kg/s
Calor perdido en salida de aire	q	22,42	KW

3.1.4.6 Análisis de calor aprovechado por el fideo Regin

Proceso húmedo:

525,408 kg

Humedad: 30 %



Proceso seco:

367,785 kg

Humedad extraída:

157,622 kg

b. Calor consumido por la masa

Tabla 16 Total de masa en un secador

Parámetro	Símbolo	Magnitud	unidades
Masa de porción de fideo	mf	0,2105	kg
Número deláminas de fideo por bandeja	lam	13	
Número de bandejas	#B	24	
Número de torres por secador	#T	8	
Masa total		525,408	kg

Tiempo de secado en horas	t	18	horas
tiempo total	Δt	64800	segundos
Temperatura inicial	To	24	°C
Temperatura final	Tf	40,4	°C
Cp masa	Cp	2,72	kJ/kg *K
Calor de masa	\dot{Q}_m	0,362	KW

c. Calor consumido por evaporación del agua

Tabla 17 Calor consumido para evaporizar el agua

Temperatura al finalizar el proceso	T_{fp}	40,4	°C
Calor latente de evaporación a 40,4 °C	Hfg	2405,3	kJ/kg
Humedad entrada	Ho	30	%
Humedad a la salida	Hf	11,5	%
Calor de evaporación del agua	\dot{Q}_{Agua}	3,705	KW

d. Calor aprovechado en un secador

Tabla 18 Calor aprovechado en un secador

Calor aprovechado por fideo en un secador		
Q_{regin}	4,067	KW

3.1.4.7 Resumen Flujo de calor en un secador estático de bandejas

Tabla 19 Flujo de calor dentro de un secador para fideo tipo Regin

Regin		
Resumen Flujo de Calor		
Calor aprovechado	4,067	KW
Pérdida por convección natural	0,351	KW
Calor en bandejas	5,525	KW
Pérdida por salidas de aire	22,420	KW

3.1.4.8 Análisis de entradas de energía al secador estático de Bandejas para la producción de fideo tipo Regin.

Durante el estudio del trabajo experimental se identificó las entradas de calor al secador las cuales son:

- Calor en radiadores
- Calor de aire entrada
- Calor motor eléctrico

e. Calor por Radiadores

Al interior de la cámara de secado estático de bandejas existen dos radiadores los cuales emiten calor hacia la cámara cuyas características son:

Tabla 20 Características Radiador

Radiador	
Longitud	1,8 m
Número de tubos	6
Diámetro	3/4 pulgada
Área de cada tubo	0,16 m ²

Tabla 21 Coeficiente de convección en flujo externo alrededor de un cilindro

Coeficiente de convección forzada en el Radiador			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidades
Temperatura ambiente	T_{∞}	300	°K
Temperatura max al interior	T_f	314,6	°K
Temperatura superficie del radiador	T_s	348	°K
Diámetro tubo radiador	ϕ_r	0,01905	m
Área de un tubo	A_t	0,16	m ²
Velocidad	v	9,3	m/s
Propiedades del aire a 300 °K			
Conductividad térmica	k	0,0263	W/m °K
Viscosidad cinemática	ν	1,589E-05	m ² /s
Número de Prandtl	Pr	0,707	
Propiedades del aire a 314,6 °K			
Conductividad térmica	k	0,02738	W/m °K
Viscosidad cinemática	ν	1,735E-05	m ² /s
Número de Prandtl	Pr	0,704	
Temperatura superficial del radiador 350 °K			
Número de Prandtl	Pr	0,700	
Resultados			
Reynolds	Re_D	11149,465	Flujo Turbulento
Constantes relación de Zhukauskas			
C		0,26	
m		0,6	
Número de Nusslet	$\overline{Nu_D}$	61,47	
Coeficiente de convección	\bar{h}	84,86	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$

Una vez determinado el coeficiente de convección, se calcula el calor suministrado por el radiador, con la siguiente ecuación.

$$\dot{Q}_r = \bar{h} * A * (T_s - T_\infty) \quad \text{Ec 3-1}$$

$\dot{Q}_r \rightarrow$ Calor del Radiador W

$\bar{h} \rightarrow$ coeficiente de convección $\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$

$A \rightarrow$ Área total tubos m^2

$T_s \rightarrow$ Temperatura superficial $^\circ C$

$T_\infty \rightarrow$ Temperatura ambiente dentro de la cámara $^\circ C$

$$\dot{Q}_r = 84,86 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} * (0,16 * 6)m^2 * (75^\circ C - 41,6^\circ C)$$

$$\dot{Q}_r = 2,72 \text{ KW}$$

al existir dos radiadores iguales se considera el doble del valor

$$\dot{Q}_r = 5,44 \text{ KW}$$

f. Calor aire de entrada

Mediante la primera ley de la termodinámica el flujo másico de aire de salida es igual al flujo másico de entrada, con un valor de: $0,0735 \frac{Kg}{s}$ y la temperatura de entrada de aire es $297^\circ K$

$$\dot{q}_{\text{aire entrada}} = \dot{m} * h_{\text{aire}} \quad \text{Ec 3-2}$$

$\dot{q}_{\text{aire entrada}} \rightarrow$ Calor de aire a la entrada KW

$\dot{m} \rightarrow$ Flujo másico de aire a la entrada $\frac{Kg}{s}$

$h_{\text{aire}} \rightarrow$ Entalpia de aire a la entrada $\frac{KJ}{Kg}$

$$\dot{q}_{\text{aire entrada}} = 0,0735 \frac{Kg}{s} * 297 \frac{KJ}{Kg}$$

$$\dot{q}_{aire\ entrada} = 21,82\ KW$$

g. Calor de motor eléctrico

Dentro del secador estático de bandejas existe un motor eléctricos de potencia:

$$\dot{Q}_{motor} = 4,2\ KW$$

Por lo tanto, el calor total que en ingresa al secador estático de bandejas para fideo tipo Regin es:

$$\dot{Q}_{Total} = \dot{Q}_r + \dot{q}_{aire\ entrada} + \dot{Q}_{motor}$$

$$\dot{Q}_{Total} = 5,44\ KW + 21,82\ KW + 4,2\ KW$$

$$\dot{Q}_{Total} = 31,46\ KW$$

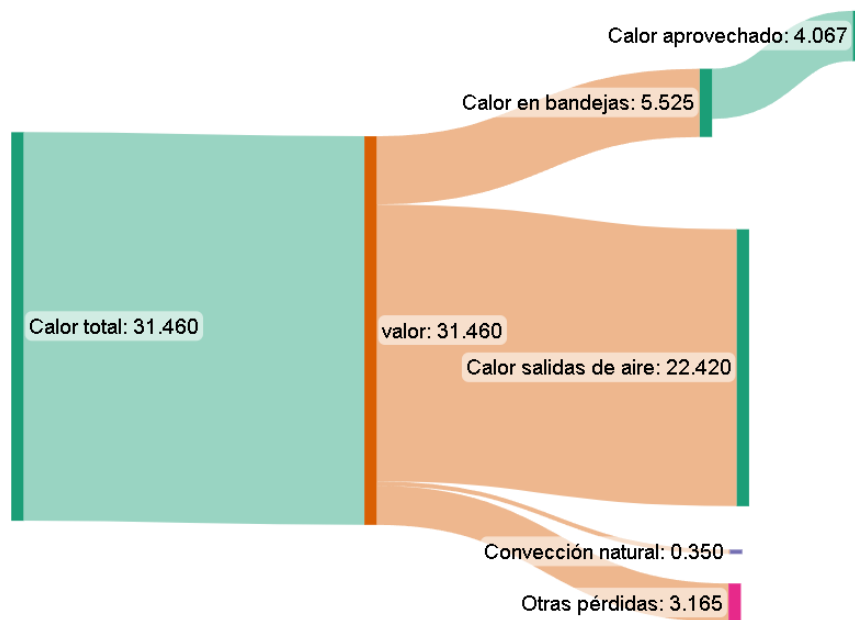


Figura 18 Diagrama Sankey de un secador de fideo tipo Regin

Tabla 22 Resumen de valores porcentuales de flujo de calor fideo tipo Regin

Regin		
Resumen Flujo de Calor (KW)		
Energía suministrada al secador	31,46	100%
Calor aprovechado	4,067	13%
Pérdida por convección natural	0,351	1%
Calor en bandejas	5,525	18%
Pérdida por salidas de aire	22,420	71%
Otras pérdidas	3,164	10%

3.1.5 Análisis de transferencia de calor en sacadores para fideo tipo cabello

Debido que, en el área de producción estudiada, existen tres secadores estáticos de bandejas destinados a la producción de fideo tipo cabello se analiza la transferencia de calor de la misma manera anteriormente expuesta.



Figura 19 Secador estático de bandejas para fideo tipo cabello

3.1.5.1 Análisis convección natural exterior a la cámara

Tabla 23 Análisis por convección natural

Convección natural			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidades
Propiedades del aire a 24 °C			
Conductividad térmica	k	0,025436	W/m °K
Viscosidad cinemática	ν	1,55E-05	m^2/s
Número de Prandtl	Pr	0,7298	
Área	a	12	m^2
Altura	x	3	m
Temperatura ambiente	T_{∞}	297	°K
Temperatura en pared	T_w	306,1	°K
Resultados			
Temperatura de película	T	301,550	°K
Coeficiente volumétrico de expansión	β	3,32E-03	K^{-1}
Rayleigh	Ra	24217831670	
Nusselt	Nu	335,287	
Coeficiente de convección	h	2,843	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Calor por convección natural	q	0,310	KW

3.1.5.2 Análisis Calor en las bandejas

Tabla 24 Transferencia de calor por convección forzada en bandejas en fideo Cabello

Calor en las bandejas			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	unidades
Temperatura inicio del proceso	T_{∞}	297	°K
Temperatura max al interior	T_w	327	°K
Temperatura promedio	T	312	°K
Propiedades del aire a 312 °K			
Conductividad térmica	k	0,02625	W/m °K
Viscosidad cinemática	ν	1,69E-05	m^2/s
Número de Prandtl	Pr	0,72576	
Longitud placa plana	x	1	m
Velocidad	v	0,4	m/s
Área total	A	105,6	m^2
Resultados			
Numero de Reynolds	Re	2,36E+04	Flujo turbulento
Nusselt	Nu	91,732	
Coficiente de convección	\bar{h}	2,408	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Calor en las bandejas	q	7,628	KW

3.1.5.3 Análisis Calor en salidas de aire



Figura 20 Dimensiones de aberturas de salidas de aire en mm

Tabla 25 Análisis en salidas de aire

Calor perdido en salidas de aire			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	unidades
Velocidad del aire	v	3,1	m/s
Temperatura de salida	Ts	307	°K
Área	A	0,012	m ²
Área efectiva	Aef	0,005	m ²
Entalpía del aire	h	307	KJ/Kg
Flujo másico	\dot{m}	0,0161	Kg/s
Calor perdido en salida de aire	q	4,929	KW

3.1.5.4 Calor consumido por la masa

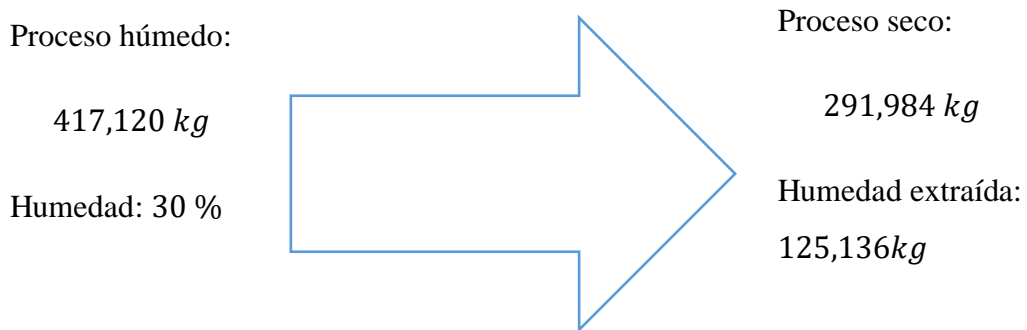


Tabla 26 Calor aprovechado en fideo tipo cabello

Calor aprovechado en fideo tipo Cabello			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidades
Masa de porción de fideo	mf	0,079	kg
Número de rollos de fideo por bandeja	R	30	
Número de bandejas	#B	22	
Número de torres por secador	#T	8	
masa total		417,120	kg
Tiempo de secado en horas	t	14	horas
tiempo total	Δt	50400	segundos
Temperatura inicial	To	24	°C
Temperatura final	Tf	54	°C
Cp masa	Cp	2,72	KJ/kg*K
Calor de masa	Q_m	0,675	KW

3.1.5.5 Calor consumido por evaporación del agua

Tabla 27 Calor aprovechado para evaporación

Temperatura al finalizar el proceso	T_{fp}	54	°C
Calor latente de evaporación a 54 °C	Hfg	2598,3	kJ/kg
Humedad entrada	Ho	30	%
Humedad a la salida	Hf	11	%
Calor de evaporacion del agua	$Q_{\dot{A}gua}$	4,086	KW

3.1.5.6 Calor aprovechado en un secador

Tabla 28 Calor aprovechado en un secador

Calor aprovechado por fideo en un secador		
$Q_{\dot{c}abello}$	4,761	KW

3.1.5.7 Resumen Flujo de calor en un secador estático de bandejas

Tabla 29 Flujo de calor dentro de un secador

Cabello		
Resumen Flujo de Calor		
Calor aprovechado	4,761	KW
Pérdida por convección natural	0,310	KW
Calor en bandejas	7,628	KW
Pérdida por salidas de aire	4,929	KW

3.1.5.8 Análisis de entradas de energía al secador estático de Bandejas para la producción de fideo tipo Cabello.

Se determina el calor suministrado por el aire de entrada posteriormente, se realiza el mismo procedimiento realizado en el ítem 3.1.3.8

$$\dot{q}_{\text{aire entrada}} = \dot{m} * h_{\text{aire}} \quad \text{Ec 3-2}$$

$$\dot{q}_{\text{aire entrada}} = 0,0161 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 297 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\dot{q}_{\text{aire entrada}} = 4,78 \text{ KW}$$

Tabla 30 Entrada de energía el secador

Entradas de energía al secador estático producción de fideo tipo Cabello.		
Calor de radiadores	5,44	KW
Calor de aire de entrada	4,78	KW
Calor de motor eléctrico	4,2	KW
Calor total	14,42	KW

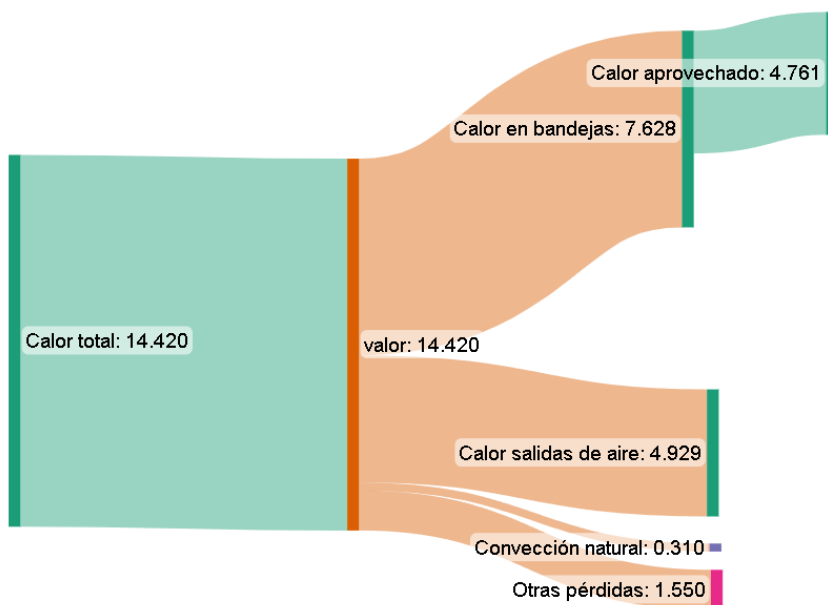


Figura 21 Diagrama Sankey de un secador de fideo tipo Cabello

Tabla 31 Resumen de valores porcentuales de flujo de calor fideo tipo Cabello

Cabello		
Resumen Flujo de Calor (KW)		
Energía suministrada al secador	14,42	100%
Calor aprovechado	4,761	33%
Pérdida por convección natural	0,310	2%
Calor en bandejas	7,628	53%
Pérdida por salidas de aire	4,929	34%
Otras pérdidas	1,552	11%

3.1.6 Eficiencia térmica en secado de producto

Dado que la eficiencia térmica viene dada como la relación entre la energía aprovechada y la energía producida en el sistema, la eficiencia de los secadores estáticos de bandeja para la producción de fideo tipo regin y cabello es:

$$\eta_{ter} = \frac{\dot{E}_{ap}}{\dot{E}_{rec}} \quad \text{Ec 3-3}$$

- Eficiencia para secado de fideo Regin

$$\eta_{ter} = \frac{4,067 \text{ KW}}{5,44 \text{ KW}} * 100\%$$

$$\eta_{ter} = 74,76 \%$$

- Eficiencia para secado de fideo Cabello

$$\eta_{ter} = \frac{4,761 \text{ KW}}{5,44 \text{ KW}} * 100\%$$

$$\eta_{ter} = 87,51 \%$$

3.1.7 Energía suministrada al sistema para calentamiento de agua

Los datos proporcionados indican que la caldera consume $40 \frac{gal}{dia}$ de diésel, siendo un flujo volumétrico de $1,752e^{-6} \frac{m^3}{s}$. Para determinar la energía suministrada al sistema usada para calentar el agua que circula por los radiadores de los secadores estáticos de bandejas, se usa la siguiente ecuación.

$$\dot{Q}_{suministrado} = \dot{V} * Pc * \rho \quad \text{Ec 3-4}$$

$\dot{Q}_{suministrado} \rightarrow$ Calor suministrado al sistema KW

$\dot{V} \rightarrow$ flujo volumétrico de diésel $\frac{m^3}{s}$

$Pc \rightarrow$ Poder calorífico diésel $\frac{KJ}{kg}$

$\rho \rightarrow$ densidad de diésel $\frac{kg}{m^3}$

$$\dot{Q}_{suministrado} = 1,752e^{-6} \frac{m^3}{s} * 44049,152 \frac{KJ}{kg} * 850 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{Q}_{suministrado} = 65,70 KW$$

3.1.8 Eficiencia global del sistema de alimentación de agua caliente para radiadores

Teniendo en cuenta que los secadores activos para la producción de fideo regin son 6 y para la producción de fideo cabello son 3, los flujos de calores totales en radiadores son los siguientes:

Flujo de calor en secadores estáticos de bandejas para fideo Regin: 32,64 KW

Flujo de calor en secadores estáticos de bandejas para fideo Cabello: 16,32 KW

$$\eta_{ter} = \frac{\dot{E}_{ap}}{\dot{E}_{rec}} \quad \text{Ec 3-3}$$

$$\eta_{sistema} = \frac{48,96}{65,70} * 100$$

$$\eta_{sistema} = 74,52\%$$

3.1.9 Verificación de hipótesis

En el análisis térmico para el proceso de secado de fideo en la empresa Industrias Catedral S.A desarrollado mediante un estudio de transferencia de calor dentro de los secadores estáticos de bandejas, permitió identificar que las pérdidas de calor más representativas son por convección natural y salidas de aire, las cuales sirvieron como parámetro de entrada para el balance energético y posterior cálculo de eficiencias.

En función del calor suministrado, calor aprovechado y pérdidas de energía cuantificadas se desarrolló el análisis térmico como medio para la obtención de los niveles de eficiencia que resultaron ser: del secador para fideo regin él 74,76 % secador para fideo cabello él 87,51 % y del sistema global del 74,52%, quedando de esta manera demostrada la hipótesis.

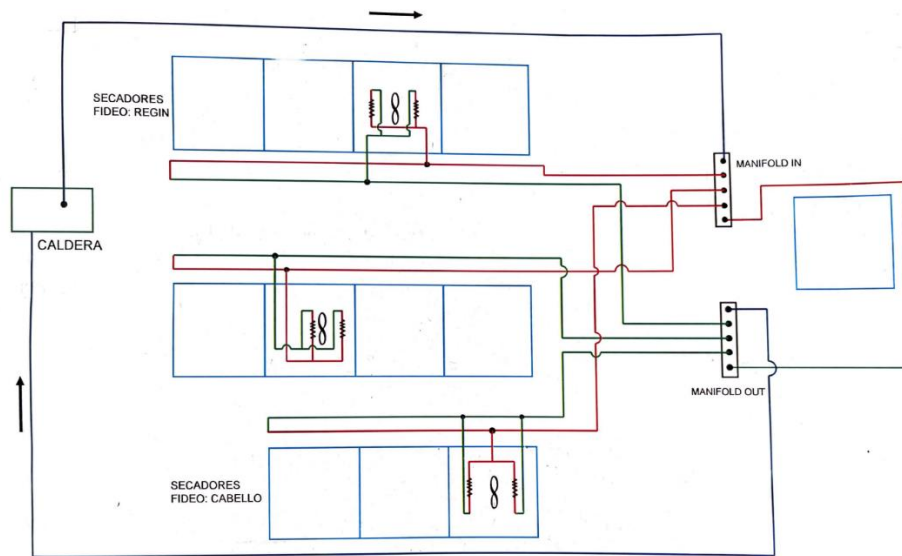


Figura 22 Distribución general del área de producción túnel 1

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Los parámetros físico-térmicos usados para el análisis térmico de los secadores estáticos de bandejas son:
 - Propiedades termo físicas del fideo:
Cp masa: $2,72 \frac{KJ}{kg*K}$
 - Temperaturas máximas de operación:
Fideo regin: 41,6 °C , fideo cabello: 54 °C
 - Tiempo total del proceso:
fideo regin 18 horas, fideo cabello 14 horas.
- Los secadores estáticos de bandejas tienen la capacidad media de procesar $942,52 \frac{kg}{dia}$ de fideo tipo regin y cabello, parámetro importante para cuantificar el calor útil aprovechado por el fideo. La humedad al finalizar el proceso de secado se redujo del 30 % al 11%.
- La pérdida de calor más significativa en los secadores estáticos de bandejas fue en las aberturas de aire caliente representando el 71% del flujo de calor en la producción de fideo tipo regin y 34% en fideo tipo cabello.
- La eficiencia térmica para el secado del producto se obtuvo con el cociente entre el calor aprovechado y la energía suministrada a la cámara, siendo un valor de 74,76 % para el fideo regin y del para el fideo cabello 87,51 %, la eficiencia global del sistema es 74,52%
- Los softwares de simulación CFD, son herramientas útiles que ayudan a tener una interpretación cualitativa y cuantitativa de los fenómenos físicos que ocurren en equipos industriales. En este caso permitió analizar la distribución de aire y conducción en paredes en los secadores estáticos de bandejas analizados.

4.2 RECOMENDACIONES

- Debido a la diferencia que existen entre el calor aprovechado y las pérdidas generadas se recomienda implementar sistemas de control para flujo de aire en secadores estáticos de bandejas con el fin de reducir pérdidas como en las salidas de aire, lo cual representa un consumo innecesario de energía.
- Para ampliar el estudio energético se recomienda realizar un estudio de la caldera con el fin de determinar niveles de eficiencia actualizados, así como un plan de mantenimiento.
- Se recomienda instalar aislantes en las tuberías ya que durante el estudio se evidenció que la mayoría de tuberías no poseen aislante térmico de ningún tipo, lo cual incide en las pérdidas de calor.
- Debido a que las temperaturas del proceso no son elevadas, se puede optar por la implementación del uso de energías alternativas como la solar.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. C. W. Wladimir, "ANÁLISIS TÉRMICO PARA EL PROCESO DE SECADO DE MADERA LAMINADA DE HASTA 5 MM DE ESPESOR EN LA EMPRESA ARBORIENTE S.A EN LA CIUDAD DE PUYO, PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA, Ambato, 2017 .

- [2] I. M. A. GUNCAY, "OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN PASTAS, Cuenca, 2017.

- [3] J. A. G. Suárez, «Modelación CFD y validación experimental del proceso de evaporación de agua en un secador por aspersión,» Universidad Nacional de Colombia, Bogota , 2015.

- [4] I. C. S.A., 14 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.industriascatedral.ec/NewIcsa/site/Historia.html>. [Último acceso: 04 Noviembre 2021].

- [5] F. P. Incropera, Fundamentos de Transferencia de Calor, Mexico: Pearson, 2005.

- [6] F. Kreith, Principios de transferencia de calor, Mexico: Cengage Learning, 2011.

- [7] Y. A. Cengel, Transferencia de calor y masa, Mexico: Mc Graw Hill , 2011.

- [8] J. Holman, Transferencia de calor, Mexico: COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL, S.A., 1999.

- [9] H. N. Shapiro, Fundamentos de Termodinamica tecnica, España: Reverte S.A., 2004.
- [10] K. C. Rolle, Termodinamica, Mexico: Pearson, 2006.
- [11] J. A. C. Ferrer, Curso basico de analisis termico, Alicante: Editorial Club Universitari, 2000.
- [12] Y. A. Cengel, Termodinamica, Mexico : Mc Graw Hill, 2012.
- [13] N. G. Garavito, Transferencia de calor, Bogota : Universidad Nacional de Colombia , 2008.
- [14] D. J. Sierra, «T solucion», 4 09 2020. [En línea]. Available: <https://t-solucion.com/funcionamiento-del-intercambiador-de-calor-a-placas/>. [Último acceso: 20 02 2022].
- [15] C.J.Geankoplis, Transporte y operaciones unitarias, Mexico: CECSA, 1998.
- [16] INEN, «Normalizacion», 11 12 2014. [En línea]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1375-2.pdf. [Último acceso: 22 02 2022].
- [17] V. J. Fonseca, «Transferencia de Calor», UNAD, Bogota , 2010.
- [18] H. h. exchangers, «Direct Industry», 25 06 2020. [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/hrs-heat-exchangers/product-90471-1637338.html>. [Último acceso: 20 02 2022].

ANEXOS
ANEXO A
SECADORES ESTÁTICO DE BANDEJAS INDUSTRIAS CATEDRAL S.A



ANEXO B
CALDERA SUMINISTRADOR DE ENERGÍA



ANEXO C
TOMA DE TEMPERATURAS



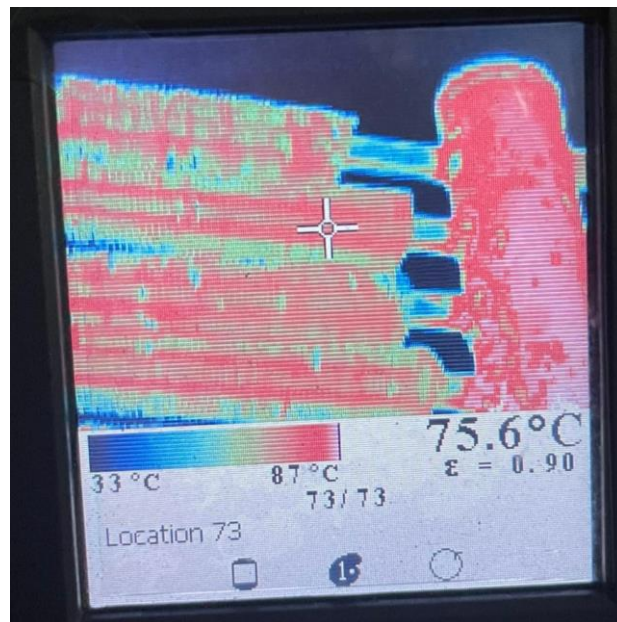
ANEXO D

TOMA DE VELOCIDAD DEL AIRE



ANEXO E

TOMA DE TEMPERATURA EN RADIADOR



ANEXO F
VENTILADOR



ANEXO G

PROPIEDADES DEL AIRE A PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Apéndice A ■ *Propiedades termofísicas de la materia*

839

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677

Fuente: [5]

ANEXO H

CONSTANTES PARA ECUACIÓN DE FLUJO CRUZADO

7.4 ■ *Flujo alrededor de un cilindro*

TABLA 7.4 Constantes de la ecuación 7.56 para el cilindro circular en flujo cruzado [16]

Re_D	C	m
1–40	0.75	0.4
40–1000	0.51	0.5
$10^3–2 \times 10^5$	0.26	0.6
$2 \times 10^5–10^6$	0.076	0.7

Fuente: [5]

ANEXO I

CATÁLOGO ANEMÓMETRO

UNI-T®
PRODUCTOS DIVERSOS

UT-363

MINI ANEMÓMETRO DIGITAL



NEW

UT363 - Mini Anemometer

UT363 anemometer is a mini wind speed and wind temperature tester. This light weight device is equipped with the latest magnetic sensing technology which can directly display the air flow speed on the LCD display. It is a perfect tool for sport events, wind measurement, navigation, HVAC, and other areas.

Functions	Range	Resolution	Accuracy
Wind Speed	0~30m/s	0.1m/s	±5%rdg+0.5
Temperature	-10~50°C	0.1°C	±2°C
	14~122°F	0.2°F	±4°F
Wind Scale	Level 0~12	1	±1
Sampling Rate			0.5s
Overload Indication	>45m/s		OL
MAX/AVG			MAX/AVG
Data Hold			HOLD
LCD Backlight			Yes
Auto Power Off			5min
Low Battery Indication			3.0~3.5V
Battery			4.5V
Current Consumption	Working	mA	≤25mA
	Power off	uA	≤10uA
Work Environment	Temperature		0~40°C
	Humidity		≤80%RH
Storage Environment	Temperature		-20~60°C
	Humidity		≤75%RH

Key Functions	
ON/OFF	Short press to turn on/off the meter
MAX/AVG	Short press to switch between MAX/MIN/QUIT
UNIT	Short press switch between m/s, ft/m, mph, Km/h, Knots, °C, °F.
HOLD/BL	Short press to turn on/off backlight






CE

2

ANEXO J

CATÁLOGO TERMÓMETRO INFRAROJO



Termómetro Láser Infrarrojo Sin Contacto Modelo DT8380F

ESPECIFICACIONES:

- Rango de temperatura -50 ~ 380 ° c
- Precisión $\pm 2\%$ o 2°c
- Relación de punto de distancia 12: 1
- Tiempo de respuesta y longitud de onda 500ms y (8-14um)
- Repetibilidad $\pm 1\%$ o $\pm 1^\circ \text{c}$
- Resolución $0,1^\circ \text{c}$
- Temperatura de funcionamiento $0-50^\circ \text{c}$
- Función de retención de datos ✓
- Medición de temperatura máxima ✓
- Selección de pantalla de luz de fondo ✓
- Apagado automático ✓
- Indicación de batería baja ✓
- Alimentación DC 9v batería

ANEXO K CATÁLOGO BOMBA



Ficha Técnica

30A-L2

Referencia: 63073000A2

Información Técnica

Conexión Succión	3 Pulg. NPT
Conexión Descarga	3 Pulg. NPT
Altura (ADT) Max	83 m
Caudal Max	195 GPM
Caudal Medio	130 GPM
Altura Media	80 m
Motor	Eje libre
Potencia	Hasta 20 HP
Voltaje	
Velocidad	3500 RPM
Peso	43 Kg
Dimensiones	0.54/0.35/0.38 Mts

Cotizado por: _____

Teléfono: _____

Valor: _____



Características

Rotor cerrado en hierro, mas durable.
Carcasa roscada ubicable en 4 posiciones
Obturación por sello mecánico
Diseño back pull out; facilita el mantenimiento
Versión eje libre; aplicable a cualquier estilo de motor.

Especificaciones

Bomba construida en hierro gris cl.30..
Conexiones de succión y descarga de 3" Npt..
Rotor cerrado en hierro, con paso de sólidos de 5 mm.
Obturación por sello mecánico carbón – cerámica de 1.1/4 tipo resorte largo..
Con casquillo en acero inoxidable aisi 304..
Bombas de eje libre aplicables con potencias hasta 20 hp.

Aplicaciones

Elevación de agua en edificios, tanque bajo - tanque alto
Transferencia de líquidos
Limpieza, lavado a presión y control de incendio.
Fuentes de agua

Trasiego y drenajes
Sistemas de enfriamiento y recirculación de agua
Riego por aspersión o goteo.