

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“DISEÑO DE UN SECADOR A ESCALA BANCO  
PARA LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE SANGRE  
DE POLLO”.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
QUÍMICO DE**

**RAFAEL ALONSO VALENCIA FAJARDO**

**Callao, setiembre, 2016**

**PERÚ**

## **PROLOGO DEL JURADO**

El presente informe de tesis fue presentado por el bachiller VALENCIA FAJARDO RAFAEL ALONSO ante El JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS conformado por los siguientes Docentes Ordinarios:

Ing. LIDA SANEZ FALCON : PRESIDENTA

Ing. SONIA HERRERA SANCHEZ : SECRETARIA

Ing. CESAR GUTIERREZ CUBA : VOCAL

Ing. CARLOS ANGELES QUEIROLO : ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas de sustentación de tesis N° 2, Folio N° 80, Acta N° 263, con fecha de aprobación NUEVE DE SETIEMBRE DE DOS MIL DIECISEIS, para la obtención del título profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Titulación por tesis sin ciclo de tesis, de conformidad a lo establecido por el reglamento de Grados y Títulos, aprobado por Resolución N° 082-2011-CU de fecha 29 de abril de 2011, Resolución N° 221-2012-CU de fecha 19 de setiembre de 2012 y Resolución N° 759-2013-R de fecha 21 de agosto de 2013.

*En la amada  
memoria de mis  
abuelas: Carmen y  
Celestina.*

## **AGRADECIMIENTO**

Antes que nada, quiero agradecer a Dios, por haberme acompañado en todo momento y por permitirme lograr uno de los objetivos de mi vida. Seguidamente a mis padres: Rafael y Claire, ya que sin ellos nada hubiese sido posible.

De forma muy especial, expreso mi agradecimiento a mi maestro y amigo, el Ingeniero Carlos Ángeles Queirolo, quien asesoró y verificó con mucha paciencia el avance de esta tesis y no dudó en aceptar guiar mi trabajo desde el primer momento en que se lo solicité.

Agradezco también a mi amigo, el Ingeniero Jorge López Herrera, por haberme brindado su apoyo al despejarme muchas de las dudas que tuve en el camino.

Mi agradecimiento también va dirigido al Licenciado Walter Tapia Chacaltana, quien con su experiencia me brindó ayuda en la realización de los análisis químicos.

Para finalizar agradezco a mis hermanos, tíos, abuelos y a mi familia en general; a las personas cercanas a mí y a todos los que de una forma u otra contribuyeron en la realización de esta tesis.

## ÍNDICE

<b>TABLAS DE CONTENIDO.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>16</b>
1.1. Identificación del problema.....	16
1.2. Formulación del problema.....	17
1.3. Objetivos de la investigación.....	17
1.4. Justificación.....	17
1.5. Importancia.....	19
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
2.1. Antecedentes del estudio.....	20
2.2. La sangre de pollo.....	22
2.2.1. Composición de la sangre de pollo.....	24
2.2.2. La harina de sangre.....	24
2.2.3. Características principales de la harina de sangre.....	25
2.2.4. Estadísticas de consumo de pollo en los últimos años.....	25
2.2.5. Disposición actual de la sangre de pollo en mercados y grandes empresas productoras de productos avícolas.....	28
2.3. Alimentos balanceados para el desarrollo de aves, ganado vacuno y porcino.....	28
2.4. El hierro en la nutrición.....	29

2.5. Las proteínas.....	30
2.5.1. Desnaturalización de proteínas.....	30
2.5.2. Métodos de cuantificación de proteínas.....	32
2.6. Secado.....	32
2.6.1. Objetivos del secado.....	33
2.6.2. Variables que influyen el tiempo de secado.....	33
2.6.3. Velocidad de secado.....	34
2.6.4. Tiempo de secado.....	36
2.6.5. Mecanismos en el secado.....	38
2.6.6. Características del secado.....	39
2.6.7. Clasificación de los secadores.....	40
2.6.8. Descripción de algunos secadores.....	43
2.6.9. Selección del secador.....	47
2.7. Diseño del equipo de secado.....	48
2.7.1. Bases de diseño.....	49
2.7.2. Parámetros de diseño.....	49
2.7.3. Sistema de calefacción.....	50
2.7.4. Bandejas.....	53
2.7.5. Cámara de secado.....	55
2.7.6. Chimenea del secador.....	61
2.7.7. Regulador de aire.....	61
2.7.8. Ventiladores.....	61
2.8. Definición de términos.....	62

<b>III. VARIABLES E HIPÓTESIS.....</b>	<b>65</b>
3.1. Variables de la investigación.....	65
3.2. Operacionalización de variables.....	65
3.3. Hipótesis general e hipótesis específicas.....	66
<b>IV. METODOLOGÍA.....</b>	<b>67</b>
4.1. Tipo de investigación.....	67
4.2. Diseño de la investigación.....	67
4.3. Población y muestra.....	68
4.3.1. Determinación de la factibilidad de diseño por existencia de materia prima.....	68
4.3.2. Determinación de las condiciones de trabajo por medio de recolección de datos de tiempo y humedad del producto.....	68
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	69
4.4.1. Primera etapa.....	69
4.4.2. Segunda etapa.....	82
4.4.3. Tercera etapa.....	83
4.5. Procedimientos de recolección de datos.....	83
4.5.1. Recolección de datos para verificar la factibilidad del diseño por existencia de suficiente materia prima.....	83
4.5.2. Recolección de datos para verificar las condiciones de trabajo.....	83
4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.....	83

4.6.1. Procesamiento de datos para verificar la factibilidad del diseño por existencia de suficiente materia prima.....	83
4.6.2. Procesamiento de datos para verificar las condiciones de trabajo.....	94
<b>V. RESULTADOS.....</b>	<b>95</b>
<b>VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>144</b>
6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados.....	144
6.1.1. Resultados obtenidos luego de la experimentación con la cinética de secado con la sangre de pollo.....	144
6.1.2. Resultados obtenidos luego del análisis químico.....	145
6.1.3. Resultados de la determinación del secador.....	147
6.1.4. Resultados del diseño del secador.....	147
6.1.5. Resultados del modelamiento del secador.....	148
6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares.....	149
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>150</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>151</b>
<b>IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>152</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>158</b>
a. Matriz de consistencia.....	159
b. Plano de la sección transversal frontal y lateral del secador diseñado.....	160
c. Catálogo de mallas de acero inoxidable.....	162
d. Tabla de conductividad térmica de algunos materiales.....	164

e. Catálogo de ventiladores eléctricos.....	165
f. Catálogo de perfiles de acero inoxidable.....	167
g. Catálogo de planchas de acero inoxidable.....	169
h. Resistividad de algunos materiales y resistores.....	171
i. Tablas de propiedades del aire.....	172
j. Tablas de planchas de lana de fibra de vidrio.....	173

## **TABLA DE CONTENIDO**

### **TABLAS**

2.1 Contenido nutricional por 100g de sangre de pollo fresca.....	24
2.2 Características de la harina de sangre.....	25
2.3 Composición de los alimentos balanceados para diferentes animales.....	29
2.4 Selección del secador vs. Forma de la materia prima.....	48
2.5 Tipos de ventiladores.....	62
3.1 Operacionalización de variables.....	65
4.1 Consumo nacional de pollo.....	84
4.2 Modelamiento lineal de los datos.....	84
4.3 Modelamiento potencial de los datos.....	85
4.4 Modelamiento exponencial de los datos.....	86
4.5 Modelamiento hiperbólico de los datos.....	87
4.6 Modelamiento Semilogarítmico de los datos.....	88
4.7 Generación de datos a partir del modelo exponencial.....	90
4.8 Datos poblacionales de interés.....	90
4.9 Datos poblacionales de los distritos del Callao.....	91

4.10 Consumo de pollo en el Callao.....	91
4.11 Consumo de pollo en los distritos en estudio.....	91
5.1 Datos obtenidos a 55°C y 3.42 m/s de velocidad de aire caliente.....	95
5.2 Tratamiento de datos a 55°C y 3.42 m/s de velocidad de aire caliente.....	97
5.3 Datos obtenidos a 55°C y 5.63 m/s de velocidad de aire caliente.....	101
5.4 Tratamiento de datos a 55°C y 5.63 m/s de velocidad de aire caliente.....	103
5.5 Datos obtenidos a 60°C y 3.42 m/s de velocidad de aire caliente.....	106
5.6 Tratamiento de datos a 60°C y 3.42 m/s de velocidad de aire caliente.....	108
5.7 Datos obtenidos a 60°C y 5.63 m/s de velocidad de aire caliente.....	111
5.8 Tratamiento de datos a 60°C y 5.63 m/s de velocidad de aire caliente.....	113
5.9 Resultados de las absorbancias en los patrones de albúmina con reactivo de Bradford para cuantificar proteínas.....	117
5.10 Resultados de las absorbancias en las muestras de harina de sangre con reactivo de Bradford para cuantificar proteínas.....	117

5.11 Resultados de las absorbancias en los patrones de sal de Mohr con 1,10 Fenantrolina para cuantificar hierro (II).....	119
5.12 Resultados de las absorbancias en las muestras de harina de sangre con 1,10 Fenantrolina para cuantificar Hierro (II).....	119
6.1 Resultados experimentales promedio de las corridas de secado para valores aproximados a 135 g de sangre fresca coagulada.....	144
6.2 Resultados del peso de proteínas en 100g de harina de sangre (seca).....	145
6.3 Resultados del peso de hierro en 100g de harina de sangre (seca).....	145
6.4 Comparación de la cantidad de proteínas entre la sangre de pollo fresca y la harina de sangre de pollo.....	146
6.5 Resultados del dimensionado del equipo.....	147
6.6 Comparación de la cantidad de agua desprendida por dos formas de secado.....	149

## **FIGURAS**

2.1 Sangre de pollo cruda y coagulada.....	23
2.2 Sangre de pollo observada desde un microscopio.....	23
2.3 Harina de sangre animal.....	25
2.4 Conformación de las proteínas.....	31
2.5 Rodajas de manzana antes y después del secado.....	33
2.6 Curvas típicas de contenido total de humedad y velocidad de secado vs tiempo de secado.....	34
2.7 Curva de: Humedad vs. Tiempo de secado.....	35
2.8 Curva de: Inversa de la velocidad de secado vs. Humedad.....	37
2.9 Secador de bandejas.....	44
2.10 Secador continuo de túnel.....	45
2.11 Secador rotatorio industrial.....	46
2.12 Secador rotatorio industrial.....	46
2.13 Circuito térmico para una pared compuesta en serie.....	56
4.1 Registro de datos.....	69
4.2 Anemómetro digital.....	70
4.3 Secador por lotes a nivel de laboratorio con la puerta cerrada.....	71
4.4 Secador por lotes a nivel de laboratorio con la puerta abierta.....	71
4.5 Cámara interna del secador.....	72
4.6 Data Logger.....	72
4.7 Bandeja utilizada en el secado.....	73
4.8 Material cargado en la bandeja.....	74

4.9 Harina de sangre con secado a 60 y 55 °C.....	75
4.10 Calentamiento previo de las muestras.....	76
4.11 Mufla utilizada en la prueba.....	76
4.12 Muestras sometidas a altas temperaturas.....	77
4.13 Equipo de espectrofotometría utilizado.....	77
4.14 Soluciones utilizadas para formar la curva patrón.....	78
4.15 Reactivos utilizados en el análisis de hierro.....	79
4.16 Muestras diluidas en agua desionizada.....	79
4.17 Soluciones acomplejadas de albúmina a diferente concentración.....	81
4.18 Insumos para preparar el reactivo de Bradford.....	81
4.19 Muestras acomplejadas con el reactivo de Bradford.....	82
5.1 Escalamiento de la bandeja de secado.....	127
5.2 Colocación interna de las bandejas.....	129
5.3 Juego de resistencias en la pared del secador.....	131
5.4 Bandeja de mallas para contener la sangre de pollo.....	137
5.5 Vista acercada de la malla de la bandeja.....	137
5.6 Estructura de perfil cuadrado de acero inoxidable de 1/20" que sostendrá las bandejas.....	138
5.7 Colocación de la carcasa interna.....	138
5.8 Colocación de la carcasa interna y perforado de la estructura para la entrada de aire y la chimenea.....	139
5.9 Colocación de la chimenea en la estructura.....	139

5.10 Colocación del aislante de lana de fibra de vidrio.....	140
5.11 Colocación de la carcasa externa de la cámara de secado.....	140
5.12 Sellado de la cámara de secado en los bordes.....	141
5.13 Colocación del ventilador y del conducto contenedor de la resistencia.....	141
5.14 Vista isométrica del secador.....	142
5.15 Vista superior del secador.....	142
5.16 Figura final del secador diseñado.....	143
6.1 Resultado final del modelamiento del equipo.....	148

## **GRÁFICOS**

2.1 Producción nacional de carne de pollos.....	26
2.2 Consumo promedio per cápita de pollo, según ámbito geográfico y principales ciudades del Perú.....	27
4.1 Comportamiento lineal de los datos.....	85
4.2 Comportamiento potencial de los datos.....	86
4.3 Comportamiento exponencial de los datos.....	87
4.4 Comportamiento hiperbólico de los datos.....	88
4.5 Comportamiento Semilogarítmico de los datos.....	89
5.1 Curva de secado a 55°C y 3.42 m/s de velocidad de aire caliente.....	100
5.2 Curva de velocidad de secado a 55°C y 3.42 m/s de velocidad de aire caliente.....	100
5.3 Curva de secado a 55°C y 5.63 m/s de velocidad de aire caliente.....	105
5.4 Curva de velocidad de secado a 55°C y 5.63 m/s de velocidad de aire caliente.....	106
5.5 Curva de secado a 60°C y 3.42 m/s de velocidad de aire caliente.....	110
5.6 Curva de velocidad de secado a 60°C y 3.42 m/s de velocidad de aire caliente.....	111

5.7 Curva de secado a 60°C y 5.63 m/s de velocidad de aire caliente.....	115
5.8 Curva de velocidad de secado a 60°C y 5.63 m/s de velocidad de aire caliente.....	115
5.9 Curva de calibración para la determinación de proteínas.....	118
5.10 Curva de calibración para la determinación de hierro (II).....	120

## RESUMEN

La presente tesis tuvo como objeto de estudio, el diseño de un secador a escala banco para la producción de harina de sangre de pollo.

En la primera etapa de la investigación se evaluó la cinética de secado para obtener los parámetros de diseño, en la cual se midieron dos variables, velocidad de aire y temperatura de trabajo, por medio de 4 pruebas (duplicadas) en las cuales se obtuvo que la mejor velocidad de trabajo es a 5.63 m/s, sin poderse determinar aún la temperatura de trabajo.

En la segunda etapa de la investigación se hizo un análisis químico de proteínas totales y de hierro, en las dos muestras de sangre seca obtenidas en la primera parte (secadas a 55 y 60°C), de donde la cantidad de hierro en cada muestra fue similar y teniendo una variación significativa en la cantidad de proteínas, de donde se obtuvo la temperatura de diseño ( $T=55^{\circ}\text{C}$ ), temperatura a la cual las proteínas no están totalmente desnaturalizadas por el calor y donde se verifican los conceptos teóricos.

En la tercera etapa de la investigación se eligió el secador de bandejas, de acuerdo a la materia prima que fue la sangre coagulada (sólidos formados). Posteriormente se hizo el dimensionamiento de acuerdo a las ecuaciones mencionadas en el fundamento teórico y finalmente el modelamiento en AutoCAD 3D.

## **ABSTRACT**

This thesis had as its object of study, the design of a semi industrial dryer for the production of chicken blood flour.

In the first stage of research, drying kinetics were evaluated to obtain the design parameters, in which two variables, air speed and operating temperature, were measured by four tests (duplicates) in which it was found that the best working speed is 5.63 m / s, and it was unable to determine the work temperature (found in the second part).

The second stage of the research was a chemical analysis of total protein and iron, in both dried blood samples obtained in the first part (dried at 55 and 60 ° C), where the amount of iron in each sample was almost the same and having a significant variation in the amount of protein, where was found the design temperature ( $T = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), temperature at which proteins are not fully denatured by heat and where the theoretical concepts are verified.

In the third stage of the research, the tray dryer, according to the raw material that was clotted blood (solids formed), was chosen. Subsequently dimensioning according to the equations mentioned in the theoretical basis and finally modeling was done using Autocad 3D.

## **I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Identificación del problema**

En los últimos 15 años, la industria avícola ha casi duplicado el número de producción de pollo para consumo directo en América. Según las estadísticas el aumento de la cantidad de pollo para consumo directo aumenta de 2 a 3 millones de toneladas por año en América, y que de acuerdo a la tendencia, seguirá en aumento.

Esos números nos invitan a pensar en cuantos millones de toneladas de residuos, en nuestro caso sangre de pollo, se generarán. De esa idea nace el querer obtener un aprovechamiento económico de algo que generalmente es parte fundamental de la contaminación del agua.

Debido a que no hay una vasta cantidad de información de tecnologías desarrolladas para el procesamiento de la sangre de pollo, nos vemos en la situación de empezar el trabajo desde el diseño del equipo.

El desarrollo de nuevas tecnologías de optimización de residuos tiene como eje central: el diseño del equipo, es aquí donde se presenta la raíz fundamental de la presente investigación.

Debido a lo expuesto en el párrafo anterior, y con la finalidad de dar un aporte inicial y significativo a la industria avícola, nace el tema de investigación: "Diseño de un secador a escala banco para la producción de harina de sangre de pollo".

## **1.2. Formulación del problema**

### **Problema general**

¿Cómo debe ser el diseño de un secador a escala banco para producir harina de sangre de pollo?

### **Problemas específicos**

- a) ¿Cuáles son los parámetros de producción de harina a base de sangre de pollo?
- b) ¿Qué tipo de secador nos permitirá un menor consumo de energía?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **Objetivo general**

Diseñar un secador a escala banco para producir harina de sangre de pollo.

### **Objetivos específicos**

- a) Identificar los parámetros de producción de harina a base de sangre de pollo.
- b) Determinar el tipo de secador que nos permitirá obtener un menor consumo de energía.

## **1.4. Justificación**

- **Legal**

Al secar la sangre de pollo que comúnmente se vierte en el desagüe, ésta ya no forma una parte contaminante del agua desechada por las industrias que trabajan en este rubro, por lo que la carga de sólidos disueltos está

dentro de lo establecido por la Ley de general de residuos sólidos (N° 27314) y al D.S. 021-2009 VIVIENDA, que contempla los límites máximos permisibles en aguas residuales no domésticas.

- **Teórica**

El diseño del equipo de secado a escala banco sirve como base teórica para futuras investigaciones en su escalamiento, de acuerdo a la necesidad de la industria avícola.

- **Tecnológica**

El desarrollo del diseño del equipo es un aporte tecnológico para dar inicio a investigaciones que favorezcan su implementación a mediana y gran escala.

- **Económica**

La tesis desarrollada tiene como premisa ayudar a obtener un aprovechamiento económico de algo que generalmente es un desecho, es por ello que queda justificada en este sentido.

- **Social**

El presente trabajo busca ayudar a solucionar de alguna manera el tema de la disminución de los índices de contaminación de aguas y desde este punto de vista también, beneficia a la sociedad.

### **1.5. Importancia**

La investigación desarrollada es de importancia debido a que está orientada a dos temas principales: el aprovechamiento de la sangre de pollo para obtener un producto seco, comercializable, menos perecible y fácil de transportar y del mismo modo evitar la contaminación, ya que de forma común, la sangre de pollo es enviada al desagüe, aportando de ésta manera al agua un material difícil de degradar con los tratamientos físicos y químicos.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del estudio.**

A continuación se presentan los antecedentes, estudios que guardan relación directa o indirecta con el objeto de estudio de esta investigación.

**GUERRERO MARÍN, GUSTAVO ADOLFO (2010). Universidad de Quito – Ecuador, *Diseño de ingeniería básica de una planta para la elaboración de sangre bovina y porcina deshidratada para alimentos balanceados.***

Se elabora el diseño de Ingeniería Básica de una planta para la producción de harina de sangre, para la fabricación de alimentos balanceados de animales y responde a las necesidades del actual camal de Sangolquí, que cada día faena máximo 150 bovinos y 400 porcinos por día, obteniéndose más de 3.650 kg de sangre. Se considera su ubicación dentro del predio del nuevo camal y ocupa 740 m<sup>2</sup> de terreno, compartiendo el uso de la guardianía, la puerta principal a la vía pública y el comedor para los trabajadores, pero la administración de la planta es independiente a la del camal. Necesita 2 operarios, un técnico en química industrial que es el Administrador de la planta, un mecánico, un contador y 3 guardias de seguridad para trabajo de 8 horas por turno. En el proceso se generan en promedio 775 kg de harina de sangre por día, mediante un deshidratador del tipo "Spray Dryer", cuya energía térmica es generada por la quema de gas licuado de petróleo, y es empacada en fundas de papel de capa múltiple y funda de polietileno al interior, con capacidad de 25 kg. El análisis

económico indica que la planta para procesar 760.032 litros de sangre al año y producir 161.200 kg de harina de sangre al año, requiere una inversión fija de 456.868 dólares, más un capital de operaciones de 9.359 dólares. El precio de la harina es de 110 dólares por 100 kg y el total de costos fijos y variables asciende a 172.995 dólares. El punto de equilibrio de la planta es 97,41%.

**AGUIRRE GÓMEZ, FREDY. CORONADO BENAVIDES, IVAN. DAZA CAÑÓN, JAIME ANDRES. (2007). Universidad de Bogotá – Colombia, *Diseño de un deshidratador de sangre bovina a nivel de laboratorio.***

El proyecto de investigación Diseño de un Deshidratador de Sangre Bovina a Nivel de Laboratorio se desarrolla para dar una solución económica y eficiente a la problemática ocasionada por el manejo inadecuado que se da a la sangre bovina a nivel nacional. Se han implementado métodos experimentales a nivel de laboratorio que permiten conocer la configuración mecánica que favorezca en mayor grado el proceso de deshidratación. Cumpliendo con todos los criterios de diseño y las legislación medioambiental colombiana.

**COFRE CHANGO, DARWIN FERNANDO (2012). Universidad técnica de Cotopaxi – Ecuador, *Diseño de un prototipo de horno deshidratador de spirulina utilizando energía renovable.***

Este trabajo tiene la finalidad de diseñar el prototipo de horno deshidratador de Spirulina, alga que posee gran cantidad de nutrientes para el cuerpo

humano, la cual en la actualidad está siendo investigada por el alto contenido de vitaminas y minerales que en algunos casos ayuda a inhibir el cáncer. El prototipo está formado por diferentes componentes como son: resistencia eléctrica, estructura metálica, bandejas de secado, puerta, aislante térmico. El suministro de energía del horno se concibe a través de energía producida por centrales hidroeléctricas, sin embargo en caso de que existan fallas en el suministro de energía se ha diseñado y dimensionado un sistema alternativo de suministro de energía, siendo este paneles fotovoltaicos.

### **2.1.1. La sangre de pollo**

La sangre de pollo (Figura N° 2.1 y 2.2) es un fluido corporal de dicha ave, con un alto aporte de energía, proteínas y una cantidad muy considerable de hierro (27.3mg/100g de sangre), por encima del doble de lo aportado por la ingesta de hígado de cerdo (13mg/100g).

De acuerdo a lo publicado en la Revista Salud, Sexualidad y Sociedad en 2008, se encontró que frente a deficiencia de hierro en sangre, ingerir a diario 100 gramos de sangrecita puede superar la anemia, incluso mejor que el suplemento de sulfato ferroso.

“La sangrecita de pollo, es un alimento que nos ofrece gran cantidad de proteínas de alta calidad por cada cien gramos de alimento.

Es también un alimento que casi no aporta grasa y por tanto bajo en calorías (65 calorías) de manera que las personas con problema de

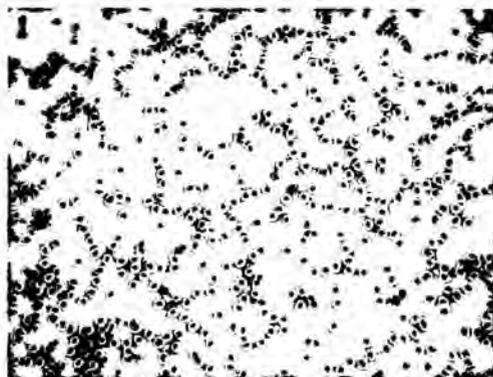
colesterol, pueden consumir la sangrecita sin problemas. La sangrecita puede reemplazar el consumo de carnes rojas y de aves, sin embargo no es recomendable que ésta sea la única fuente de proteínas de origen animal a lo largo de la semana. Las personas con anemia por falta de hierro pueden consumirla a diario, de lo contrario, de 2 a 3 veces por semana, cien gramos por vez, sería una cantidad adecuada". [1]

FIGURA N° 2.1  
SANGRE DE POLLO CRUDA Y COAGULADA



*Fuente: Satur, 2015*

FIGURA N° 2.2  
SANGRE DE POLLO OBSERVADA DESDE UN MICROSCOPIO



*Fuente: Dreamstime, 2015*

### 2.1.2. Composición de la sangre de pollo.

En la tabla siguiente se menciona el contenido nutricional de la sangre de pollo:

TABLA N° 2.1  
CONTENIDO NUTRICIONAL POR 100G DE SANGRE DE POLLO  
FRESCA

Energía (Kcal)	65
Proteína (g)	22
Grasa total (g)	0.1
Calcio (mg)	12
Hierro (mg)	27.3
Fósforo (mg)	101
Vitamina D (µg)	4.5
Agua (g)	73

Fuente: Sociedad peruana de cardiología, 2000.

### 2.1.3. La harina de sangre

La harina de sangre (Figura N° 2.3) es un producto de la industria cárnica con un alto contenido proteico, se obtiene por la deshidratación de la sangre del animal sacrificado. La harina de sangre puede ser de baja calidad dependiendo el procesamiento por el cual se obtenga, sobre todo la temperatura. Cuando se obtiene por bajas temperaturas contiene alta cantidad de proteína no degradable en el rumen y buena degradación intestinal. De acuerdo con sus características nutricionales, tiene mayor utilización en monogástricos y en rumiantes. Su mayor importancia está representada como un controlador de consumo, en casos de suplementos ofrecidos a voluntad de los cuales se desea un consumo determinado.

**FIGURA N° 2.3  
HARINA DE SANGRE ANIMAL**



*Fuente: Las camelias, 2015.*

**2.1.4. Características principales de la harina de sangre**

En el cuadro siguiente se muestran las características de la harina de sangre:

**TABLA N° 2.2  
CARACTERÍSTICAS DE LA HARINA DE SANGRE**

<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>VALOR</b>
Proteína (min)	89%
Humedad (máx.)	10%
Cenizas (máx.)	3%
Cloruros (máx.)	0.3%
Proteínas digestibles	77%
Enterobacterium (máx.)	300UFC/g
Salmonella spp.	Ausencia

*Fuente: Crickade, 2015.*

**2.1.5. Estadísticas de consumo de pollo en los últimos años.**

Según datos estadísticos, el consumo de carne de pollo en el Perú por habitante se ha incrementado, lo cual ubica al país entre los principales

países consumidores de carne de pollo de América Latina, ranking que está liderado por Brasil con un consumo de 42 kilos/habitante.

El siguiente párrafo describe lo acontecido actualmente en el mercado de pollos del Perú: "La importancia del consumo de carne de pollo en el Perú se puede ver tomando en cuenta que en el año 2013 el consumo promedio nacional por habitante de productos pecuarios incluyendo pescados y huevos, fue de 70, 41 kilos, de los cuales el consumo de carne de pollo es el 52,50 %.

En Lima Metropolitana el consumo promedio por habitante de carne de pollo es aún mayor, los datos indican que el consumo por habitante fue de 68 kilogramos" [29].

Apreciando el Gráfico N° 2.1, podemos determinar el aumento constante de consumo de pollo en el mercado nacional:



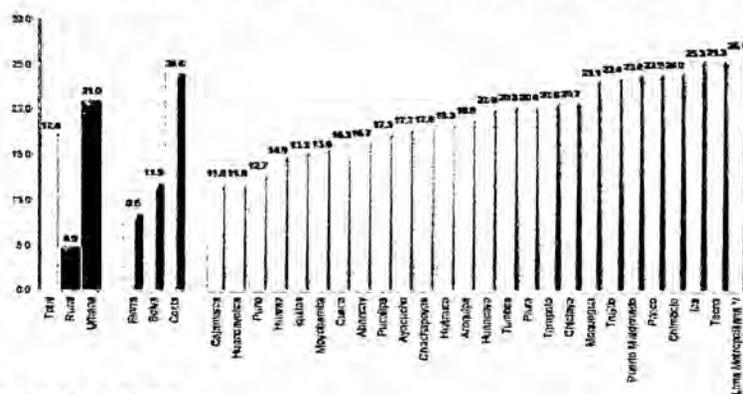
Fuente: Proyecto peruanos, 2015.

➤ **Consumo promedio per cápita anual de pollo según ámbito geográfico y principales ciudades del PERÚ**

De acuerdo a lo establecido por el INEI: El consumo promedio per cápita de pollo varía de acuerdo al ámbito geográfico. Así, según el área de residencia el consumo en el área urbana es de 21 kilos, es decir, 16 kilos 100 gramos más que en el área rural que tiene un consumo promedio per cápita de 4 kilos 900 gramos al año. Por región natural, la Costa consume 24 kilos, es decir 2,8 veces más que la Sierra donde el consumo promedio per cápita es de 8 kilos 500 gramos al año.

Por ciudades importantes, se observa que el consumo de este alimento es mucho menor en las ciudades ubicadas en la Sierra y la Selva, en comparación con las ciudades de la Costa. Así, Lima Metropolitana tiene un consumo promedio per cápita de 26 kilos 100 gramos, es decir, 2,2 veces más que la ciudad de Cajamarca que consume 11 kilos 800 gramos promedio al año.

**GRÁFICO N° 2.2**  
**CONSUMO PROMEDIO PER CÁPITA DE POLLO, SEGÚN ÁMBITO GEOGRÁFICO Y PRINCIPALES CIUDADES DEL PERÚ**



Fuente: INEI, 2013.

### **2.1.6. Disposición actual de la sangre de pollo en mercados y grandes empresas productoras de productos avícolas.**

“Las aguas residuales de las industrias avícolas contienen altas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos, grasas, nitrógeno y fósforo. Su composición y flujo generalmente varían dependiendo del proceso industrial, tamaño de las instalaciones, número de animales sacrificados, eficiencia de recolección de sangre, subproductos, consumo de agua por ave sacrificada y manejo de agua en el proceso industrial” [7]. De acuerdo a lo expuesto y por otros trabajos de investigación la mayor parte de la sangre de pollo proveniente del sacrificio es direccionada a los desagües, esto último ocurre muy frecuentemente en nuestro país, debido a que el tratamiento de aguas es incipiente.

### **2.2. Alimentos balanceados para el desarrollo de aves, ganado vacuno y porcino.**

El desarrollo de alimentos balanceados para animales es fundamental para las empresas dedicadas al rubro en la actualidad. Existen muchos tipos de alimentos que son utilizados en animales para acelerar su crecimiento, mejorar sus características y poder ser procesados, pero la búsqueda de mejoras en los alimentos es incesante y la sangre de pollo seca podría servir de aditivo para fortificarlos.

Dichos alimentos están preparados en su mayoría de cereales, proteínas de origen animal, aminoácidos sintéticos, vitaminas, etc. En la tabla

siguiente se muestra los distintos contenidos estándar de los alimentos balanceados de pollos, ganado vacuno y porcino:

**TABLA N° 2.3**  
**COMPOSICIÓN DE LOS ALIMENTOS BALANCEADOS PARA**  
**DIFERENTES ANIMALES**

Contenido	Pollo Engorde	Vacas lecheras clásicas	Cerdos engorde
Proteína (min)	18%	17%	16%
Humedad (min)	12.50%	10%	12%
Grasa (min)	6%	2%	10%
Fibra (máx)	4%	7%	6%
Extracto libre de nitrógeno (min)	55%	55%	60%

*Fuente: Agrobueyca, 2013.*

### **2.3. El hierro en la nutrición**

Es un oligoelemento esencial en la intervención para la formación de la hemoglobina y los glóbulos rojos, de igual manera en otras actividades del organismo.

“Dado que participa en la formación de la hemoglobina, transporta el oxígeno en sangre y que es importante para el correcto funcionamiento de la cadena espiratoria y se mantiene como reserva en el hígado, el bazo y la médula ósea” [24].

El hierro se encuentra presente en las carnes rojas, varias legumbres y en el caso de la sangre de pollo, éste tiene un valor considerablemente alto.

Se presenta en dos tipos:

- Hierro hémico: Origen animal, se absorbe hasta en un 30%.
- Hierro no hémico: Origen vegetal, se absorbe en el organismo hasta en 8%.

## **2.4. Las proteínas**

Las proteínas son moléculas complejas, formadas por aminoácidos que están unidos mediante enlaces peptídicos.

Se dice que "Constituyen el 50% del peso seco de los tejidos y no existe proceso biológico alguno que no dependa de la participación de este tipo de sustancias" [24].

La sangre de pollo está compuesta por proteínas que en su mayoría son globulina y albúmina, ésta última con más presencia en la sangre. El aporte de esta proteína puede usarse para el tratamiento de enfermedades del hígado, por lo tanto, las proteínas de la harina de sangre de pollo, al ser un producto limpio, puede ser considerado como principio activo para la investigación también de nuevas medicinas.

### **2.4.1. Desnaturalización de proteínas**

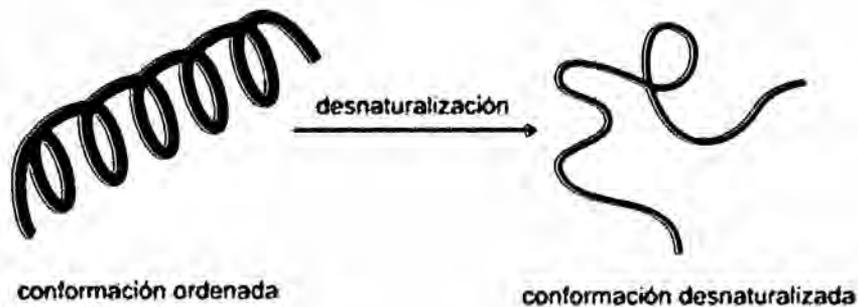
Cuando las proteínas se encuentran en su estado natural, se le llaman proteínas nativas, pero cuando la estructura de éstas es modificada por algún factor externo, se dice que son proteínas desnaturalizadas, a continuación se enlistan los factores de desnaturalización de las proteínas:

- Aumento inusual de la temperatura.
- Variación al límite en el pH

Según Virginia Melo: "un aumento inusual de la temperatura provoca la mutación de la proteína, y de ésta forma una pérdida de estabilidad y actividad".

Cuando la temperatura que se aplica sobre una proteína ronda los 37°C, ésta conserva su estabilidad, pero cuando se le expone por encima de 50°C, éstas empiezan a desnaturalizarse (Figura N° 2.4)

FIGURA N° 2.4  
CONFORMACIÓN DE LAS PROTEÍNAS



Fuente: Melo, 2007.

En el presente caso, el secado clásico se realiza en el rango de 55 – 65 °C, por lo que es necesario realizar un análisis químico a la muestra de harina de sangre obtenida para verificar que la temperatura no afecte en demasía a la cantidad de proteínas presentes y así poder determinar las condiciones de secado.

#### **2.4.2. Métodos de cuantificación de proteínas**

Existen diversos tipos de cuantificación de proteínas, pero los más sencillos para realizar son los siguientes:

- Método de Kjeldahl.
- Método de Bradford.
- Método por absorción directa de UV.

#### **2.5. Secado.**

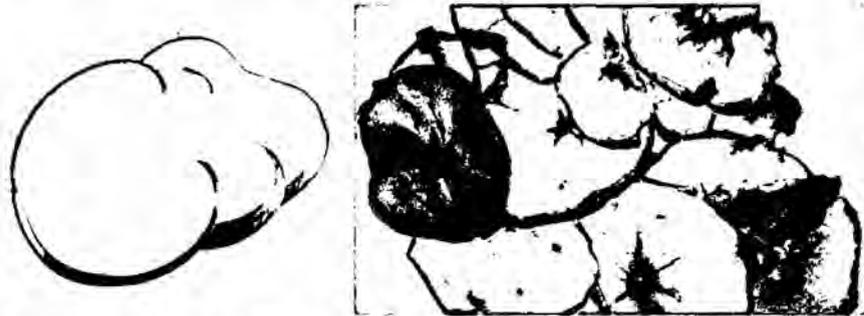
Es un proceso de transferencia de calor y masa mediante el cual se hace pasar un producto desde un estado inicial húmedo a otro final menos húmedo (Figura N°2.5), lo que implica la eliminación parcial del líquido que acompaña a la materia.

El secado se utiliza bajo determinadas condiciones de temperatura, humedad, velocidad y tiempo de secado debidamente controladas; en donde el aire es el medio más utilizado y económico para efectuar el secado, el mejor aprovechamiento de este nos permite llevar a cabo un secado industrial en un tiempo mínimo con buenos resultados y la mejor economía posible.

"Por ejemplo, un sólido poroso e insoluble, como arena, posee un contenido efectivo de humedad de equilibrio igual a cero, mientras que el contenido de humedad en el equilibrio de un material orgánico fibroso puede llegar a ser bastante alto" [5].

FIGURA N° 2.5

RODAJAS DE MANZANA ANTES Y DESPUÉS DEL SECADO



Fuente: *Energías renovadas*, 2013.

"El término secado se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia. En la práctica, la humedad es con tanta frecuencia agua, y el gas con tanta frecuencia aire que esta combinación proporcionará las bases para la mayor parte del análisis" [34].

**2.5.1. Objetivos del secado**

- a) Disminuir los costos de transporte.
- b) Permitir el aprovechamiento de los subproductos.
- c) Permitir el almacenamiento de un producto.
- d) Facilitar procesos posteriores.

**2.5.2. Variables que influyen en el tiempo de secado**

Para la fase gaseosa:

- a) Temperatura del gas
- b) Velocidad del gas.
- c) Humedad del gas.

- d) Dirección del flujo del gas.
- e) Propiedades de transporte.
- f) Temperaturas de bulbo húmedo, seco y rocío.

Para la fase sólida:

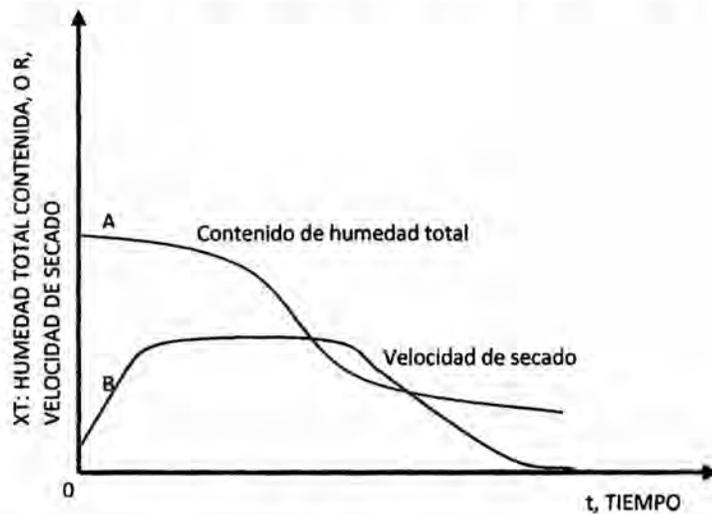
- a) Estado de agregación de la fase sólida (estados o fases).
- b) Propiedades de transporte.

### 2.5.3. Velocidad de secado

De acuerdo a lo expuesto en el Unit Operations of Chemical Engineering:

“Mientras el tiempo pasa, la humedad contenida en el material, decae típicamente” [25], como se muestra en la gráfica A de la Figura N° 2.6.

FIGURA N° 2.6  
CURVAS TÍPICAS DE CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD Y  
VELOCIDAD DE SECADO VS TIEMPO DE SECADO

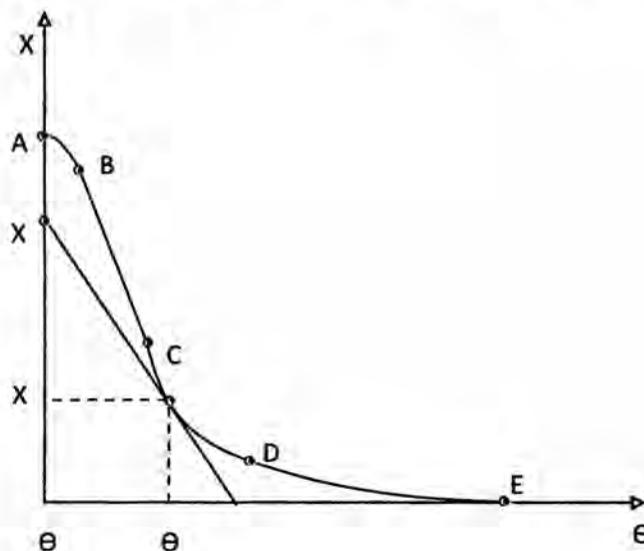


Fuente: Mc Cabe and Smith, 1993.

Después de un periodo corto de tiempo donde la alimentación es calentada hasta la temperatura de vaporización, el gráfico toma una tendencia lineal, luego la curva tiende a ser horizontal y finalmente se nivela. La velocidad de secado es mostrada en la gráfica B, es horizontal en un tramo largo de su longitud, indicando que la velocidad de secado es constante, luego se curva hacia abajo y eventualmente, cuando el material logra la humedad de equilibrio, llega hasta cero.

La velocidad de secado se obtiene midiendo las pendientes de las tangentes trazadas a la curva (Figura N° 2.7), de la siguiente manera:

FIGURA N° 2.7  
CURVA DE: HUMEDAD VS. TIEMPO DE SECADO



Fuente: Ángeles, 2014.

Se utiliza la ecuación siguiente para obtener la pendiente en cada punto, para posteriormente armar una tabla de velocidad de secado versus tiempo, para cálculos posteriores:

$$m = \frac{(X_1 - X_2)}{\theta_1} \dots \dots \dots (1)$$

Luego se encontrará la velocidad de secado con la siguiente ecuación:

$$N = -\left(\frac{L_s}{A}\right) \cdot m \dots \dots \dots (2)$$

Luego se deberá formar la tabla ya mencionada.

#### 2.5.4. Tiempo de secado

"En algunos casos se puede determinar el aspecto de la curva de velocidad de secado para condiciones diferentes a las que se utilizaron en las experimentaciones previas"[4].

En esta situación se puede calcular el tiempo de secado de la siguiente manera:

$$d\theta = -\frac{L_s}{A} \cdot \frac{dX}{N} \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

- $L_s$ : Peso del sólido seco
- $A$ : Superficie de contacto
- $dX$ : Diferencial de humedad
- $N$ : Velocidad de secado

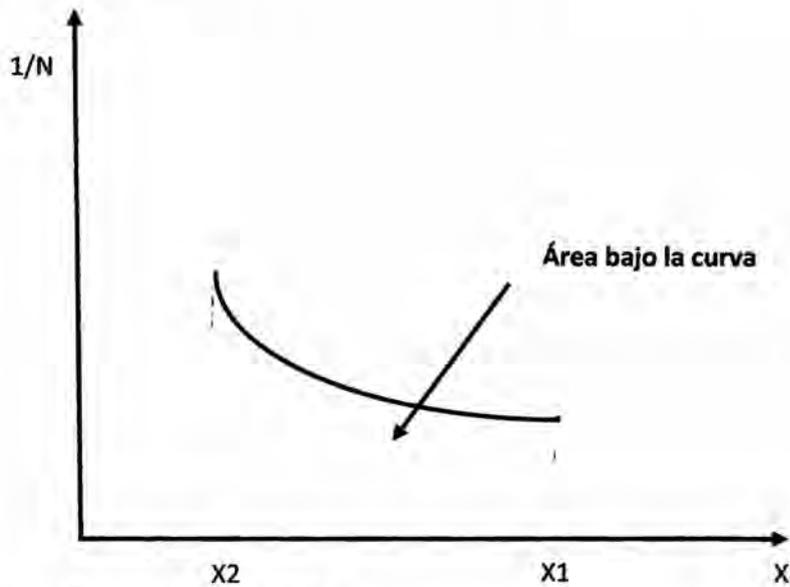
Asumiendo que  $L_s$  y  $A$  son valores constantes e integrando la expresión desde la humedad inicial hasta la final:

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta = -\frac{L_s}{A} \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{N} \dots \dots \dots (4)$$

$$\theta = -\frac{L_S}{A} \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{N} \dots \dots \dots (5)$$

De otro modo, en el caso de no existir ecuaciones matemáticas para poder hacer el cálculo del tiempo de secado, se procederá a dar forma a los datos de velocidad de secado, de modo que tengan la forma  $\frac{1}{N}$  y graficarlos versus la humedad, el área bajo la curva determinará el tiempo de secado.

FIGURA N° 2.8  
CURVA DE: INVERSA DE LA VELOCIDAD DE SECADO VS. HUMEDAD



Fuente: Ángeles, 2014.

El área bajo la curva de la Figura N° 2.8 representa:

$$\text{Área bajo la curva} = \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{N} \dots \dots \dots (6)$$

### **2.5.5. Mecanismos en el secado**

#### **a) Transporte por difusión líquida**

“En este tipo de transporte de humedad, se asume que la velocidad de transferencia de la humedad líquida es proporcional al gradiente de la concentración de humedad dentro del material” [13].

#### **b) Transporte por difusión de vapor**

Este es el principal mecanismo de transferencia de humedad por vapor en el material. Toma lugar cuando la dimensión característica de los espacios del aire libre es mayor a  $10^{-7}\text{m}$ .

#### **c) Transporte por efusión**

También llamada difusión de Knudsen, toma lugar cuando la dimensión característica del espacio del aire en un material capilar-poroso es menor a  $10^{-7}\text{m}$ .

#### **d) Transporte por termodifusión**

La cual es la transferencia de humedad debida al cambio de temperatura en una dirección tomando en cuenta el coeficiente de termodifusión.

#### **e) Transporte por fuerzas capilares.**

Si el número de capilaridades con varios radios forman canales interconectados, entonces se crea una diferencia en presión capilar la cual

da como resultado una redistribución de la humedad de los capilares grandes a los pequeños por succión capilar.

f) Transporte por presión osmótica

La presión osmótica es una función del contenido de humedad en el material.

g) Transporte debido al gradiente de presión

Este tipo de transporte se debe a que ciertas presiones internas varían debido a que la humedad se evapora, cambia de lugar o ha sido transportada. La humedad debe compensar el cambio de presión y se genera el transporte.

### **2.5.6. Características del secado**

Cuando las partículas contienen humedad, y ésta ha sobrepasado el 30%, esto quiere decir que la humedad ha llenado completamente todos los micro y macro capilares, la humedad excede el espacio libre de los capilares y forma una capa delgada de agua sobre la superficie de la partícula.

Cuando comienza el secado y el contenido de humedad es mayor que el contenido de humedad higroscópico, la velocidad de secado es casi constante debido a que la intensidad del secado es igual a la intensidad de evaporación de la superficie libre del líquido. Cuando la capa superficial de líquido está completamente evaporada, el proceso termina en los capilares.

Así la intensidad de secado puede ser mayor, esto es porque la evaporación actual en la superficie puede ser mayor.

Si el contenido de humedad es menor que el higroscópico, la velocidad de secado decrece, principalmente debido a la retención de la superficie de evaporación (control de la difusión interna).

Se debe tomar en cuenta que el efecto de enfriamiento por evaporación cesa y la temperatura de la superficie del material empieza a incrementarse gradualmente casi hasta la temperatura del agente de secado.

#### **2.5.7. Clasificación de los secadores**

- a) El método de transmisión de calor a los sólidos húmedos :
  - Secadores directos.
  - Secadores indirectos.
  - Secadores diversos.
- b) Las características de manejo y las propiedades físicas del material mojado:
  - Secadores discontinuos o por lote.
  - Secadores continuos.
  - Secadores para sólidos granulares o rígidos y pastas semisólidas.
  - Secadores que pueden aceptar alimentaciones líquidas o suspensiones.

Se hará mención de los conceptos de los secadores directos e indirectos para una mejor comprensión:

### ➤ **Secadores Directos**

La transferencia de calor para el secado se logra por contacto directo entre los sólidos húmedos y los gases calientes. El líquido vaporizado se arrastra con el medio de secado; es decir, con los gases calientes. Los secadores directos se llaman también secadores por convección.

Las características generales de operación de los secadores directos son:

- El contacto directo entre los gases calientes y los sólidos se aprovecha para calentar estos últimos y separar el vapor.
- Las temperaturas de secado varían hasta 1000 °K, que es la temperatura limitante para casi todos los metales estructurales de uso común.
- A temperaturas de gases inferiores al punto de ebullición, el contenido de vapor del gas influye en la velocidad de secado y el contenido final de humedad del sólido. A temperaturas superiores el efecto es mínimo, por lo tanto los vapores sobrecalentados del líquido que se está separando pueden servir para secar.
- Para secado a temperaturas bajas y cuando las humedades atmosféricas son excesivamente elevadas, quizás sea necesario deshumidificar el aire de secado.
- La eficiencia mejora al aumentarse la temperatura del gas de entrada, para una temperatura de salida constante.

- Las cantidades de gas para abastecer todo el calor de secado, dependen de la temperatura de entrada del gas, la temperatura de secado y la cantidad de materia a tratar.
- Se requieren equipos grandes cuando las partículas del sólido son pequeñas.

➤ **Secadores Indirectos**

El calor de secado se transfiere al sólido húmedo a través de una pared de retención. El líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento. La velocidad de secado depende del contacto que se establezca entre el material mojado y las superficies calientes. Los secadores indirectos se llaman también secadores por conducción o de contacto.

Las características de los Secadores Indirectos son:

- El calor se transfiere al material húmedo por conducción a través de una pared de retención, casi siempre de índole metálica.
- Las temperaturas de superficie pueden variar desde niveles inferiores al de congelación hasta mayores que 800 °K, en el caso de secadores indirectos calentados por productos de combustión.
- Los secadores indirectos son apropiados para secar a presiones reducidas y en atmósferas inertes, para poder recuperar los disolventes y evitar la formación de mezclas explosivas o la oxidación de materiales que se descomponen con facilidad.

- Los secadores indirectos que utilizan fluidos de condensación como medio de calentamiento son en general económicos, desde el punto de vista de consumo de calor.
- La recuperación de polvos y material finamente pulverizados se maneja de un modo más satisfactorio en los secadores indirectos que en los directos.

### **2.5.8. Descripción de algunos secadores**

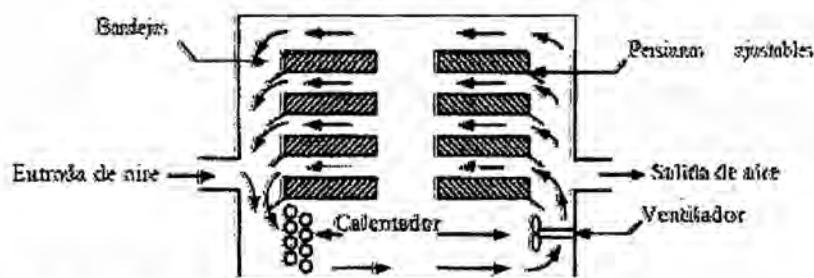
#### **➤ Secadores de bandejas**

"También se llama secador de anaqueles, de gabinete, o de compartimientos, el material, que puede ser un sólido en forma de terrones o una pasta, se esparce uniformemente sobre una bandeja de metal de 10 a 100 mm de profundidad" [18].

Un ventilador recircula aire calentado con vapor paralelamente sobre la superficie de las bandejas. También se usa calor eléctrico, en especial cuando el calentamiento es bajo. Más o menos del 10 al 20% del aire que pasa sobre las bandejas es nuevo, y el resto es aire recirculado. Después del secado, se abre el gabinete y las bandejas se remplazan por otras con más material para secado. Una de las modificaciones de este tipo de secadores es el de las bandejas con carretillas, donde las bandejas se colocan en carretillas rodantes que se introducen al secador. Esto significa un considerable ahorro de tiempo, puesto que las carretillas pueden cargarse y descargarse fuera del secador.

En el caso de materiales granulares, el material se puede colocar sobre bandejas cuyo fondo es un tamiz. Entonces, con este secador de circulación cruzada (Figura N°2.9), el aire pasa por un lecho permeable y se obtienen tiempos de secado más cortos, debido a la mayor área superficial expuesta al aire.

FIGURA N° 2.9  
SECADOR DE BANDEJAS



Fuente: Geankoplis, 1998.

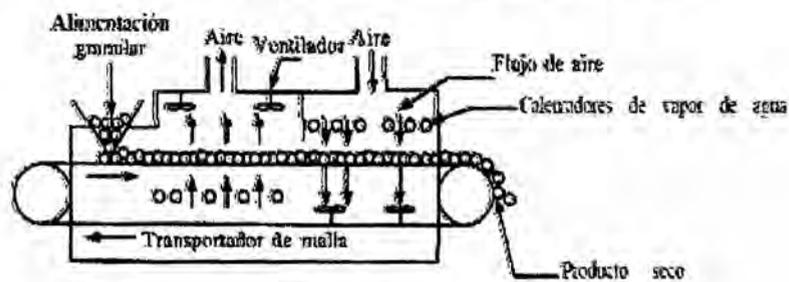
### ➤ Secadores continuos de túnel

“Suelen ser compartimientos de bandejas o carretillas que operan en serie, como se muestra en la Figura N° 2.10. Los sólidos se colocan sobre bandejas o en carretillas que se desplazan continuamente por un túnel de gases calientes que pasan sobre la superficie de cada bandeja” [18]. El flujo de aire caliente puede ser en contracorriente, en paralelo, o una combinación de ambos. Muchos alimentos secan por ese procedimiento.

Cuando se desea secar partículas sólidas granulares, puede utilizarse transportadores perforados o de fondo de tamiz. Los sólidos granulares húmedos se transportan en forma de capa que tiene entre 25 y 150 mm de

profundidad, sobre una superficie de tamiz o perforada a través de la cual se fuerza el paso de aire caliente, ya sea hacia arriba o hacia abajo. El secador consta de diversas secciones en serie, cada una con un ventilador y serpentines de calentamiento. Un ventilador adicional extrae cierta cantidad de aire hacia la atmósfera. En algunos casos, los materiales en forma de pasta pueden preformarse en cilindros y colocarse sobre el transportador para secarse.

FIGURA N° 2.10  
SECADOR CONTÍNUO DE TÚNEL



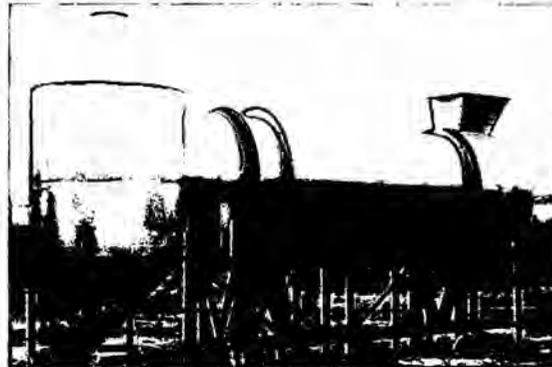
Fuente: Geankoplis, 1998.

### ➤ Secadores rotatorios

Constan de un cilindro hueco que gira por lo general, sobre su eje, con una ligera inclinación hacia la salida (Figura N° 2.11). Los sólidos granulares húmedos se alimentan por la parte superior y se desplazan por el cilindro a medida que éste gira. El calentamiento se lleva a cabo por contacto directo con gases calientes mediante un flujo a contracorriente. En algunos casos, el calentamiento se lleva a cabo por contacto indirecto a través de la pared calentada del cilindro.

Las partículas granulares se desplazan hacia adelante con lentitud y una distancia corta antes de caer a través de los gases calientes.

FIGURA N° 2.11  
SECADOR ROTATORIO INDUSTRIAL

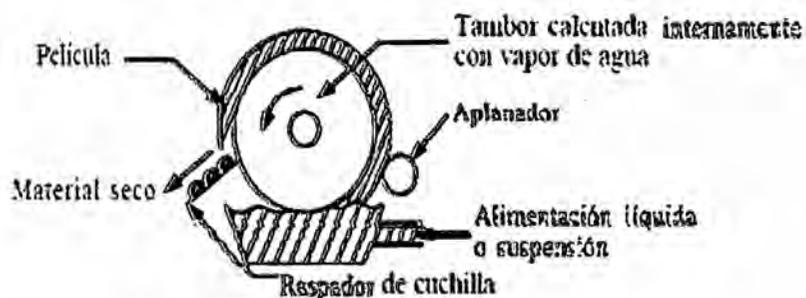


Fuente: *Energías renovadas*, 2013

➤ **Secadores de tambor**

Un secador de tambor consta de un tambor de metal calentado, como se indica en la Figura N°2.12, en cuyo exterior se evapora una capa delgada de un líquido o una suspensión hasta que se seca. El sólido seco final se le raspa al tambor, que gira lentamente.

FIGURA N° 2.12  
SECADOR ROTATORIO INDUSTRIAL



Fuente: *Geankoplis*, 1998.

Los secadores de tambor son adecuados para procesar suspensiones o pastas de sólidos finos, así como soluciones verdaderas. El tambor funciona en parte como evaporador y en parte como secador.

Otras variaciones del secador de tambor son los tambores rotatorios dobles con alimentación por inmersión, o bien con alimentación superior en el espacio entre los dos tambores.

### **2.5.9. Selección del secador**

Con muy pocas excepciones, la mayoría de productos de la industria actual se deben someter al secado en alguna etapa del proceso para obtener un producto adecuado para cada proceso subsecuente o para su venta. Los materiales necesitan un contenido particular de humedad para su procesamiento, moldeado o peletizado.

“Los costos de transporte dependen de la humedad contenida en el producto y debemos encontrar si hay desequilibrios en el balance entre los costos de transporte y de secado. El secado excesivo es antieconómico, no solamente si hay exceso en el uso de calor, frecuentemente, los resultados del sobresecado de algún material se reflejan en un producto degradado” [27].

Para evitar los problemas ya mencionados, es necesario elegir correctamente el tipo de secador para la materia prima que queremos procesar.

Para la elección del tipo de secador a partir de la materia prima con la que se cuenta se tiene la siguiente tabla:

TABLA N° 2.4  
SELECCIÓN DEL SECADOR VS. FORMA DE LA MATERIA PRIMA

	Líquidos			Tortas		Sólidos de flujo libre					Sólidos formados
	Solución	Suspensión	Pastas	Centrifuga	Filtro	Polvo	Gránulo	Cristal	Pellet	Fibra	
<b>Secadores convectivos</b>											
Secador de faja transportadora							X	X	X	X	X
Secador Flash				X	X	X	X			X	
Secador de lecho fluidizado	X	X		X	X	X	X		X		
Secador rotatorio				X	X	X	X		X	X	
Secador spray	X	X	X								
Secador de bandejas (Batch)				X	X	X	X	X	X	X	X
Secador de bandejas (continuo)				X	X	X	X	X	X	X	
<b>Secadores conductivos</b>											
Secador de tambor	X	X	X								
Secador rotatorio con chaqueta de vapor				X	X	X	X		X	X	
Secador rotatorio de tubos de vapor				X	X	X	X		X	X	
Secador de bandejas (Batch)				X	X	X	X	X	X	X	X
Secador de bandejas (continuo)				X	X	X	X	X	X	X	

Fuente: Mujumdar, 2006.

## 2.6. Diseño del equipo de secado

Para diseñar el equipo de secado necesitamos determinar el dimensionamiento y las características del equipo que nos permitirá obtener un producto con la humedad final deseada, luego de la eliminación de cierta cantidad de agua contenida inicialmente.

### **2.6.1. Bases del diseño**

Para el diseño de un secador se necesita la siguiente información:

- La naturaleza del material a secar

Las propiedades físicas y químicas del material. Las propiedades físicas nos permiten seleccionar el secador más adecuado mientras que las propiedades químicas nos indican el tipo de material que tendremos que usar en el equipo.

- Curvas de humedad y equilibrio

A varias temperaturas o en su lugar ecuaciones representativas del equilibrio.

- Datos sobre el mecanismo y cinética del secado.

Que pueden presentarse en forma de gráficos o mediante ecuaciones.

- Cantidad o escala de producción.
- Cantidad o flujo de alimentación.
- Tipo de proceso (continuo o discontinuo).

### **2.6.2. Parámetros de diseño**

- **Presión atmosférica**

Debido a que el secado es una operación donde intervienen las propiedades del aire húmedo y del efecto de la humedad (operación

psicométrica), es necesario conocer los parámetros de operación en los que trabajará el secador a diseñarse.

La presión de operación puede ser calculada de acuerdo a la siguiente expresión [9]:

$$P_{atm} = 101325 \left( \frac{288 - 0.0065z}{288} \right)^{5.256} \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

$P_{atm}$ : Presión atmosférica [Pa]

$z$ : Altura sobre el nivel del mar [m]

- **Densidad del aire**

Para la densidad del aire se tiene la siguiente ecuación:

$$\rho_a = \frac{P_{atm}}{R \cdot T_a} \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

$\rho_a$ : Densidad del aire  $\left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$

$R$ : Constante universal de los gases  $0.2870 [KPa \cdot m^3 / Kg \cdot ^\circ K]$

$T_a$ : Temperatura ambiente del aire [ $^\circ K$ ]

### 2.6.3. Sistema de calefacción

El sistema de calefacción brindará el calor necesario al aire entrante al secador para aumentar su temperatura y alcanzar la necesaria para poder llevar la humedad de la sangre de pollo hasta la humedad requerida.

En el intercambio de calor entre el aire y las resistencias eléctricas no habrá humidificación, por lo que la humedad específica del aire se mantendrá constante, pero al haber un incremento en la temperatura del aire, la humedad relativa de éste disminuirá.

En un sistema de flujo entrante y saliente de aire, con un aumento de temperatura por el aporte de calor, se tiene la ecuación por el balance de energía:

$$Q + m_a \cdot h_1 = m_a \cdot h_2 \dots \dots \dots (9)$$

$$Q = m_a \cdot (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

$Q$ : Calor transferido al sistema [KW]

$m_a$ : Flujo másico [ $\frac{Kg}{s}$ ]

$h_1$ : Entalpía del aire de entrada [ $\frac{KJ}{Kg}$ ]

$h_2$ : Entalpía del aire de salida [ $\frac{KJ}{Kg}$ ]

Pero como se trabajará a presión constante, se puede utilizar la ecuación siguiente para el calor transferido al sistema:

$$Q = m_a \cdot C_p (T_2 - T_1) \dots \dots \dots (11)$$

Donde:

$C_p$ : Calor específico a presión constante [ $\frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K}$ ]

$T_1$ : Temperatura del aire de entrada [ $^\circ K$ ]

$T_2$ : Temperatura de aire de salida [ $^{\circ}K$ ]

Y se sabe que el valor del Cp es de  $1.005 \frac{KJ}{Kg.^{\circ}K}$ . Del cálculo de Q se sabrá el calor que es necesario transferir al aire para que tenga la temperatura requerida, por lo tanto se necesita hacer el cálculo de la resistencia, que se llevará a cabo de la siguiente manera siguiendo la ley de Ohm:

$$V = I.R \dots \dots \dots (12)$$

$$R = \frac{V}{I} \dots \dots \dots (13)$$

Donde:

R: Resistencia eléctrica [ $\Omega$ ]

I: Intensidad [A]

V: Voltaje [V]

Pero se sabe que la potencia eléctrica está dada por la expresión:

$$P = V.I \dots \dots \dots (14)$$

Reemplazando la ecuación de Ohm en la ecuación de potencia:

$$P = \frac{V^2}{R} \dots \dots \dots (15)$$

Ahora bien, teniendo el valor de la resistencia necesaria, es necesario encontrar la longitud del alambre que se usará como resistencia, entonces, de acuerdo a la ecuación de la resistividad, que es una ecuación que relaciona la resistencia con las dimensiones del conductor:

$$\rho_a = \frac{R \cdot A}{L} \dots \dots \dots (16)$$

Donde:

$\rho_a$ : Resistividad [ $\Omega \cdot m$ ]

R: Resistencia [ $\Omega$ ]

A: Área de la sección transversal del conductor [ $m^2$ ]

L: Longitud del hilo conductor [m]

Despejando la ecuación antes mencionada:

$$L = \frac{R \cdot A}{\rho_a} \dots \dots \dots (17)$$

#### 2.6.4. Bandejas

Las bandejas utilizadas son de área rectangular o cuadrada y dependen directamente del tamaño de carga que soportarán, por lo cual deben diseñarse de forma que puedan maniobrarse sin ocasionar problemas físicos en los encargados del trabajo.

Para el cálculo del número de bandejas se procederá de la siguiente manera:

- Área de superficie por kilogramo de materia seca

$$A_{ms} = \frac{A_s}{1000} \cdot \frac{(1 + X)}{V \cdot \rho} \dots \dots \dots (18)$$

$A_{ms}$ : Área de la superficie por kilogramo de materia seca [ $\frac{m^2}{kg}$ ]

$A_s$ : Área superficial promedio [ $cm^2$ ]

$X$ : Humedad del producto en base seca  $\left[\frac{Kg H2O}{Kg ss}\right]$

$V$ : Volumen promedio del producto [ $m^3$ ]

$\rho$ : Densidad del producto  $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$

- Área de superficie de secado

$$A_{sec} = A_{ms} \cdot \frac{C_d}{F_c} \dots \dots \dots (19)$$

$A_{ms}$ : Área de superficie por kilogramo de materia seca  $\left[\frac{m^2}{Kg}\right]$

$C_d$ : Carga de producto final deshidratado [ $Kg$ ]

$F_c$ : Factor de carga

Ahora bien, para calcular el número de bandejas, se tiene la siguiente expresión:

$$N_{bandejas} = \frac{A_{sec}}{A_{ban}} \dots \dots \dots (20)$$

Las bandejas al igual que la carcasa del secador tendrán que ser de un material que no contamine el producto y deben ser perforadas para mejorar la transferencia de calor por la parte inferior, entonces, dichas perforaciones tendrán que ser de un diámetro menor al de los sólidos formados por la sangre de pollo, de modo que no pasen a través de ellos.

Las bandejas tendrán una separación de 0.05 m y serán soportadas a las paredes del secador por ángulos del mismo material.

### 2.6.5. Cámara de secado

El dimensionamiento del secador se hará de acuerdo a las dimensiones de las bandejas, del ventilador, la cámara de resistencias y los canales de circulación de aire y como éstas se acomoden. En consecuencia de que el secador es para una producción a escala banco, no va a tener un tamaño considerable como para producir lesiones o sobreesfuerzos en las personas que se encarguen de su manipulación, por lo tanto, no será necesario utilizar garruchas muy reforzadas para su movilización.

#### - Pérdidas de calor en las paredes

En todo sistema en el que exista transferencia de calor, existirán pérdidas de calor, mediante disipaciones en todas sus formas, ya que se está trabajando un sistema real. Viéndolo desde el punto de vista del secado, estas variaciones de temperatura generarían la condensación del aire extraído del material (sangre de pollo en nuestro caso), por lo tanto se tiene que evitar esto para posibles problemas en el producto terminado.

Por lo expuesto en el párrafo anterior, se necesita aislar el secador para disminuir las pérdidas y poder saber la potencia que se necesita agregar de más al sistema para que no pierda estabilidad, entonces, se procede del siguiente modo:

“Para hallar el flujo de calor por pérdida para cada pared plana, por la ley de enfriamiento de Newton” [9]:

$$q = UA\Delta T \dots \dots \dots (21)$$

Donde:

q: Flujo de calor por pérdida [W]

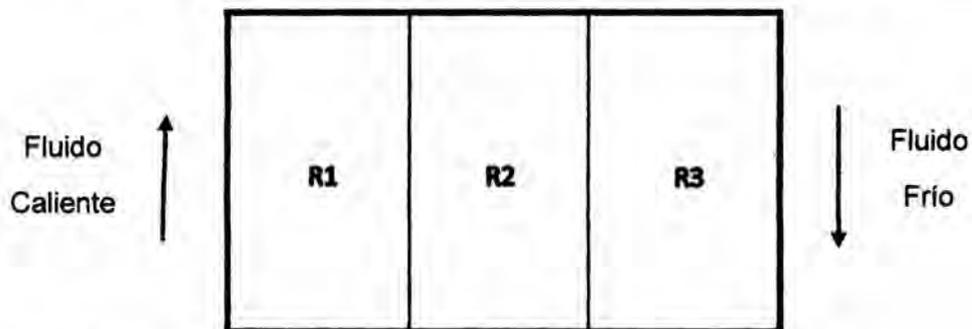
A: Área de transferencia [ $m^2$ ]

U: Coeficiente global de transferencia de calor [W/m<sup>2</sup>. °K]

$\Delta T$ : Gradiente de temperatura entre las superficies [°K]

“En casos de paredes compuestas como es el caso en estudio, es conveniente trabajar en el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor mediante una relación con la resistencia térmica total” [20], de donde, para el siguiente esquema:

**Figura N° 2.13**  
**Circuito térmico para una pared compuesta en serie**



Fuente: Incropera y DeWitt, 1996.

Expresando matemáticamente lo mostrado en la figura 2.12:

$$U = \frac{1}{R_{tot} \cdot A} = \frac{1}{\left[ \left( \frac{1}{h_i} \right) + \left( \frac{L_A}{k_A} \right) + \left( \frac{L_B}{k_B} \right) + \left( \frac{L_C}{k_C} \right) + \left( \frac{1}{h_e} \right) \right]} \dots \dots \dots (22)$$

Donde:

U: Coeficiente global de transferencia de calor [ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$ ]

$R_{tot}$ : Resistencia térmica total [ $^\circ \frac{K}{W}$ ]

A: Área de la placa [ $m^2$ ]

$h_i$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección interna [ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$ ]

$h_e$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección externa [ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$ ]

$L$ : Espesor del material [m]  
 $k$ : Conductividad térmica [ $\frac{W}{m \cdot K}$ ]

De la ecuación 22 se encontrará dificultad para hallar el valor de los coeficientes de transferencia de calor por convección forzada y natural, para ello es necesario conocer las propiedades del fluido (Temperatura, velocidad de flujo, número de Prandtl, viscosidad cinemática y conductividad térmica).

- **Coefficiente de transferencia de calor por convección forzada:**

Para el coeficiente de transferencia de calor forzada se hace inicialmente el cálculo del número de Reynolds para determinar si se tiene un flujo de aire laminar o turbulento:

$$Re = \frac{VL}{\nu} \dots \dots \dots (23)$$

Donde:

$V$ : Velocidad de flujo [ $\frac{m}{s}$ ]

$L$ : Longitud unitaria [m]

$\nu$ : Viscosidad cinemática [ $\frac{m^2}{s}$ ]

$Re$ : Número de Reynolds

- Para flujo laminar:

Para una placa plana, se tiene la expresión para el número de Nusselt:

$$Nu = 0.664 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3} \dots \dots \dots (24)$$

Donde:

$Nu$ : Número de Nusselt

$Re$ : Número de Reynolds

$Pr$ : Número de Prandtl

- Para flujo turbulento:

Para una placa plana, se tiene la expresión para el número de Nusselt:

$$Nu = \left(0.036 \cdot Re^{\frac{4}{5}} - 836\right) \cdot Pr^{1/3} \dots \dots \dots (25)$$

Todo cálculo es a la temperatura de la película, que viene dada por:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \dots \dots \dots (26)$$

De donde:

$T_f$ : Temperatura de la película [ $^{\circ}C$ ]

$T_s$ : Temperatura de la superficie [ $^{\circ}C$ ]

$T_\infty$ : Temperatura del fluido [ $^{\circ}C$ ]

Y finalmente, la expresión para el coeficiente de transferencia de calor convectivo:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L} \dots \dots \dots (27)$$

• **Coeficiente de transferencia de calor por convección natural:**

La convección natural resulta de la diferencia de temperaturas del fluido en la presencia de una fuerza gravitacional. La densidad del fluido disminuye con el incremento de la temperatura. En un campo gravitacional, dichas diferencias en densidad causadas por las diferencias en temperaturas originan fuerzas de flotación.

La ecuación para encontrar el coeficiente de transferencia de calor convectivo es la misma:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L} \dots \dots \dots (28)$$

Pero antes de encontrar el número de Nusselt, se deberá encontrar el número de Grashof, que es aplicable en paredes planas horizontales o verticales:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu^2} \dots \dots \dots (29)$$

De donde:

$Gr$ : Número de Grashof

$g$ : Aceleración de la gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$T_s$ : Temperatura superficial [ $^{\circ}K$ ]

$T_\infty$ : Temperatura del fluido [ $^{\circ}K$ ]

$L$ : Longitud Característica [ $m$ ]

$\nu$ : Viscosidad cinemática  $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

$\beta$ : Coeficiente de expansión térmica [ $^{\circ}K^{-1}$ ]

El coeficiente volumétrico de expansión térmica está dado por:

$$\beta = \frac{1}{T_\infty} \dots \dots \dots (30)$$

Una vez obtenido el número de Grashof, se procede a calcular el número de Prandtl para luego hallar la relación de Rayleigh, que servirá como indicador para saber que ecuación del número de Nusselt escoger, entonces:

$$Ra = Gr \cdot Pr \dots \dots \dots (31)$$

Entonces:

- Si  $Ra < 10^9$ :

$$Nu = 0.68 + \frac{0.670 \cdot Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{16}\right]^{4/9}} \dots \dots \dots (32)$$

- Si  $Ra > 10^9$ :

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387 \cdot Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{16}\right]^{\frac{9}{8}}}\right]^2 \dots \dots \dots (33)$$

De donde:

Para paredes verticales:

$$L = \text{Altura} \dots \dots \dots (34)$$

Para paredes horizontales:

$$L = \frac{A_p}{P_e} \dots \dots \dots (35)$$

En donde:

$L$ : Longitud característica [m]

$A_p$ : Área de la pared plana [m<sup>2</sup>]

$P_e$ : Perímetro de la pared plana [m]

Si las paredes horizontales se encuentran calientes, se debe usar las siguientes relaciones:

Si  $10^4 < Ra < 10^7$ :

$$Nu = 0.54 \cdot Ra^{1/4} \dots \dots \dots (36)$$

Si  $10^7 < Ra < 10^{11}$ :

$$Nu = 0.15 \cdot Ra^{1/3} \dots \dots \dots (37)$$

### 2.6.6. Chimenea del secador

La chimenea es la superficie abierta en el secador por donde se expulsará el aire húmedo. Si la chimenea debe permitir expulsar el 100% de la humedad, debe tener el área del ventilador, entonces se tendrá:

$$A_{ven} = \frac{\pi d_{he}^2}{4}$$

Donde:

$A_{ven}$ : Superficie del ventilador [ $m^2$ ]

$d_{he}$ : Diámetro de la hélice del ventilador [ $m$ ]

Y la relación entre el diámetro y la altura es de 1.5.

### 2.6.7. Reguladores del caudal de aire

También llamados dampers, son unas compuertas de regulación de caudal en forma de persianas de aluminio. Estas compuertas permiten el paso del caudal de aire adaptado a valores predefinidos.

### 2.6.8. Ventiladores

“Un ventilador es una turbo máquina que se caracteriza porque el fluido impulsado es un gas (fluido compresible) al que transfiere una potencia con un determinado rendimiento” [30].

Se utilizan industrialmente para hacer fluir aire y gases y son construidos de tal manera que soporten temperaturas y presiones altas.

- **Tipos de ventiladores**

Se dividen en dos tipos, axiales y radiales, sus subdivisiones se muestran en la siguiente tabla:

**TABLA N° 2.5  
TIPOS DE VENTILADORES**

	Tipos de ventiladores					
	Axiales			Radiales		
	Helicoidales	Tubulares	Turboaxiales	Álabes hacia adelante	Centrífugos	Álabes hacia atrás
<b>Requerimiento</b>	Para aire con poca pérdida por carga	Resistencia moderada del aire	Desarrollo de presiones superiores	Presión estática necesaria es media o baja	Cuando al aire contaminado debe circular a través del ventilador	Cuando se necesita mayor velocidad periférica
<b>Aplicaciones u observaciones</b>	Ventilación general	Tienen álabes estrechos de sección constante	Para rendimientos superiores	Necesitan poco espacio y trabajan silenciosamente	Utilizados en instalaciones de extracción localizada	Tiene un rendimiento por encima de todos los demás

Fuente: *Elaboración propia*

**2.7. Definición de términos**

- a) **Humedad:** Es la cantidad de vapor de agua presente en el aire.
- b) **Humedad absoluta:** Cantidad de vapor de agua que contiene el aire por unidad de volumen.
- c) **Humedad de equilibrio:** Cuando un sólido húmedo se pone en contacto, con aire de temperatura y humedad determinadas y constantes, se alcanzan las condiciones de equilibrio entre el aire y el sólido húmedo. Se logran las condiciones de equilibrio cuando la presión parcial del agua que acompaña al sólido húmedo es igual a la presión de vapor del agua en el aire.

- d) Humedad relativa: es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura.
- e) Pienso: es un alimento elaborado para animales que, según la normativa legal europea, es: Cualquier sustancia o producto, incluido los aditivos, destinado a la alimentación por vía oral de los animales, tanto si ha sido transformado entera o parcialmente como si no.
- f) Propiedades de transporte: Refiere al estudio sistemático y unificado de la transferencia de cantidad de movimiento, energía y materia. El transporte de estas cantidades guardan fuertes analogías, tanto físicas como matemáticas, de tal forma que el análisis matemático empleado es prácticamente el mismo.
- g) Rumen: Es una parte del estómago de los rumiantes, que esencialmente trabaja como una cámara de fermentación en donde las bacterias y otros microbios descomponen la fibra vegetal en componentes más pequeños y digeribles.
- h) Temperatura de bulbo húmedo: También llamada temperatura húmeda, representa una forma de medir el calor en un sistema en el que interactúan un gas y un vapor, generalmente aire y vapor de agua.
- i) Temperatura de bulbo seco: También llamada temperatura seca, mide la temperatura del aire sin considerar factores ambientales

como la radiación, la humedad o el movimiento del aire, los cuales tienen el potencial de afectar significativamente la sensación térmica.

- j) Temperatura de rocío: Es la temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina, cualquier tipo de nube o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha.

### III. VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1. Variables de la investigación.

##### 3.1.1. Variable dependiente.

Y: Diseño de un secador a escala banco para producir harina de sangre de pollo.

##### 3.1.2. Variables independientes.

X1: Parámetros de producción de harina a base de sangre de pollo.

X2: Tipo de secador para obtener menos consumo de energía.

#### 3.2. Operacionalización de variables

TABLA N° 3.1  
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y=Diseño de un secador a escala banco para producir harina de sangre de pollo.	- Medida de la altura. -Medida del radio o largo y ancho - Potencia de las resistencias. -Potencia del ventilador	-Descripción -Descripción -Descripción	- Revisión de publicaciones. - Cálculos de diseño. - Uso de softwares de diseño.
VARIABLES IND.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X1= Parámetros de producción de harina a base de sangre de pollo.	-Temperatura -Tiempo de secado -Humedad	- °C - seg. - kg agua/kg SS	- Revisión de publicaciones. - Experimentación con otros secadores
X2=Tipo de secador para obtener menos consumo de energía	- Descripción - Descripción - Descripción	- Descripción - Descripción - Descripción	- Revisión de publicaciones. - Comparación con lo obtenido del diseño de otros secadores

Fuente: *Elaboración propia*

### **3.3. Hipótesis general e hipótesis específicas.**

#### **3.3.1. Hipótesis general.**

El diseño de un secador para la producción de harina de sangre de pollo es posible en función a los parámetros: tiempo, temperatura, humedad del gas caliente y al estado de agregación de la sangre coagulada.

#### **3.3.2. Hipótesis específicas.**

- a) Para el secado de la sangre de pollo coagulada se utiliza una temperatura constante entre 50 y 80°C, por un tiempo comprendido entre 50 y 60 minutos y con una humedad del aire caliente entre 0.01 y 0.02 kg Agua/ kg Aire seco.
- b) El estado de agregación de la sangre de pollo permitirá seleccionar el tipo de secador adecuado.

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1. Tipo de investigación.**

Los tipos de investigación que se realizaron en el presente trabajo de tesis son:

- a) **Por su finalidad** es aplicada, puesto que el resultado del trabajo puede ser utilizado como generador de un producto con un principio activo (hierro y proteínas) para la fabricación de medicinas o como suplemento en la fabricación de alimentos para animales.
- b) **Por su diseño interpretativo** es experimental porque permite manipular el factor causal para determinar el efecto deseado.
- c) **Por el énfasis de la naturaleza de los datos manejados** es del tipo cualicuantitativo porque las variables de la investigación son cualitativas y cuantitativas.
- d) **Por el nivel de estudio** es de tipo exploratorio, puesto que busca identificar nuevos rumbos para la investigación en campos de conocimiento no estudiados o poco estudiados.

### **4.2. Diseño de la investigación.**

Se plantearon para la elaboración de la tesis tres etapas de investigación, de las cuales, inicialmente se identificaron las dos variables específicas (X1, X2) y se modeló la variable principal (Y).

### **4.3. Población y muestra.**

#### **4.3.1. Determinación de la factibilidad del diseño por existencia de suficiente materia prima.**

La población estuvo representada por la cantidad de sangre proveniente de los pollos sacrificados en el Callao, específicamente de la zona de Callao Cercado, Bellavista, Reynoso y La Perla. Dicha población se tomó de los datos estadísticos que fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) y demás entes que se encargan de dar la información estadística respectiva.

La producción a escala banco se encuentra entre 20 a 40 kg de producto por día, por lo que las estadísticas nos indicaron si es posible llevar a cabo el diseño propuesto, que es mostrado en el punto 4.6.1.

La muestra es una fracción de la población y fue recolectada periódicamente para las pruebas de la primera etapa, del mercado “Virgen del Rosario” – Dulanto – Callao Cercado.

#### **4.3.2. Determinación de las condiciones de trabajo por medio de recolección de datos de tiempo y humedad del producto.**

Para la determinación de dichas condiciones, las muestras tomadas de sangre de pollo tomadas fueron de aproximadamente 135 g (en el punto 4.6.1 se explica con detenimiento por qué se usa esa cantidad), con las cuales se midió el tiempo de secado a diferentes condiciones de velocidad de aire insuflado y temperatura.

#### 4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

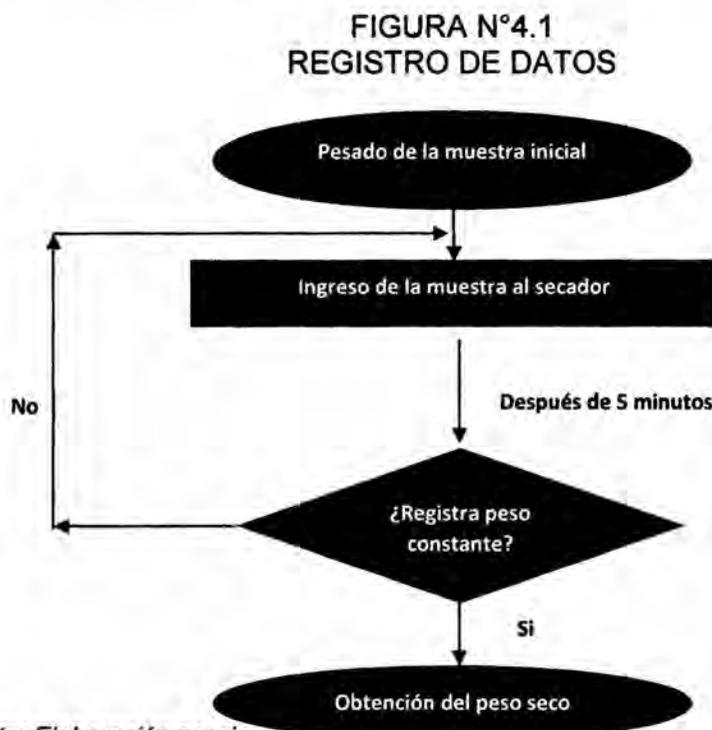
##### 4.4.1. Primera Etapa.

- **Procedimiento para hallar la cinética de secado y la temperatura de trabajo.**

Se realizaron 8 ensayos para la obtención de los parámetros de trabajo, siguiendo la siguiente estructura:

- Prueba a  $T = 55^{\circ}\text{C}$  y velocidad de aire = 3.36 m/s (duplicado).
- Prueba a  $T = 55^{\circ}\text{C}$  y velocidad de aire = 5.52 m/s (duplicado).
- Prueba a  $T = 60^{\circ}\text{C}$  y velocidad de aire = 3.36 m/s (duplicado).
- Prueba a  $T = 60^{\circ}\text{C}$  y velocidad de aire = 5.52 m/s (duplicado).

El registro de datos siguió el esquema de la Figura N° 4.1:



Fuente: *Elaboración propia*

La medida de la velocidad de aire se realizó utilizando un anemómetro digital marca Benetech Gm816 (Figura N° 4.2), y las tomas de datos se realizaron utilizando un secador por lotes a nivel de laboratorio (Figuras N° 4.3, 4.4 y 4.5). Las pesadas se realizaron utilizando una balanza digital con sensibilidad de un decimal.

La medida de la humedad relativa del aire a la entrada y salida del secador fue casi constante en los 8 casos y se registraron con un Data Logger marca Bside BTA04 (Figura N° 4.6).

FIGURA N°4.2  
ANEMÓMETRO DIGITAL



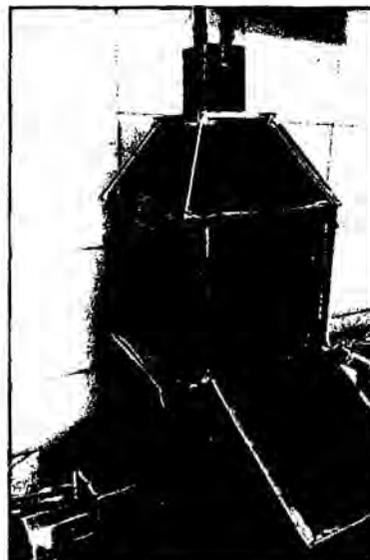
*Fuente: Elaboración propia*

**FIGURA N°4.3**  
**SECADOR POR LOTES A NIVEL DE LABORATORIO CON LA PUERTA CERRADA**



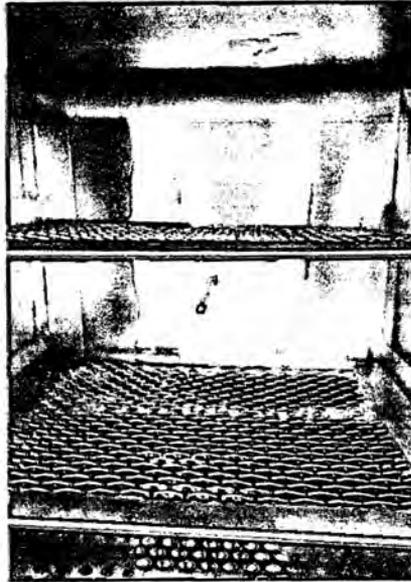
*Fuente: Elaboración propia*

**FIGURA N°4.4**  
**SECADOR POR LOTES A NIVEL DE LABORATORIO CON LA PUERTA ABIERTA**



*Fuente: Elaboración propia*

FIGURA N°4.5  
CÁMARA INTERNA DEL SECADOR



*Fuente: Elaboración propia*

FIGURA N°4.6  
DATA LOGGER

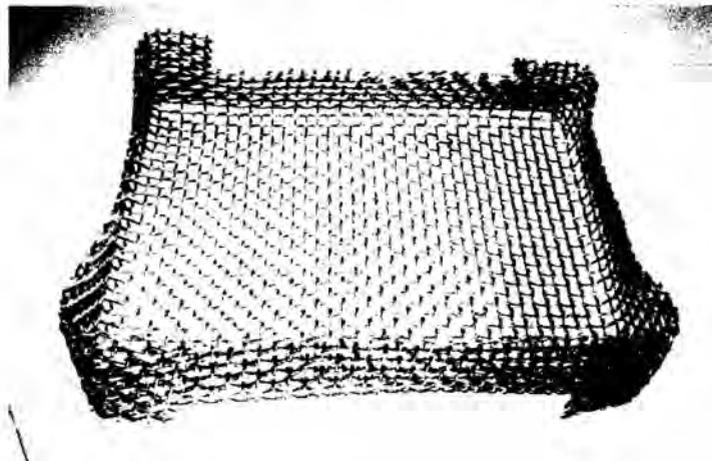


*Fuente: Elaboración propia*

Se hizo ingresar la muestra de sangre coagulada (135 g aproximadamente) en una celda tejida de acero inoxidable 316 (Figura N° 4.7), que cumplió el rol de bandeja, con unas dimensiones de 1.5 cm x 6.5 cm x 9 cm. La bandeja utilizada llena hasta el tope, tenía un área de secado de 0.0105  $m^2$  y fue fabricada con esas características para aumentar el área de contacto entre el aire caliente y el material en estudio (Figura N° 4.8)

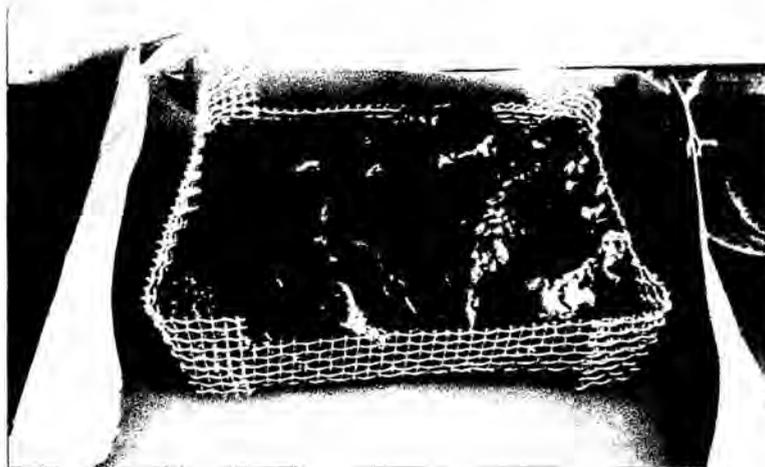
Una vez obtenidos los datos, se procedió a elaborar su tratamiento para encontrar la curva de velocidad de secado, que servirá como referencia para tomar las condiciones de operación adecuadas.

FIGURA N°4.7  
BANDEJA UTILIZADA EN EL SECADO



*Fuente: Elaboración propia*

FIGURA N°4.8  
MATERIAL CARGADO EN LA BANDEJA



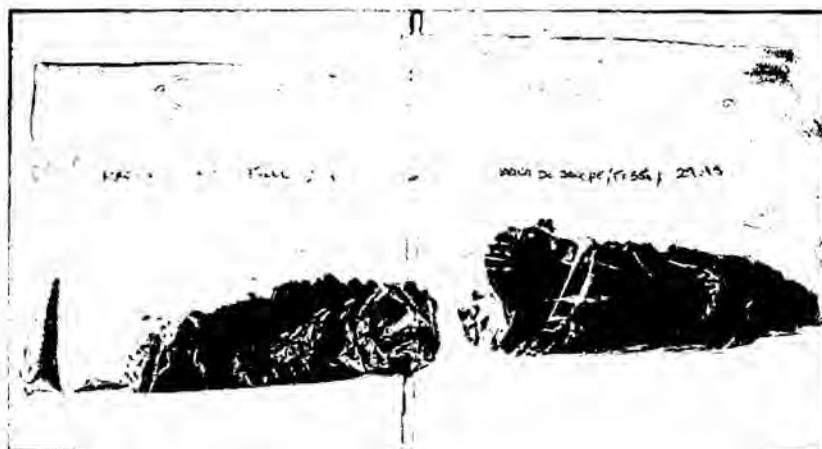
*Fuente: Elaboración propia*

La curva de secado, como se indica en el marco teórico, está compuesta por la abscisa humedad promedio ( $X_{prom}$ ) y la ordenada con la velocidad de secado ( $N$ ).

➤ **Análisis químico de la muestra.**

Se realizó un análisis químico a la harina de sangre obtenida de las pruebas anteriores (Figura N° 4.9) para identificar que temperatura afectó más la estabilidad de las proteínas presentes en la sangre tratada y también se hizo el estudio de cómo fue afectado el hierro en la harina. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de química cuantitativa y el laboratorio de investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

FIGURA N°4.9  
HARINA DE SANGRE CON SECADO A 60 Y 55 °C



Fuente: Elaboración propia

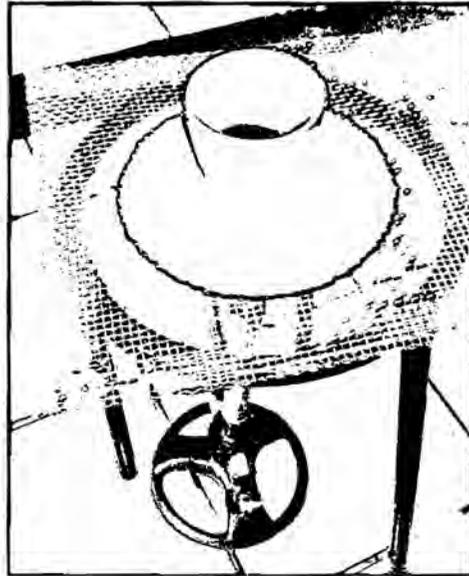
La técnica para la cuantificación de los parámetros mencionados fue la espectrofotometría UV.

Se hará mención de cada caso a continuación:

- **Hierro.**

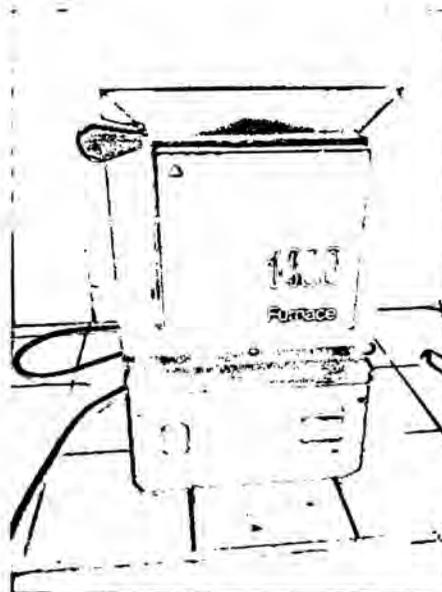
De acuerdo con la: GUÍA DE ANÁLISIS MEDIANTE MÉTODOS DE ESPECTROMETRÍA MOLECULAR EN EL UV – VISIBLE (Facultad de ciencias) de la Universidad Central de Venezuela, se hizo un análisis de hierro total, para lo cual, se tomaron cuatro muestras (T= 55 y 60°C por duplicado) y se sometieron a calentamiento de forma previa en un mechero Bunsen (Figura N° 4.10) y luego a 700°C por una hora en una mufla marca Barnstead Thermolyne (Figura N° 4.11), para eliminar la materia orgánica para y así no interfiera en la lectura del hierro (Figura N° 4.12).

FIGURA N°4.10  
CALENTAMIENTO PREVIO DE LAS MUESTRAS



Fuente: *Elaboración propia*

FIGURA N°4.11  
MUFLA UTILIZADA EN LA PRUEBA



Fuente: *Elaboración propia*

**FIGURA N°4.12  
MUESTRAS SOMETIDAS A ALTAS TEMPERATURAS**



*Fuente: Elaboración propia*

Una vez eliminada la materia orgánica se procedió a hacer el análisis espectrofotométrico en un equipo marca Varian modelo Cary 50 Conc (Figura N° 4.13) utilizando el método de acomplejamiento con Fenantrolina.

**FIGURA N°4.13  
EQUIPO DE ESPECTROFOTOMETRÍA UTILIZADO**



*Fuente: Elaboración propia*

Primero se hizo una curva de calibración con diluciones de Sulfato de hierro y amonio (II), adicionando el acomplexante 1,10 Fenantrolina (Figura N° 4.14).

El método indica agregar clorhidrato de hidroxilamina para asegurarnos de que todo el hierro esté en su forma 2+, y posteriormente se agrega acetato de sodio (Figura N° 4.15 y 4.16) para asegurarnos que el pH esté en el rango de 2 a 9 en el cual se forma el complejo Tris (1,10 – Fenantrolina) Hierro (II).

Se pesaron 10g de muestra y fueron disueltos hasta 50mL con agua desionizada, para posteriormente tomar un mililitro de la solución preparada diluirlo hasta 250 mL también en agua desionizada.

Por lo tanto, al resultado obtenido de concentración, habrá que multiplicarlo por el factor de dilución que es 250.

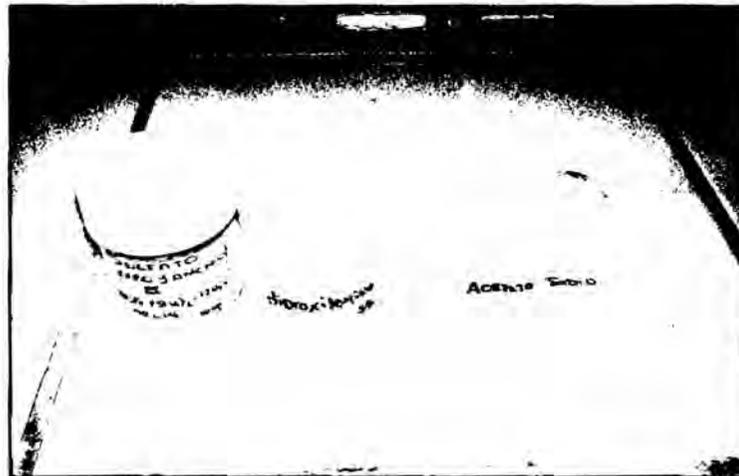
FIGURA N°4.14  
SOLUCIONES UTILIZADAS PARA FORMAR LA CURVA PATRÓN.



*Fuente: Elaboración propia*

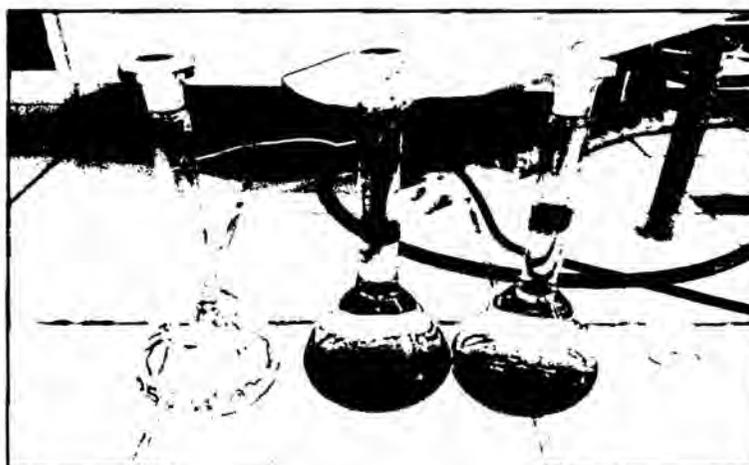
Posteriormente se analiza espectrofotométricamente las muestras y se intersectan en la curva patrón para hallar las concentraciones problema.

FIGURA N°4.15  
REACTIVOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE HIERRO



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°4.16  
MUESTRAS DILUIDAS EN AGUA DESIONIZADA



Fuente: Elaboración propia

- **Proteínas.**

Para éste análisis se siguió el procedimiento de la guía: MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE PROTEÍNAS de la Universidad de Córdoba.

Se hizo uso del método de Bradford, que consiste en formar un complejo de  $\text{Cu}^{2+}$  con los enlaces peptídicos de las proteínas totales presentes en la muestra y que forman un complejo coloreado que absorbe radiación UV.

Se hizo un procedimiento similar en el mismo espectrofotómetro, esta vez haciendo la curva de calibración con las absorbancias de diluciones de albúmina (patrón) (Figura N° 4.17), para luego poder encontrar la concentración necesaria.

Esta vez el reactivo acomplejante fue el reactivo de Bradford, que es una combinación de Azul de Coomasie G-250, ácido fosfórico (medio) y etanol absoluto (Figura N° 4.18).

De igual forma que para el hierro, se pesaron 10g de muestra y fueron disueltos hasta 50mL con agua desionizada, para posteriormente tomar un mililitro de la solución preparada diluirlo hasta 100 mL también en agua desionizada.

Por lo tanto, al resultado obtenido de concentración, habrá que multiplicarlo por el factor de dilución que es 100.

Luego de haber obtenido el valor de la concentración inicial, se procede a calcular el peso de proteína en 100 g de harina de sangre, haciendo uso de una regla de tres simple.

**FIGURA N°4.17**  
**SOLUCIONES ACOMPLEJADAS DE ALBÚMINA A DIFERENTE**  
**CONCENTRACIÓN**



*Fuente: Elaboración propia*

**FIGURA N°4.18**  
**INSUMOS PARA PREPARAR EL REACTIVO DE BRADFORD**



*Fuente: Elaboración propia*

Posteriormente se procedió a acomplejar las muestras de harina de sangre (Figura N° 4.19) y a hacer la lectura de sus absorbancias en el espectrofotómetro.

FIGURA N°4.19  
MUESTRAS ACOMPLEJADAS CON EL REACTIVO DE BRADFORD



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.4.2. Segunda Etapa.

➤ **Determinación del tipo de secador.**

De acuerdo a lo planteado en el marco teórico se determinó el tipo de secador a diseñar.

➤ **Cálculos para el diseño del secador.**

Se realizaron los cálculos fundamentales de dimensionamiento siguiendo las expresiones planteadas en el marco teórico y se muestran con más detalle en el siguiente apartado.

#### **4.4.3. Tercera etapa.**

Para elaborar el diseño del secador, se utilizaron los dimensionamientos realizados en la etapa anterior y se modelaron virtualmente en AutoCAD 3D, obteniéndose las imágenes en el capítulo siguiente y los planos en los anexos.

#### **4.5. Procedimientos de recolección de datos.**

##### **4.5.1. Recolección de datos para verificar la factibilidad del diseño por existencia de suficiente materia prima.**

La recolección de datos se basó en una fuente secundaria, que principalmente fue la data obtenida del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), por lo que no será necesario seguir un protocolo de recolección de datos.

##### **4.5.2. Recolección de datos para verificar las condiciones de trabajo.**

Los datos recogidos fueron en base a la metodología mostrada en el punto 4.4.1.

#### **4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.**

##### **4.6.1. Procesamiento de datos para verificar la factibilidad del diseño por existencia de suficiente materia prima.**

La base para el análisis de los datos se muestra en la tabla siguiente:

**TABLA N° 4.1**  
**CONSUMO NACIONAL DE POLLO**

Año	Consumo global (TM)
1998	187355
1999	199766
2000	206347
2001	208716
2002	223970
2003	232604
2004	233214
2005	262364
2006	286692
2007	311211

*Fuente: INEI, 2015*

Para poder hacer la comparación entre lo teórico y los datos actuales, es necesario recurrir al modelamiento matemático de los datos obtenidos, debido a que solo se cuenta con el consumo hasta el año 2007.

Los siguientes modelos serán utilizados para moldear los datos hasta conseguir una tendencia lineal:

- **Modelo lineal:**

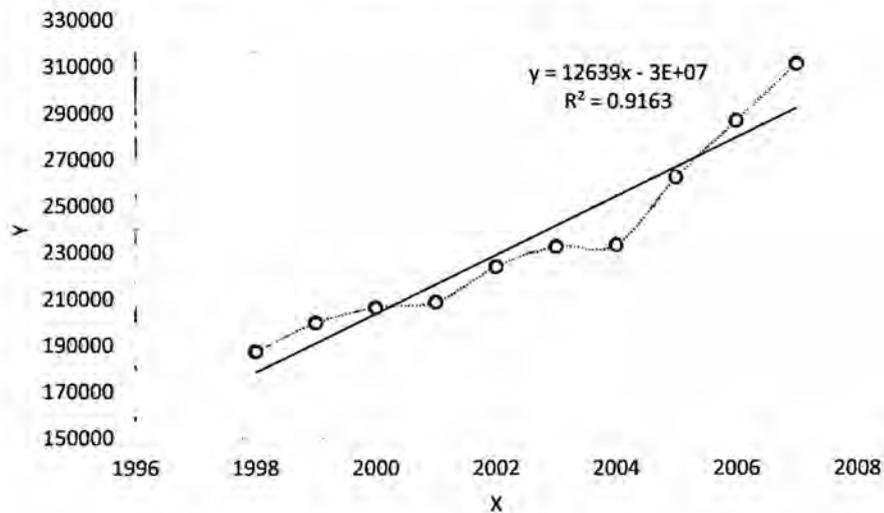
$$Y = A + BX$$

**TABLA N° 4.2**  
**MODELAMIENTO LINEAL DE LOS DATOS**

X	Y
1998	187355
1999	199766
2000	206347
2001	208716
2002	223970
2003	232604
2004	233214
2005	262364
2006	286692
2007	311211

*Fuente: Elaboración propia*

**GRÁFICO N° 4.1**  
**COMPORTAMIENTO LINEAL DE LOS DATOS**



Fuente: Elaboración propia

- **Modelo potencial:**

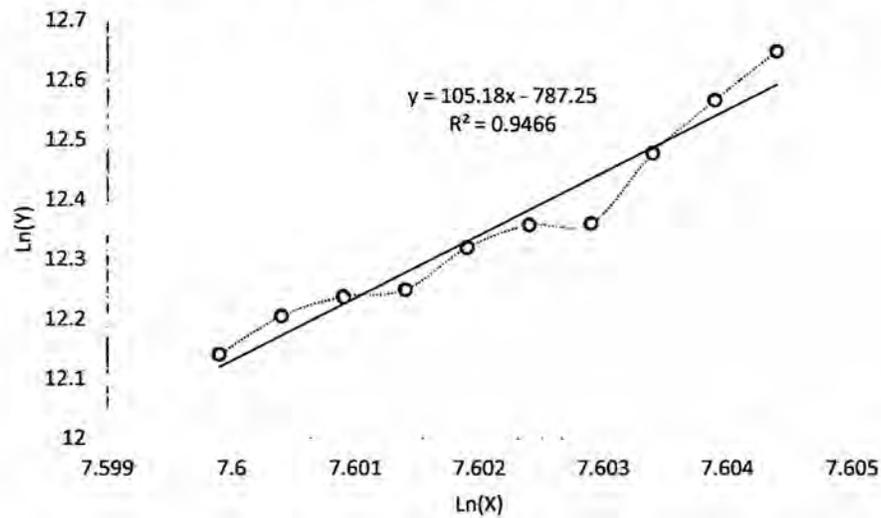
$$Y = AX^B \rightarrow \ln(Y) = \ln(A) + B \cdot \ln(X)$$

**TABLA N° 4.3**  
**MODELAMIENTO POTENCIAL DE LOS DATOS**

Ln(X)	Ln(Y)
7.59990196	12.1407605
7.60040233	12.204902
7.60090246	12.2373145
7.60140233	12.2487298
7.60190196	12.3192674
7.60240134	12.3570927
7.60290046	12.3597118
7.60339934	12.4774881
7.60389797	12.5661637
7.60439635	12.6482264

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO N° 4.2**  
**COMPORTAMIENTO POTENCIAL DE LOS DATOS**



Fuente: Elaboración propia

- **Modelo exponencial:**

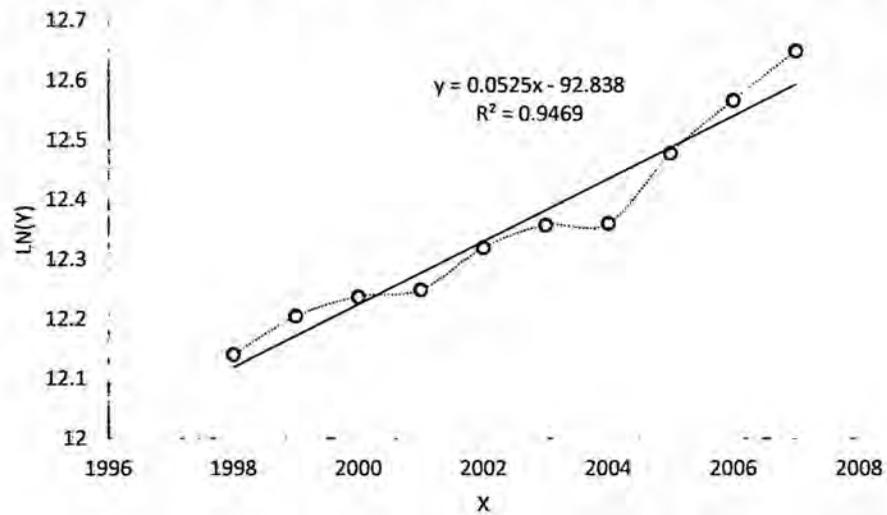
$$Y = AB^X \rightarrow \ln(Y) = \ln(A) + X \cdot \ln(B)$$

**TABLA N° 4.4**  
**MODELAMIENTO EXPONENCIAL DE LOS DATOS**

X	Ln(Y)
1998	12.1407605
1999	12.204902
2000	12.2373145
2001	12.2487298
2002	12.3192674
2003	12.3570927
2004	12.3597118
2005	12.4774881
2006	12.5661637
2007	12.6482264

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO N° 4.3**  
**COMPORTAMIENTO EXPONENCIAL DE LOS DATOS**



Fuente: Elaboración propia

- **Modelo hiperbólico:**

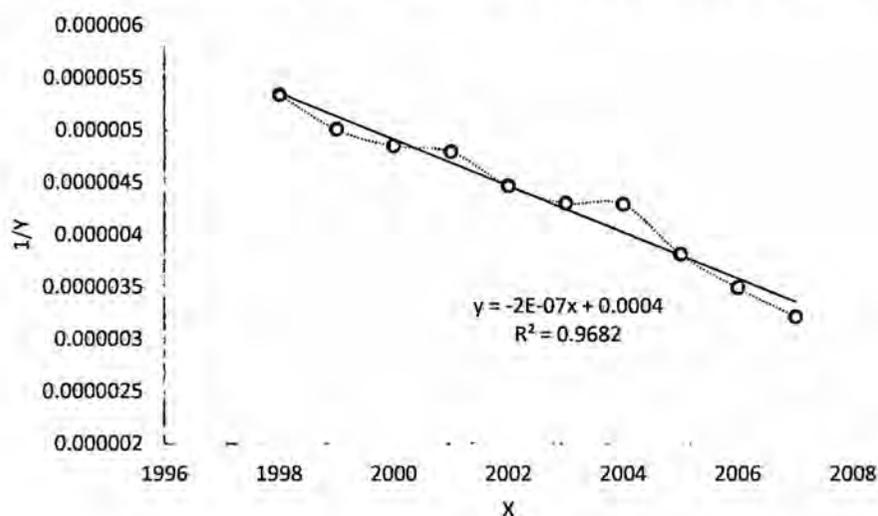
$$Y = \frac{1}{A+BX} \rightarrow \frac{1}{Y} = A + BX$$

**TABLA N° 4.5**  
**MODELAMIENTO HIPERBÓLICO DE LOS DATOS**

X	1/Y
1998	5.33746E-06
1999	5.00586E-06
2000	4.84621E-06
2001	4.7912E-06
2002	4.46488E-06
2003	4.29915E-06
2004	4.28791E-06
2005	3.8115E-06
2006	3.48806E-06
2007	3.21325E-06

Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO N° 4.4**  
**COMPORTAMIENTO HIPERBÓLICO DE LOS DATOS**



*Fuente: Elaboración propia*

- **Modelo Semilogarítmico:**

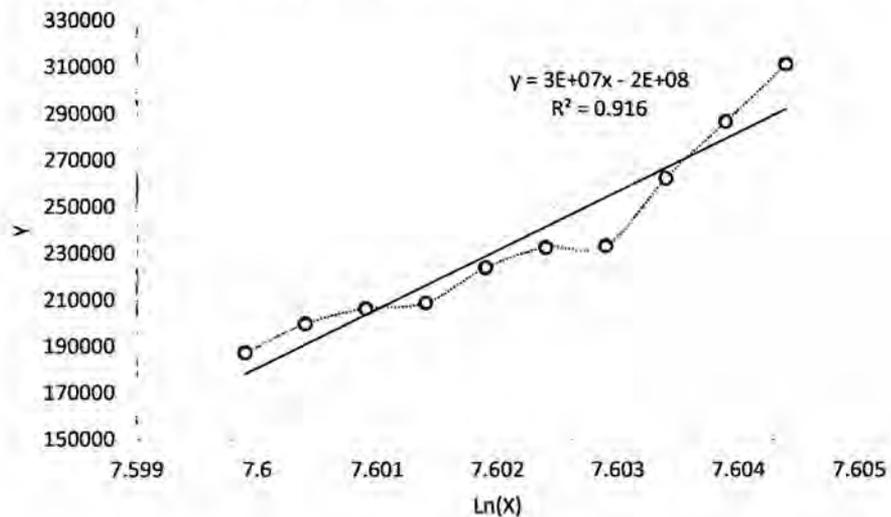
$$Y = A + B \ln(X)$$

**TABLA N° 4.6**  
**MODELAMIENTO SEMILOGARÍTMICO DE LOS DATOS**

Ln(X)	Y
7.599901959	187355
7.600402335	199766
7.60090246	206347
7.601402335	208716
7.60190196	223970
7.602401336	232604
7.602900462	233214
7.60339934	262364
7.603897969	286692
7.604396349	311211

*Fuente: Elaboración propia*

**GRÁFICO N° 4.5**  
**COMPORTAMIENTO SEMILOGARÍTMICO DE LOS DATOS**



*Fuente: Elaboración propia*

De lo mostrado en los gráficos anteriores, se puede observar un mejor ajuste de los datos para el modelo hiperbólico, pero si ajustamos los datos a ese modelo, los valores de las toneladas métricas resultan negativos y son valores que no se ajustan a la obvia tendencia creciente que es una constante en todos los modelos observados, por lo tanto se usará el siguiente modelo que lleve un mejor coeficiente de correlación, que en este caso es para el modelo exponencial.

Entonces se obtiene el siguiente cuadro:

**TABLA N° 4.7**  
**GENERACIÓN DE DATOS A PARTIR DEL MODELO**  
**EXPONENCIAL**

X	Ln(Y)	Y
1998	12.1407605	187355
1999	12.204902	199766
2000	12.2373145	206347
2001	12.2487298	208716
2002	12.3192674	223970
2003	12.3570927	232604
2004	12.3597118	233214
2005	12.4774881	262364
2006	12.5661637	286692
2007	12.6482264	311211
2008	12.582	291268.267
2009	12.6345	306968.372
2010	12.687	323514.754
2011	12.7395	340953.028
2012	12.792	359331.27
2013	12.8445	378700.146
2014	12.897	399113.054
2015	12.9495	420626.271
2016	13.002	443299.104

*Fuente: Elaboración propia*

Donde podemos observar que el consumo total de pollo en Perú en el año 2016 es de 443299.104 TM.

De los datos del INEI también se encuentran los porcentajes poblacionales del Perú, por departamentos y por distritos, de donde se extrajeron las siguientes tablas:

**TABLA N° 4.8**  
**DATOS POBLACIONALES DE INTERÉS**

	Población	%
<b>Lima</b>	8751799	28.4
<b>Callao</b>	999976	3.2
<b>Perú</b>	30816193.66	100

*Fuente: INEI, 2015.*

**TABLA N° 4.9**  
**DATOS POBLACIONALES DE LOS DISTRITOS DEL CALLAO**

<b>Distrito</b>	<b>Población</b>	<b>%</b>
Callao	410640	41
Bellavista	72665	7.2
Reynoso	41431	4.5
La Perla	59518	5.9
La Punta	3521	0.3
Mi Perú	56371	5.6
Ventanilla	355830	35.5
<b>Total</b>	<b>999976</b>	<b>100</b>

*Fuente: INEI, 2015.*

Por lo tanto se puede hacer una aproximación a la cantidad de pollo consumido anualmente a partir de los datos anteriores. Para obtener la cantidad de pollo consumida en el Callao se usará una regla de tres simple:

**TABLA N° 4.10**  
**CONSUMO DE POLLO EN EL CALLAO**

	<b>Consumo pollo (TM)</b>	<b>%</b>
<b>Perú</b>	<b>443299.104</b>	<b>100</b>
<b>Callao</b>	<b>14185.57133</b>	<b>3.2</b>

*Fuente: INEI, 2015.*

Una vez obtenido el consumo de pollo en el Callao a partir del porcentaje que representa poblacionalmente, del mismo modo se hará el cálculo para el Callao Cercado, Bellavista, Reynoso y La Punta:

**TABLA N° 4.11**  
**CONSUMO DE POLLO EN LOS DISTRITOS EN ESTUDIO**

	<b>Consumo pollo (TM)</b>	<b>%</b>
<b>Callao</b>	<b>14185.57133</b>	<b>100</b>
<b>Callao Cercado, Bellavista, Reynoso y La punta</b>	<b>8312.74480</b>	<b>58.6</b>

*Fuente: INEI, 2015.*

De donde se tiene un valor en toneladas métricas de pollo consumido, que es igual a 8312.7448.

El volumen de sangre por Kg de un pollo promedio (2.5Kg) es de 60 mL [24], haciendo el cálculo del volumen total de sangre de pollo en el Callao

Cercado por año:

$$V = 8312744.8 \frac{Kg}{año} * \frac{60mL}{Kg} * \frac{1L}{1000 mL}$$

$$V = 498764.688 \frac{L}{año}$$

Para un día:

$$V = 498764.688 \frac{L}{año} * \frac{1 año}{365 días}$$

$$V = 1366.4786 \frac{L}{día}$$

Entonces, aproximadamente se generan 1367 L de sangre por día en las zonas de interés, por lo tanto, calculando el tamaño de muestra con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * \sigma^2 * Z^2}{(N - 1) * e + \sigma^2 * Z^2}$$

Donde:

*n*: Tamaño de muestra.

*N*: Tamaño de la población.

*Z: Valor obtenido mediante niveles de confianza:*

95% → 1.96

99% → 2.56

*e: Limite aceptable de error muestral que varía entre 0.01 y 0.09*

*σ: Desviación estandar.*

Entonces, trabajando para un límite de confianza del 95%, un error de 0.01 y una dispersión del 60% se obtiene lo siguiente:

$$n = \frac{\left(1367 \frac{L \text{ sangre fresca}}{\text{día}}\right) * (0.6)^2 * 1.96^2}{(1367 - 1) * 0.01 + (0.6)^2 * 1.96^2}$$

$$n = 125.6708 \frac{L \text{ sangre fresca}}{\text{día}}$$

Dicho valor, en contraste con lo obtenido de los resultados, es aproximadamente lo que se necesita para obtener 30 kg de harina de sangre al día (ya que de acuerdo a lo experimentado, 135 g de sangre fresca producen 0.0293 kg de harina de sangre y por regla de 3 simple, para 30 Kg de harina de sangre, se necesitan 135.46 Kg de sangre fresca), por lo que se justifica el diseño a escala banco ajustándolo a 30 kg/día de producto y que será utilizado para los cálculos de diseño.

De acuerdo a lo propuesto, se está dentro de los límites teóricos y es posible hacer el diseño sin problemas de escasez de materia prima.

#### **4.6.2. Procesamiento de datos para verificar las condiciones de trabajo.**

Los datos obtenidos de tiempo de secado y peso del material fueron tratados directamente en la sección resultados para mostrar las curvas de la cinética de secado. El tratamiento fue llevado a cabo mediante las funciones proporcionadas por hojas de cálculo en Ms Excel 2013.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Determinación de los parámetros de producción de harina de sangre de pollo.

#### ➤ Pruebas de secado

Se obtuvieron las siguientes tablas:

- Para  $T = 55^{\circ}\text{C}$  y velocidad de aire = 3.42 m/s

TABLA N° 5.1  
DATOS OBTENIDOS A  $55^{\circ}\text{C}$  Y 3.42 M/S DE VELOCIDAD DE AIRE CALIENTE

TIEMPO		PRUEBA 1		PRUEBA 2	
t (min)	t (h)	W total (g)	W sangre (kg)	W total (g)	W sangre (kg)
0	0	135.5	0.1052	134.6	0.1043
5	0.1	133.1	0.1028	133.8	0.1035
10	0.2	131.9	0.1016	132.2	0.1019
15	0.3	130.2	0.0999	131.2	0.1009
20	0.3	129.8	0.0995	130.4	0.1001
25	0.4	127.3	0.097	128.6	0.0983
30	0.5	126.8	0.0965	127.9	0.0976
35	0.6	126.1	0.0958	128.4	0.0981
40	0.7	124.9	0.0946	126.5	0.0962
45	0.8	122.3	0.092	123.4	0.0931
50	0.8	121.5	0.0912	122.4	0.0921
55	0.9	120.4	0.0901	121.7	0.0914
60	1	119.7	0.0894	120.6	0.0903
65	1.1	118.6	0.0883	119.2	0.0889
70	1.2	117.1	0.0868	117.3	0.087
75	1.3	115.3	0.085	116	0.0857
80	1.3	114.1	0.0838	115.1	0.0848
85	1.4	112.8	0.0825	113.1	0.0828
90	1.5	112	0.0817	112.2	0.0819
95	1.6	110.4	0.0801	110.7	0.0804
100	1.7	108	0.0777	109.9	0.0796
105	1.8	106.8	0.0765	107.2	0.0769
110	1.8	103.1	0.0728	105.2	0.0749
115	1.9	101	0.0707	104.3	0.074

Continuación de la Tabla N° 5.1:

120	2	99.3	0.069	102.2	0.0719
125	2.1	97.2	0.0669	100.9	0.0706
130	2.2	94.8	0.0645	98.5	0.0682
135	2.3	92.8	0.0625	96.7	0.0664
140	2.3	91.1	0.0608	95.2	0.0649
145	2.4	89.4	0.0591	93.9	0.0636
150	2.5	87.9	0.0576	92.5	0.0622
155	2.6	86.4	0.0561	91.7	0.0614
160	2.7	84.9	0.0546	91.4	0.0611
165	2.8	83.5	0.0532	90.8	0.0605
170	2.8	82.3	0.052	90.4	0.0601
175	2.9	81.1	0.0508	89.6	0.0593
180	3	80.2	0.0499	89.1	0.0588
185	3.1	79.1	0.0488	88.3	0.058
190	3.2	78.2	0.0479	87.4	0.0571
195	3.3	77.4	0.0471	87	0.0567
200	3.3	76.5	0.0462	86.3	0.056
205	3.4	75.8	0.0455	84.2	0.0539
210	3.5	75	0.0447	82.9	0.0526
215	3.6	74.4	0.0441	80.9	0.0506
220	3.7	73.6	0.0433	80.1	0.0498
225	3.8	73.1	0.0428	79.3	0.049
230	3.8	72.5	0.0422	78.6	0.0483
235	3.9	71.9	0.0416	78.1	0.0478
240	4	71.4	0.0411	77.4	0.0471
245	4.1	71	0.0407	77.6	0.0473
250	4.2	70.6	0.0403	75.8	0.0455
255	4.3	70	0.0397	74.2	0.0439
260	4.3	69.7	0.0394	73.8	0.0435
265	4.4	69.2	0.0389	72.1	0.0418
270	4.5	68.8	0.0385	70.7	0.0404
275	4.6	68.2	0.0379	69.4	0.0391
280	4.7	67.6	0.0373	69	0.0387
285	4.8	67.2	0.0369	68.3	0.038
290	4.8	66.8	0.0365	67.4	0.0371
295	4.9	66.2	0.0359	66.9	0.0366
300	5	65.8	0.0355	66.5	0.0362
305	5.1	64.2	0.0339	65.2	0.0349

Continuación de la Tabla N° 5.1:

310	5.2	62.7	0.0324	64.8	0.0345
315	5.3	61.8	0.0315	64.1	0.0338
320	5.3	60.9	0.0306	63.2	0.0329
325	5.4	60	0.0297	62.8	0.0325
330	5.5	59.5	0.0292	61.4	0.0311
335	5.6	58.8	0.0285	60.9	0.0306
340	5.7	58.2	0.0279	60.3	0.03
345	5.8	57.7	0.0274	59.7	0.0294
350	5.8	57.3	0.027	59.5	0.0292
355	5.9	56.8	0.0265	59.4	0.0291
360	6	56.4	0.0261	59.1	0.0288
365	6.1	56.4	0.0261	58.6	0.0283
370	6.2	56.3	0.026	58.5	0.0282
375	6.3	56.3	0.026	58.2	0.0279
380	6.3	56.3	0.026	58.1	0.0278
385	6.4	56.3	0.026	58.1	0.0278
390	6.5	56.3	0.026	58.1	0.0278

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$$W_{\text{sangre seca promedio}} = L_s = 0.0269 \text{ Kg}$$

$$A_{\text{secado}} = 0.0105 \text{ m}^2$$

De donde se obtiene:

$$-\left(\frac{L_s}{A}\right) = -2.5619$$

Y haciendo el tratamiento de datos:

TABLA N° 5.2  
TRATAMIENTO DE DATOS A 55°C Y 3.42 M/S DE VELOCIDAD DE  
AIRE CALIENTE

PROMEDIO	X	X prom	$\Delta X/\Delta t$	N
W promedio				
0.1047	2.89			
0.1031	2.83	2.86	-0.8	1.9
0.1017	2.78	2.8	-0.6	1.6
0.1004	2.73	2.75	-0.6	1.4
0.0998	2.71	2.72	-0.3	0.6
0.0976	2.62	2.66	-1.1	2.9

Continuación de la Tabla N° 5.2:

0.097	2.6	2.61	-0.2	0.6
0.0969	2.6	2.6	0	0
0.0954	2.54	2.57	-0.8	1.9
0.0925	2.43	2.48	-1.2	3.1
0.0916	2.4	2.41	-0.4	0.9
0.0907	2.37	2.38	-0.4	0.9
0.0898	2.33	2.35	-0.4	1.1
0.0886	2.29	2.31	-0.5	1.3
0.0869	2.23	2.26	-0.8	1.9
0.0853	2.17	2.2	-0.7	1.7
0.0843	2.13	2.15	-0.5	1.3
0.0826	2.07	2.1	-0.8	1.9
0.0818	2.04	2.05	-0.3	0.8
0.0802	1.98	2.01	-0.8	1.9
0.0786	1.92	1.95	-0.8	1.9
0.0767	1.85	1.88	-0.8	2
0.0738	1.74	1.79	-1.4	3.5
0.0723	1.68	1.71	-0.8	1.9
0.0704	1.61	1.64	-0.8	2
0.0687	1.55	1.58	-0.8	1.9
0.0663	1.46	1.5	-1.1	2.9
0.0644	1.39	1.42	-0.8	2
0.0628	1.33	1.36	-0.7	1.9
0.0613	1.27	1.3	-0.8	1.9
0.0599	1.22	1.24	-0.6	1.4
0.0587	1.18	1.2	-0.5	1.3
0.0578	1.14	1.16	-0.5	1.3
0.0568	1.11	1.12	-0.3	0.8
0.056	1.08	1.09	-0.4	0.9
0.055	1.04	1.06	-0.5	1.3
0.0543	1.01	1.02	-0.3	0.8
0.0534	0.98	0.99	-0.4	0.9
0.0525	0.95	0.96	-0.4	0.9
0.0519	0.92	0.93	-0.3	0.8
0.0511	0.89	0.9	-0.4	0.9
0.0497	0.84	0.86	-0.6	1.6
0.0486	0.8	0.82	-0.4	1.1
0.0473	0.75	0.77	-0.6	1.6

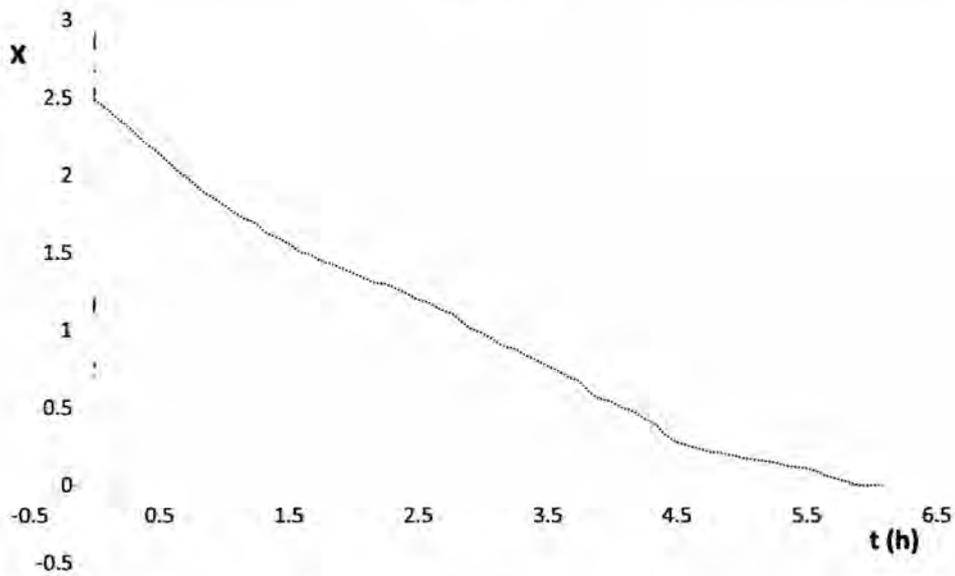
Continuación de la Tabla N° 5.2:

0.0465	0.72	0.73	-0.4	0.9
0.0459	0.7	0.71	-0.2	0.6
0.0452	0.68	0.69	-0.2	0.6
0.0447	0.66	0.67	-0.3	0.6
0.0441	0.63	0.64	-0.3	0.8
0.044	0.63	0.63	0	0
0.0429	0.59	0.61	-0.5	1.3
0.0418	0.55	0.57	-0.4	1.1
0.0414	0.53	0.54	-0.3	0.6
0.0403	0.49	0.51	-0.5	1.3
0.0394	0.46	0.47	-0.3	0.8
0.0385	0.43	0.44	-0.4	0.9
0.038	0.41	0.42	-0.3	0.6
0.0374	0.39	0.4	-0.2	0.6
0.0368	0.36	0.37	-0.4	0.9
0.0362	0.34	0.35	-0.2	0.6
0.0358	0.33	0.33	-0.1	0.3
0.0344	0.27	0.3	-0.7	1.9
0.0334	0.24	0.25	-0.4	0.9
0.0326	0.21	0.22	-0.3	0.8
0.0317	0.17	0.19	-0.5	1.3
0.0311	0.15	0.16	-0.3	0.6
0.0301	0.11	0.13	-0.4	1.1
0.0295	0.09	0.1	-0.3	0.6
0.0289	0.07	0.08	-0.3	0.6
0.0284	0.05	0.06	-0.2	0.6
0.0281	0.04	0.04	-0.1	0.3
0.0278	0.03	0.03	-0.1	0.3
0.0274	0.01	0.02	-0.2	0.6
0.0272	0.01	0.01	0	0
0.0271	0	0	-0.1	0.3
0.0269	0	0	0	0
0.0269	0	0	0	0
0.0269	0	0	0	0
0.0269	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

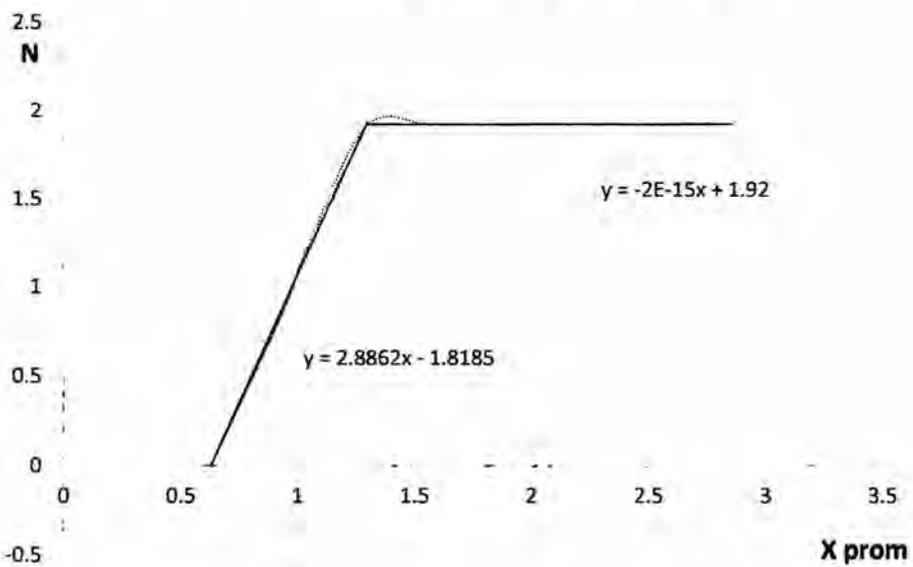
Habiendo hecho el tratamiento de los datos, se procede a hacer la curva de secado y de velocidad de secado:

**GRÁFICO N° 5.1**  
**CURVA DE SECADO A 55°C Y 3.42 M/S DE VELOCIDAD DE AIRE CALIENTE**



Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO N° 5.2**  
**CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 55°C Y 3.42 M/S DE VELOCIDAD DE AIRE CALIENTE**



Fuente: Elaboración propia

- Para  $T = 55^{\circ}\text{C}$  y velocidad de aire = 5.63 m/s

TABLA N° 5.3  
DATOS OBTENIDOS A  $55^{\circ}\text{C}$  Y 5.63 M/S DE VELOCIDAD DE AIRE  
CALIENTE

TIEMPO		PRUEBA 1		PRUEBA 2	
t (min)	t (h)	W total (g)	W sangre (kg)	W total (g)	W sangre (kg)
0	0	132.3	0.102	133.2	0.1029
5	0.1	130.5	0.1002	131.8	0.1015
10	0.2	128.7	0.0984	130.5	0.1002
15	0.3	126.7	0.0964	128.5	0.0982
20	0.3	124.9	0.0946	127.3	0.097
25	0.4	123.1	0.0928	125.2	0.0949
30	0.5	121.2	0.0909	123.9	0.0936
35	0.6	119.5	0.0892	121.7	0.0914
40	0.7	118	0.0877	120.1	0.0898
45	0.8	116.3	0.086	118.4	0.0881
50	0.8	114.8	0.0845	116.1	0.0858
55	0.9	113.3	0.083	115.2	0.0849
60	1	112.1	0.0818	113.8	0.0835
65	1.1	110.5	0.0802	112.3	0.082
70	1.2	109.4	0.0791	111.1	0.0808
75	1.3	108.3	0.078	110.2	0.0799
80	1.3	106.8	0.0765	108	0.0777
85	1.4	105.8	0.0755	107.2	0.0769
90	1.5	104.8	0.0745	106.1	0.0758
95	1.6	103.7	0.0734	104.5	0.0742
100	1.7	103	0.0727	103.8	0.0735
105	1.8	102	0.0717	102.5	0.0722
110	1.8	101.3	0.071	101.7	0.0714
115	1.9	100.4	0.0701	101.2	0.0709
120	2	99.3	0.069	100.5	0.0702
125	2.1	98.8	0.0685	99.1	0.0688
130	2.2	98.1	0.0678	98.4	0.0681
135	2.3	97.4	0.0671	98	0.0677
140	2.3	96.9	0.0666	97.2	0.0669
145	2.4	95.6	0.0653	96.5	0.0662
150	2.5	94.6	0.0643	95.1	0.0648
155	2.6	93.9	0.0636	94.7	0.0644
160	2.7	93.3	0.063	93.2	0.0629

Continuación de la Tabla N° 5.3:

165	2.8	91.9	0.0616	92.5	0.0622
170	2.8	90.7	0.0604	90.9	0.0606
175	2.9	89.7	0.0594	89	0.0587
180	3	88.8	0.0585	88.1	0.0578
185	3.1	87.3	0.057	87.2	0.0569
190	3.2	86	0.0557	86.5	0.0562
195	3.3	84.9	0.0546	86	0.0557
200	3.3	83.7	0.0534	85.1	0.0548
205	3.4	82.7	0.0524	84.6	0.0543
210	3.5	81.7	0.0514	83.2	0.0529
215	3.6	80.8	0.0505	82	0.0517
220	3.7	79.3	0.049	81.3	0.051
225	3.8	78.1	0.0478	80.8	0.0505
230	3.8	76.4	0.0461	78.3	0.048
235	3.9	75.1	0.0448	77.5	0.0472
240	4	73.9	0.0436	77.1	0.0468
245	4.1	72.5	0.0422	76.5	0.0462
250	4.2	70.7	0.0404	76.8	0.0465
255	4.3	69.5	0.0392	75.2	0.0449
260	4.3	68.2	0.0379	74.6	0.0443
265	4.4	67	0.0367	72.1	0.0418
270	4.5	66	0.0357	70	0.0397
275	4.6	65.1	0.0348	69.7	0.0394
280	4.7	64.4	0.0341	69.1	0.0388
285	4.8	64	0.0337	68.7	0.0384
290	4.8	63.8	0.0335	68	0.0377
295	4.9	63.6	0.0333	67.5	0.0372
300	5	63.5	0.0332	66.8	0.0365
305	5.1	63.2	0.0329	66.4	0.0361
310	5.2	63	0.0327	66.1	0.0358
315	5.3	62.8	0.0325	65.2	0.0349
320	5.3	62.1	0.0318	65.1	0.0348
325	5.4	61.4	0.0311	65.1	0.0348
330	5.5	61	0.0307	65.1	0.0348
335	5.6	60.4	0.0301	64.2	0.0339
340	5.7	59.8	0.0295	63.5	0.0332
345	5.8	58.9	0.0286	62.8	0.0325
350	5.8	58.6	0.0283	62	0.0317
355	5.9	58.6	0.0283	60.7	0.0304

Continuación de la Tabla N° 5.3:

360	6	58.6	0.0283	60.7	0.0304
365	6.1	58.6	0.0283	60.7	0.0304

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$$W_{\text{sangre seca promedio}} = L_s = 0.0293 \text{ Kg}$$

$$A_{\text{secado}} = 0.0105 \text{ m}^2$$

De donde se obtiene:

$$-\left(\frac{L_s}{A}\right) = -2.7905$$

Y haciendo el tratamiento de datos:

TABLA N° 5.4  
TRATAMIENTO DE DATOS A 55°C Y 5.63 M/S DE VELOCIDAD DE  
AIRE CALIENTE

PROMEDIO	X	X prom	$\Delta X/\Delta t$	N
W promedio				
0.1024	2.49			
0.1008	2.44	2.46	-0.6	1.7
0.0993	2.38	2.41	-0.8	2.1
0.0973	2.32	2.35	-0.7	1.8
0.0958	2.26	2.29	-0.8	2.1
0.0938	2.2	2.23	-0.7	2.1
0.0922	2.14	2.17	-0.7	1.8
0.0903	2.08	2.11	-0.8	2.1
0.0887	2.02	2.05	-0.8	2.1
0.087	1.96	1.99	-0.7	1.8
0.0851	1.9	1.93	-0.8	2.1
0.0839	1.86	1.88	-0.5	1.4
0.0826	1.81	1.83	-0.6	1.5
0.0811	1.76	1.78	-0.6	1.7
0.0799	1.72	1.74	-0.5	1.4
0.0789	1.69	1.7	-0.3	0.9
0.0771	1.63	1.66	-0.8	2.1
0.0762	1.6	1.61	-0.4	1
0.0751	1.56	1.58	-0.4	1.2
0.0738	1.51	1.53	-0.6	1.7
0.0731	1.49	1.5	-0.3	0.7

Continuación de la Tabla N° 5.4:

0.0719	1.45	1.47	-0.4	1.2
0.0712	1.43	1.44	-0.3	0.7
0.0705	1.4	1.41	-0.4	1
0.0696	1.37	1.38	-0.3	0.9
0.0686	1.34	1.35	-0.4	1
0.0679	1.31	1.32	-0.4	1
0.0674	1.3	1.3	-0.1	0.3
0.0667	1.27	1.28	-0.4	1
0.0657	1.24	1.25	-0.4	1
0.0645	1.2	1.22	-0.4	1.2
0.064	1.18	1.19	-0.3	0.7
0.0629	1.14	1.16	-0.5	1.4
0.0619	1.11	1.12	-0.3	0.9
0.0605	1.06	1.08	-0.6	1.7
0.059	1.01	1.03	-0.6	1.7
0.0581	0.98	0.99	-0.3	0.9
0.0569	0.94	0.96	-0.5	1.4
0.0559	0.9	0.92	-0.5	1.4
0.0551	0.88	0.89	-0.2	0.6
0.0541	0.84	0.86	-0.5	1.4
0.0533	0.81	0.82	-0.4	1
0.0521	0.77	0.79	-0.4	1.2
0.0511	0.74	0.75	-0.4	1
0.05	0.7	0.72	-0.5	1.4
0.0491	0.67	0.68	-0.3	0.9
0.047	0.6	0.63	-0.9	2.4
0.046	0.56	0.58	-0.5	1.4
0.0452	0.54	0.55	-0.2	0.6
0.0442	0.5	0.52	-0.5	1.4
0.0434	0.48	0.49	-0.3	0.7
0.042	0.43	0.45	-0.6	1.5
0.0411	0.4	0.41	-0.4	1
0.0392	0.33	0.36	-0.9	2.4
0.0377	0.28	0.3	-0.6	1.5
0.0371	0.26	0.27	-0.3	0.7
0.0364	0.24	0.25	-0.3	0.7
0.036	0.22	0.23	-0.2	0.6
0.0356	0.21	0.21	-0.1	0.3
0.0352	0.2	0.2	-0.1	0.3

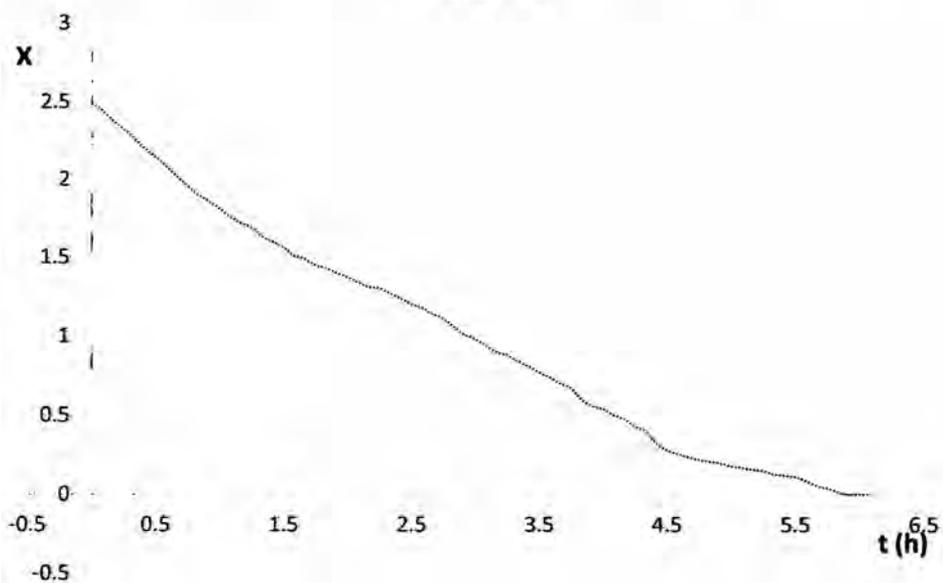
Continuación de la Tabla N° 5.4:

0.0348	0.18	0.19	-0.2	0.6
0.0345	0.17	0.17	-0.1	0.3
0.0342	0.16	0.16	-0.1	0.3
0.0337	0.15	0.15	-0.1	0.3
0.0333	0.13	0.14	-0.3	0.7
0.0329	0.12	0.12	-0.1	0.3
0.0327	0.11	0.11	-0.1	0.3
0.032	0.09	0.1	-0.3	0.7
0.0313	0.06	0.07	-0.4	1
0.0305	0.04	0.05	-0.2	0.6
0.03	0.02	0.03	-0.3	0.7
0.0293	0	0.01	-0.3	0.7
0.0293	0	0	0	0
0.0293	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

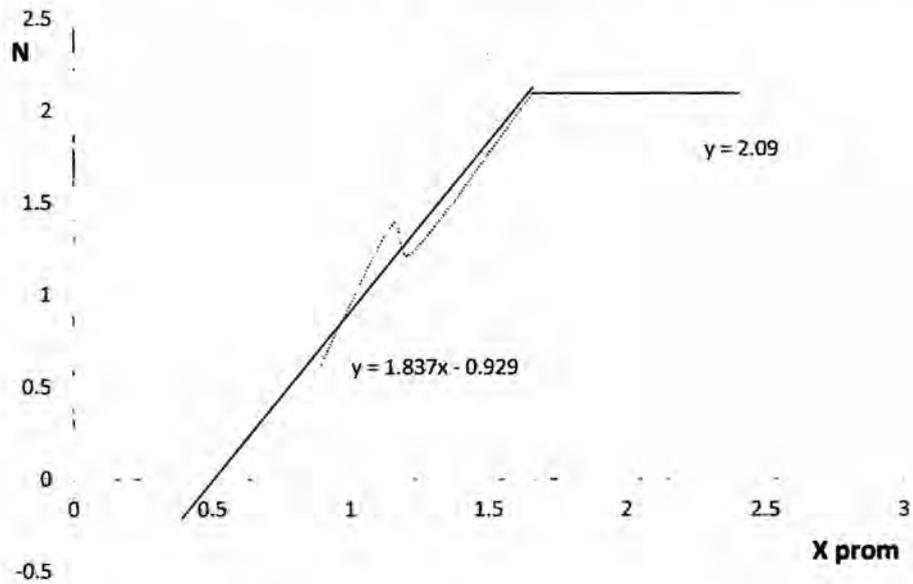
Obteniendo los siguientes gráficos:

GRÁFICO N° 5.3  
CURVA DE SECADO A 55°C Y 5.63 M/S DE VELOCIDAD DE AIRE CALIENTE



Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO N° 5.4**  
**CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 55°C Y 5.63 M/S DE**  
**VELOCIDAD DE AIRE CALIENTE**



Fuente: Elaboración propia

- Para T = 60°C y velocidad de aire = 3.42 m/s

**TABLA N° 5.5**  
**DATOS OBTENIDOS A 60°C Y 3.42 M/S DE VELOCIDAD DE AIRE**  
**CALIENTE**

TIEMPO		PRUEBA 1		PRUEBA 2	
t (min)	t (h)	W total (g)	W sangre (kg)	W total (g)	W sangre (kg)
0	0	140.4	0.1017	141.2	0.1025
5	0.1	138.5	0.0998	138.3	0.0996
10	0.2	136.2	0.0975	137	0.0983
15	0.3	133.5	0.0948	132.8	0.0941
20	0.3	133	0.0943	128.9	0.0902
25	0.4	128.1	0.0894	127.9	0.0892
30	0.5	126.8	0.0881	127	0.0883
35	0.6	124.2	0.0855	125.2	0.0865
40	0.7	121.5	0.0828	123	0.0843
45	0.8	119.8	0.0811	120.9	0.0822

Continuación de la Tabla N° 5.5:

50	0.8	118.7	0.08	120	0.0813
55	0.9	117.6	0.0789	118.3	0.0796
60	1	116.5	0.0778	117.4	0.0787
65	1.1	114	0.0753	115.1	0.0764
70	1.2	111.9	0.0732	112.3	0.0736
75	1.3	108	0.0693	110.1	0.0714
80	1.3	105.2	0.0665	108	0.0693
85	1.4	102.5	0.0638	105.3	0.0666
90	1.5	98.6	0.0599	102.6	0.0639
95	1.6	97.3	0.0586	99.2	0.0605
100	1.7	95.5	0.0568	96.8	0.0581
105	1.8	94.4	0.0557	95.2	0.0565
110	1.8	93	0.0543	94.3	0.0556
115	1.9	91.9	0.0532	93.4	0.0547
120	2	90.7	0.052	91.2	0.0525
125	2.1	89.5	0.0508	90.2	0.0515
130	2.2	88.3	0.0496	89.4	0.0507
135	2.3	87.3	0.0486	88.6	0.0499
140	2.3	86	0.0473	87	0.0483
145	2.4	85.2	0.0465	86.9	0.0482
150	2.5	84.1	0.0454	86.1	0.0474
155	2.6	83.9	0.0452	84.9	0.0462
160	2.7	82.5	0.0438	83.6	0.0449
165	2.8	81.5	0.0428	82.2	0.0435
170	2.8	81	0.0423	81.5	0.0428
175	2.9	80.1	0.0414	80.9	0.0422
180	3	78.9	0.0402	79.3	0.0406
185	3.1	77.3	0.0386	78.2	0.0395
190	3.2	76.1	0.0374	77.2	0.0385
195	3.3	74.5	0.0358	75.9	0.0372
200	3.3	73.1	0.0344	74.4	0.0357
205	3.4	72.1	0.0334	73.2	0.0345
210	3.5	72	0.0333	72.8	0.0341
215	3.6	69.2	0.0305	71.5	0.0328
220	3.7	68.4	0.0297	69.3	0.0306
225	3.8	67.7	0.029	68.2	0.0295
230	3.8	66.9	0.0282	67.9	0.0292
235	3.9	66.3	0.0276	67.6	0.0289
240	4	65.9	0.0272	67.3	0.0286

Continuación de la Tabla N° 5.5:

245	4.1	65.7	0.027	67.2	0.0285
250	4.2	65.7	0.027	67.2	0.0285
255	4.3	65.5	0.0268	67.2	0.0285
260	4.3	65.4	0.0267	67.1	0.0284
265	4.4	65.4	0.0267	67.1	0.0284
270	4.5	65.3	0.0266	67.1	0.0284
275	4.6	65.3	0.0266	67.1	0.0284
280	4.7	65.3	0.0266	67.1	0.0284
285	4.8	65.3	0.0266	67.1	0.0284

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$$W_{\text{sangre seca promedio}} = L_s = 0.0275 \text{ Kg}$$

$$A_{\text{secado}} = 0.0105 \text{ m}^2$$

De donde se obtiene:

$$-\left(\frac{L_s}{A}\right) = -2.61905$$

Y haciendo el tratamiento de datos:

TABLA N° 5.6  
TRATAMIENTO DE DATOS A 60°C Y 3.42 M/S DE VELOCIDAD DE  
AIRE CALIENTE

PROMEDIO	X	X prom	$\Delta X/\Delta t$	N
W promedio				
0.1021	2.71			
0.0997	2.62	2.66	-1.12	2.93
0.0979	2.56	2.59	-0.75	1.96
0.0944	2.43	2.49	-1.44	3.77
0.0922	2.35	2.39	-1	2.61
0.0893	2.24	2.29	-1.37	3.58
0.0882	2.2	2.22	-0.44	1.15
0.086	2.12	2.16	-1	2.61
0.0835	2.03	2.07	-1.12	2.93
0.0816	1.96	1.99	-0.77	2.01
0.0806	1.93	1.94	-0.37	0.96
0.0792	1.88	1.9	-0.62	1.62

Continuación de la Tabla N° 5.6:

0.0782	1.84	1.86	-0.44	1.15
0.0758	1.75	1.79	-1.12	2.93
0.0734	1.66	1.7	-1.12	2.93
0.0703	1.55	1.6	-1.22	3.19
0.0679	1.46	1.5	-1.12	2.93
0.0652	1.37	1.41	-1.12	2.93
0.0619	1.25	1.31	-1.33	3.48
0.0595	1.16	1.2	-1.12	2.93
0.0574	1.08	1.12	-1	2.61
0.0561	1.04	1.06	-0.44	1.15
0.0549	0.99	1.01	-0.62	1.62
0.0539	0.96	0.97	-0.37	0.96
0.0522	0.89	0.92	-0.77	2.01
0.0511	0.85	0.87	-0.5	1.3
0.0501	0.82	0.83	-0.37	0.96
0.0492	0.78	0.8	-0.44	1.15
0.0478	0.73	0.75	-0.62	1.62
0.0473	0.72	0.72	-0.12	0.31
0.0464	0.68	0.7	-0.44	1.15
0.0457	0.66	0.67	-0.25	0.65
0.0443	0.61	0.63	-0.62	1.62
0.0431	0.56	0.58	-0.55	1.44
0.0425	0.54	0.55	-0.25	0.65
0.0418	0.52	0.53	-0.25	0.65
0.0404	0.46	0.49	-0.66	1.72
0.039	0.41	0.43	-0.62	1.62
0.0379	0.37	0.39	-0.49	1.28
0.0365	0.32	0.34	-0.55	1.44
0.035	0.27	0.29	-0.62	1.62
0.0339	0.23	0.25	-0.5	1.3
0.0337	0.22	0.22	-0.11	0.28
0.0316	0.14	0.18	-0.99	2.59
0.0301	0.09	0.11	-0.62	1.62
0.0292	0.06	0.07	-0.33	0.86
0.0287	0.04	0.05	-0.25	0.65
0.0282	0.02	0.03	-0.25	0.65
0.0279	0.01	0.01	-0.11	0.28
0.0277	0	0	-0.12	0.31

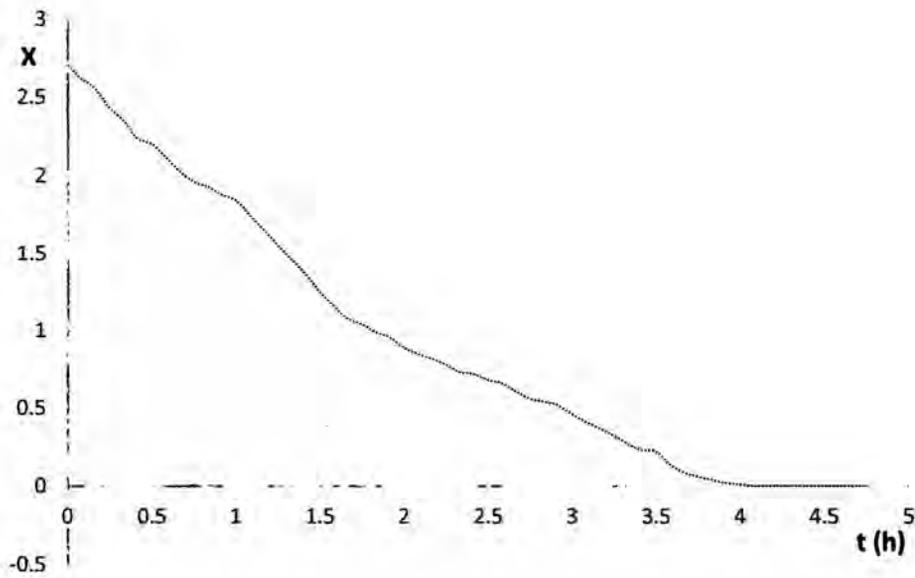
Continuación de la Tabla N° 5.6:

0.0277	0	0	0	0
0.0276	0	0	0	0
0.0275	0	0	0	0
0.0275	0	0	0	0
0.0275	0	0	0	0
0.0275	0	0	0	0
0.0275	0	0	0	0
0.0275	0	0	0	0

Fuente: *Elaboración propia*

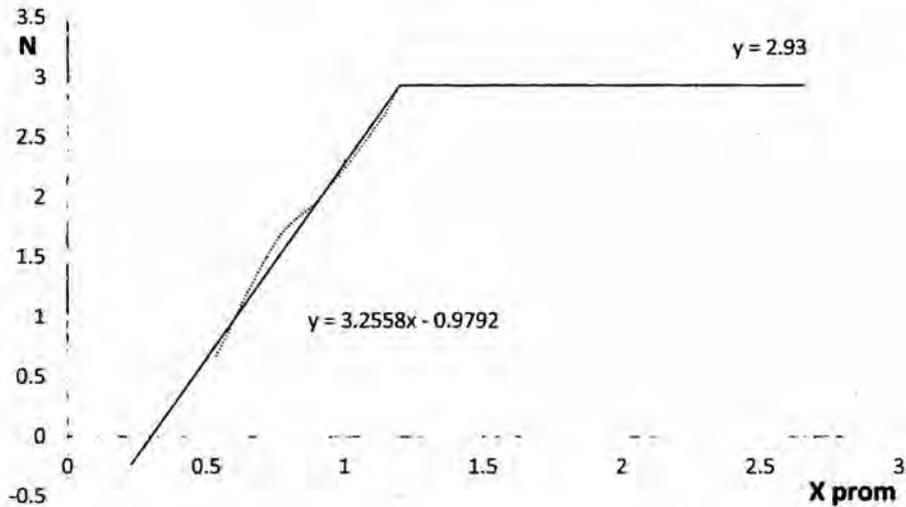
Obteniendo los siguientes gráficos:

GRÁFICO N° 5.5  
CURVA DE SECADO A 60°C Y 3.42 M/S DE VELOCIDAD DE AIRE CALIENTE



Fuente: *Elaboración propia*

**GRÁFICO N° 5.6**  
**CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C Y 3.42 M/S DE**  
**VELOCIDAD DE AIRE CALIENTE**



Fuente: *Elaboración propia*

- Para  $T = 60^{\circ}\text{C}$  y velocidad de aire = 5.63 m/s

**TABLA N° 5.7**  
**DATOS OBTENIDOS A 60°C Y 5.63 M/S DE VELOCIDAD DE AIRE**  
**CALIENTE**

TIEMPO		PRUEBA 1		PRUEBA 2	
t (min)	t (h)	W total (g)	W sangre (kg)	W total (g)	W sangre (kg)
0	0	135.8	0.1018	134.2	0.1002
5	0.1	133.1	0.0991	133	0.099
10	0.2	131	0.097	131.1	0.0971
15	0.3	128.4	0.0944	129.1	0.0951
20	0.3	126.6	0.0926	127.3	0.0933
25	0.4	124.4	0.0904	126.1	0.0921
30	0.5	122.2	0.0882	124.5	0.0905
35	0.6	120.2	0.0862	122.1	0.0881
40	0.7	118.2	0.0842	120.3	0.0863
45	0.8	116.1	0.0821	117.6	0.0836
50	0.8	114.3	0.0803	116.8	0.0828
55	0.9	112.7	0.0787	114.5	0.0805
60	1	110.7	0.0767	112.6	0.0786

Continuación de la Tabla N° 5.7:

65	1.1	109.5	0.0755	111.3	0.0773
70	1.2	107.8	0.0738	110.1	0.0761
75	1.3	106.4	0.0724	109.4	0.0754
80	1.3	105.2	0.0712	107.3	0.0733
85	1.4	103.9	0.0699	105.2	0.0712
90	1.5	102.7	0.0687	104.1	0.0701
95	1.6	101.9	0.0679	102.8	0.0688
100	1.7	100.9	0.0669	101.1	0.0671
105	1.8	99.8	0.0658	100.5	0.0665
110	1.8	98.8	0.0648	99.6	0.0656
115	1.9	98	0.064	99.1	0.0651
120	2	97.3	0.0633	98.5	0.0645
125	2.1	96.3	0.0623	97.9	0.0639
130	2.2	95.2	0.0612	96.6	0.0626
135	2.3	94.1	0.0601	95.6	0.0616
140	2.3	92.7	0.0587	93.9	0.0599
145	2.4	91.2	0.0572	93.2	0.0592
150	2.5	90.7	0.0567	91.7	0.0577
155	2.6	89.6	0.0556	91	0.057
160	2.7	88.4	0.0544	90.2	0.0562
165	2.8	87.4	0.0534	89.2	0.0552
170	2.8	85.3	0.0513	88.1	0.0541
175	2.9	84	0.05	85.1	0.0511
180	3	81	0.047	83.4	0.0494
185	3.1	78.9	0.0449	81.2	0.0472
190	3.2	77.5	0.0435	79.5	0.0455
195	3.3	76.1	0.0421	78.2	0.0442
200	3.3	74.8	0.0408	76.9	0.0429
205	3.4	72.9	0.0389	74.8	0.0408
210	3.5	71.8	0.0378	73.2	0.0392
215	3.6	70.6	0.0366	72.1	0.0381
220	3.7	69.1	0.0351	70	0.036
225	3.8	67.5	0.0335	69.5	0.0355
230	3.8	66.9	0.0329	68.9	0.0349
235	3.9	66.3	0.0323	68.1	0.0341
240	4	65.2	0.0312	67.4	0.0334
245	4.1	63.5	0.0295	67.1	0.0331
250	4.2	61.8	0.0278	66.2	0.0322
255	4.3	61.5	0.0275	65.8	0.0318

Continuación de la Tabla N° 5.7:

260	4.3	61.1	0.0271	65.8	0.0318
265	4.4	61.1	0.0271	65.8	0.0318
270	4.5	61.1	0.0271	65.8	0.0318

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$$W_{\text{sangre seca promedio}} = L_s = 0.0294 \text{ Kg}$$

$$A_{\text{secado}} = 0.0105 \text{ m}^2$$

De donde se obtiene:

$$-\left(\frac{L_s}{A}\right) = -2.8000$$

Y haciendo el tratamiento de datos:

TABLA N° 5.8  
TRATAMIENTO DE DATOS A 60°C Y 5.63 M/S DE VELOCIDAD DE  
AIRE CALIENTE

PROMEDIO	X	X prom	$\Delta X/\Delta t$	N
W promedio				
0.101	2.43			
0.099	2.36	2.39	-0.9	2.4
0.097	2.29	2.32	-0.9	2.4
0.0947	2.22	2.25	-0.8	2.2
0.0929	2.15	2.18	-0.9	2.4
0.0912	2.1	2.12	-0.6	1.7
0.0893	2.03	2.06	-0.8	2.2
0.0871	1.96	1.99	-0.9	2.4
0.0852	1.89	1.92	-0.9	2.4
0.0828	1.81	1.85	-0.9	2.5
0.0815	1.77	1.79	-0.5	1.4
0.0796	1.7	1.73	-0.9	2.4
0.0776	1.63	1.66	-0.8	2.2
0.0764	1.59	1.61	-0.5	1.4
0.0749	1.54	1.56	-0.6	1.7
0.0739	1.51	1.52	-0.3	0.9
0.0722	1.45	1.48	-0.8	2.1
0.0705	1.39	1.42	-0.8	2.1
0.0694	1.36	1.37	-0.3	0.9
0.0683	1.32	1.34	-0.5	1.4

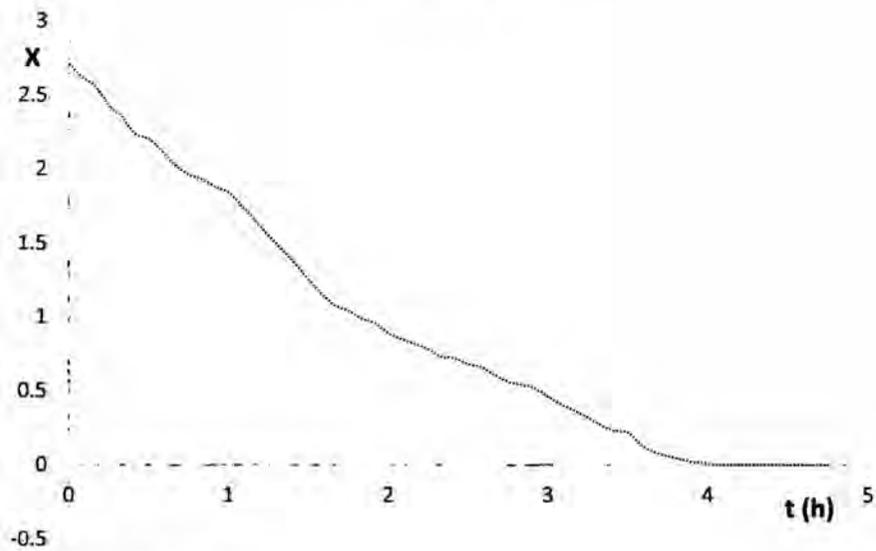
Continuación de la Tabla N° 5.8:

0.067	1.27	1.29	-0.6	1.7
0.0661	1.24	1.25	-0.3	0.9
0.0652	1.21	1.22	-0.4	1
0.0645	1.19	1.2	-0.3	0.7
0.0639	1.17	1.18	-0.2	0.6
0.0631	1.14	1.15	-0.4	1
0.0619	1.1	1.12	-0.5	1.4
0.0608	1.06	1.08	-0.4	1.2
0.0593	1.01	1.03	-0.6	1.7
0.0582	0.97	0.99	-0.5	1.4
0.0572	0.94	0.95	-0.3	0.9
0.0563	0.91	0.92	-0.4	1
0.0553	0.88	0.89	-0.4	1
0.0543	0.84	0.86	-0.4	1.2
0.0527	0.79	0.81	-0.6	1.7
0.0505	0.71	0.75	-1	2.8
0.0482	0.63	0.67	-0.9	2.5
0.046	0.56	0.59	-0.9	2.4
0.0445	0.51	0.53	-0.6	1.7
0.0431	0.46	0.48	-0.6	1.5
0.0418	0.42	0.44	-0.5	1.4
0.0398	0.35	0.38	-0.9	2.4
0.0385	0.3	0.32	-0.6	1.5
0.0373	0.26	0.28	-0.5	1.4
0.0355	0.2	0.23	-0.7	2.1
0.0345	0.17	0.18	-0.3	0.9
0.0339	0.15	0.16	-0.3	0.7
0.0332	0.12	0.13	-0.4	1
0.0323	0.09	0.1	-0.3	0.9
0.0313	0.06	0.07	-0.4	1
0.03	0.02	0.04	-0.5	1.4
0.0296	0	0.01	-0.2	0.6
0.0294	0	0	0	0
0.0294	0	0	0	0
0.0294	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

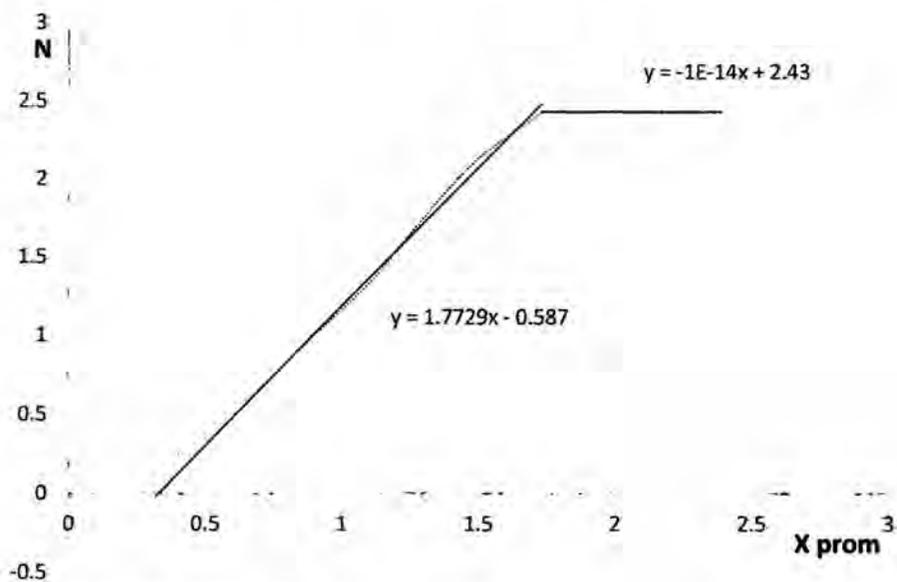
Obteniendo los siguientes gráficos:

**GRÁFICO N° 5.7**  
**CURVA DE SECADO A 60°C Y 5.63 M/S DE VELOCIDAD DE AIRE CALIENTE**



Fuente: Elaboración propia

**GRÁFICO N° 5.8**  
**CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C Y 5.63 M/S DE VELOCIDAD DE AIRE CALIENTE**



Fuente: Elaboración propia

De donde se determina que la mayor velocidad de aire afecta directamente en la velocidad de secado, disminuyéndolo considerablemente con respecto a la menor velocidad utilizada para el trabajo.

Por lo tanto se trabajará el diseño a una velocidad de aire de 5.63 m/s. Sin embargo, aún no se puede tomar una decisión respecto a la temperatura de trabajo, ya que no se sabe cómo es afectado el producto por la misma, para ello, en el punto 5.2 se muestra el criterio para la elección de la temperatura de diseño mediante un análisis químico de las muestras obtenidas en el secado.

## **5.2. Análisis químico de la sangre de pollo para verificar la temperatura de operación adecuada.**

### **➤ Análisis de proteínas**

Como se mencionó en el punto anterior, la temperatura de trabajo se determinó mediante ensayos químicos de la muestra obtenida por espectrofotometría para verificar cómo se afecta la estructura inicial de las proteínas con la temperatura. A mayor cantidad de proteínas y de hierro el producto es de más utilidad.

Luego de hacer el análisis espectrofotométrico a 595 nm, se obtuvo la siguiente lectura de absorbancias por triplicado:

**TABLA N° 5.9**  
**RESULTADOS DE LAS ABSORBANCIAS EN LOS PATRONES DE**  
**ALBÚMINA CON REACTIVO DE BRADFORD PARA CUANTIFICAR**  
**PROTEÍNAS.**

Leer	Ábs	nm				
Cero	(0.1568)	595.0				
<b>Calibración</b>						
Tiempo Colección		21/04/2016 03:36:30 p.m.				
Patrón	Concentración mg/mL	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Patrón2	0.2		0.2863	0.0032	1.13	0.2894
						0.2864
						0.2830
Patrón3	0.4		0.5156	0.0031	0.60	0.5178
						0.5168
						0.5121
Patrón4	0.6		0.5776	0.0052	0.89	0.5722
						0.5781
						0.5825
Patrón5	0.8		0.6915	0.0028	0.40	0.6884
						0.6922
						0.6938
Patrón6	1.0		0.7987	0.0046	0.58	0.7936
						0.7998
						0.8026

*Fuente: Elaboración propia*

Del mismo modo se trabajó para encontrar las absorbancias de las muestras:

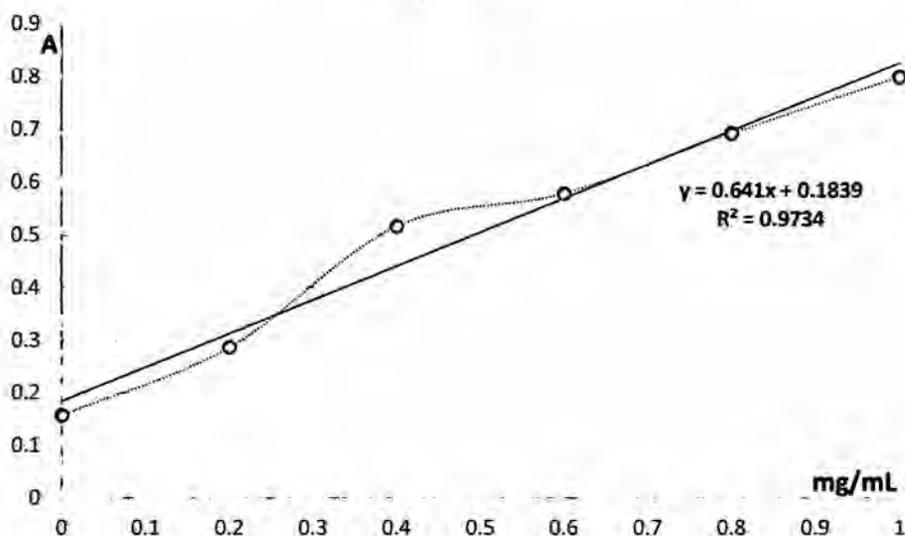
**TABLA N° 5.10**  
**RESULTADOS DE LAS ABSORBANCIAS EN LAS MUESTRAS DE**  
**HARINA DE SANGRE CON REACTIVO DE BRADFORD PARA**  
**CUANTIFICAR PROTEÍNAS.**

<b>Análisis</b>						
Tiempo Colección		21/04/2016 03:51:25 p.m.				
Muestra	Concentración mg/mL	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Muestra1			0.3377	0.0002	0.05	0.3375
						0.3379
						0.3377
Muestra2			0.3880	0.0001	0.02	0.3880
						0.3879
						0.3880

*Fuente: Elaboración propia*

Haciendo la curva de calibración para los datos de la tabla N° 5.9:

GRÁFICO N° 5.9  
CURVA DE CALIBRACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE  
PROTEÍNAS



Fuente: Elaboración propia

Obteniéndose la ecuación de calibración:

$$A = 0.641 * C + 0.1839$$

De la ecuación anterior se calcularon las concentraciones para ambas muestras:

$$C_{\text{muestra } (55^{\circ}\text{C})} = 0.3184 \text{ mg/mL}$$

$$C_{\text{muestra } (60^{\circ}\text{C})} = 0.2399 \text{ mg/mL}$$

Haciendo los cálculos de acuerdo al procedimiento mostrado en el capítulo 4, se obtiene la siguiente cantidad de proteínas en 100g de harina de sangre:

$$W_{\text{proteínas } (55^{\circ}\text{C})} = 15.9200 \text{ g}$$

$$W_{\text{proteínas } (60^{\circ}\text{C})} = 11.9950 \text{ g}$$

➤ **Análisis de hierro (II)**

Luego de hacer el análisis espectrofotométrico a 510 nm, se obtuvo la siguiente lectura de absorbancias por triplicado:

**TABLA N° 5.11**  
**RESULTADOS DE LAS ABSORBANCIAS EN LOS PATRONES DE SAL DE MOHR CON 1,10 FENANTROLINA PARA CUANTIFICAR HIERRO (II)**

Calibración		29/04/2016 02:36:26 p.m.				
Patrón	Concentración mg/L	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Patrón1	0.0		0.1291	0.0001	0.07	0.1290
						0.1291
						0.1292
Patrón2	2.0		0.6217	0.0004	0.06	0.6213
						0.6220
						0.6217
Patrón3	4.0		1.1350	0.0002	0.02	1.1352
						1.1347
						1.1350
Patrón4	6.0		1.3739	0.0013	0.10	1.3746
						1.3748
						1.3723
Patrón5	8.0		1.4071	0.0023	0.16	1.4051
						1.4067
						1.4096

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo se trabajó para encontrar las absorbancias de las muestras:

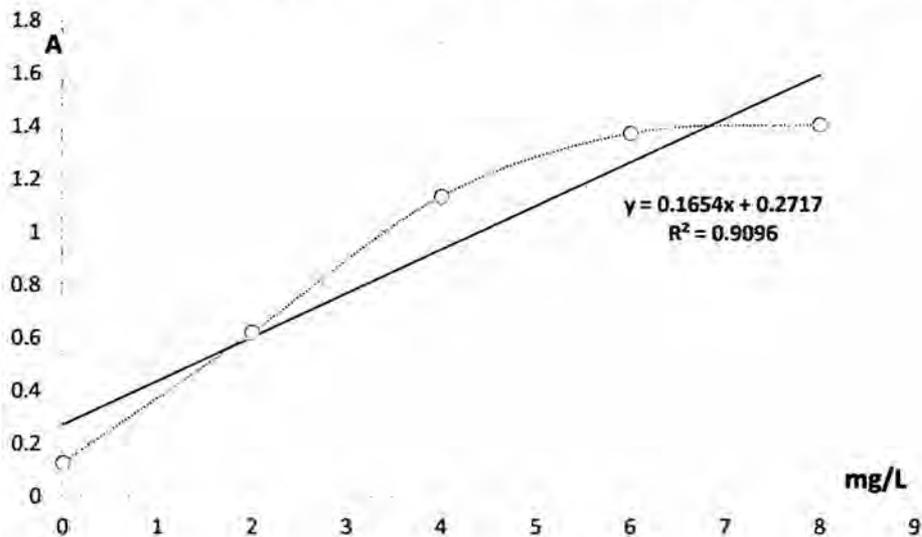
**TABLA N° 5.12**  
**RESULTADOS DE LAS ABSORBANCIAS EN LAS MUESTRAS DE HARINA DE SANGRE CON 1,10 FENANTROLINA PARA CUANTIFICAR HIERRO (II).**

Tiempo Colección		28/04/2016 02:56:35 p.m.				
Muestra	Concentración mg/ml	F	Media	SD	%RSD	Lecturas
Muestra1			0.3024	0.0003	0.02	0.3021
						0.3027
						0.3026
Muestra2			0.2983	0.0001	0.03	0.2989
						0.2974
						0.2966

Fuente: Elaboración propia

Haciendo la curva de calibración para los datos de la tabla N° 5.11:

GRÁFICO N° 5.10  
CURVA DE CALIBRACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE HIERRO (II)



Fuente: Elaboración propia

Obteniéndose la ecuación de calibración:

$$A = 0.1654 * C + 0.2717$$

De la ecuación anterior se calcularon las concentraciones para ambas muestras:

$$C_{muestra (55^{\circ}C)} = 0.1856 \text{ mg/L}$$

$$C_{muestra (60^{\circ}C)} = 0.1608 \text{ mg/L}$$

Haciendo los cálculos de acuerdo al procedimiento mostrado en el capítulo 4, se obtiene la siguiente cantidad de proteínas en 100g de harina de sangre:

$$W_{hierro (II) (55^{\circ}C)} = 23.2000 \text{ mg}$$

$$W_{hierro (II) (60^{\circ}C)} = 20.1000 \text{ mg}$$

De éste modo, se verifica que cuando la temperatura de trabajo es menor, hay una menor desnaturalización de proteínas, entonces se adoptará la temperatura de 55°C como temperatura de diseño.

### **5.3. Determinación del tipo de secador**

De acuerdo a la tabla N° 2.4, extraída del Handbook of Industrial Drying, el secador que más se ajusta al estado de agregación de la materia prima (sólidos formados), es el secador de bandejas.

El secador de faja transportadora también es una opción, pero en el caso de la presente tesis, se propone un diseño a escala banco y dicho secador trabajaría en flujo continuo para cantidades superiores, por lo que no resulta factible su diseño.

En los puntos 5.1 y 5.2 se determinaron los parámetros de operación adecuados ( $T = 55^\circ\text{K}$ , velocidad de aire = 5.63 m/s), por lo que en el punto siguiente se procederá a realizar el respectivo diseño usando dichos valores.

### **5.4. Cálculos de diseño del secador**

- **Calor aportado al aire y cálculo de las resistencias**
- **Presión de trabajo:**

Se tiene la siguiente ecuación [8]:

$$P_{atm} = 101325 \left( \frac{288 - 0.0665 * Z}{288} \right)^{5.256}$$

Ya que el sitio de operación (Callao) se encontraría a nivel del mar, el valor de Z es cero, entonces la presión no se ve afectada en este punto:

$$P_{atm} = 101325 \text{ Pa}$$

En concordancia con lo experimentado, la caída de presión entre la entrada y la salida no es muy diferenciada, por lo que se podrá utilizar un ventilador de baja – media presión.

- **Densidad del aire:**

Usando la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{P_{atm}}{R \cdot T_A}$$

Para usar el valor de  $T_A$ , se recurrió al valor promedio de temperatura en el Callao:

$$T: 18.75 \text{ }^\circ\text{C} - 19.75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{prom} = 19.25 \text{ }^\circ\text{C} = 292.4 \text{ K}$$

Estos datos fueron corroborados por las mediciones hechas con el Data Logger, que midió temperaturas alrededor de 19°C los días que se realizaron las corridas experimentales. También se midió la humedad relativa a la entrada y salida del secador, dando valores con una variación de 2%.

Entonces, en la ecuación para la densidad:

$$\rho = \frac{101.325}{(0.2870) * (292.4)}$$

$$\rho = 1.2074 \text{ Kg/m}^3$$

- **Sistema de calefacción:**

Para calcular el calor que se debe transferir al aire (Potencia de la resistencia):

$$Q = m_{\text{flujo}} * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$Q = (A * \text{velocidad de aire} * \rho) * Cp * (T_2 - T_1)$$

Para el dato de A, se utilizó una medida estándar para el diámetro de conducción de aire, equivalente a 30 cm o 0.3 m, entonces:

$$Q = \left( \frac{\pi * (0.3 \text{ m})^2}{4} * 5.63 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.2074 \text{ Kg/m}^3 \right) * (1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} * (55 - 19)^\circ\text{K})$$

$$Q = 17.26 \text{ kW}$$

- **Resistencia del conductor:**

Calculando la resistencia:

$$R = \frac{V^2}{Q}$$

$$R = \frac{(220 \text{ V})^2}{17260 \text{ W}} = 2.8042 \Omega$$

- **Longitud del conductor:**

Para hallar la longitud, se determinó primero el material para la resistencia térmica y se tomó el nicromo en alambre para el cálculo, teniéndose los siguientes detalles técnicos:

Calibre: 8 AWG

Sección transversal:  $10 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

Resistividad térmica (20°C):  $100 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \Omega$

Variación de la resistividad por grado Celsius:  $0.0004 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Entonces, haciendo el cálculo de la resistividad a 55°C:

$$R = R_0(1 + \alpha_t)$$

$$\text{Resistividad} = 100 * 10^{-8}(1 + 0.0004 * (55 - 19.25)^\circ\text{C})$$

De donde:

$$\text{Resistividad} = 1.005 * 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$$

Finalmente:

$$L = \frac{R * A}{\text{Resistividad}}$$

$$L = \frac{2.8042 \Omega * (1 \times 10^{-5} \text{ m}^2)}{1.005 * 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}}$$

$$L = 27.90 \text{ m}$$

Los 27.90 m de alambre de nicromo deberán ir enrollados dentro del tubo que conectará la salida del ventilador centrífugo y la entrada de la cámara de secado. En vista que el conducto tendrá un diámetro de 0.3 m, se dará un espacio libre entre la resistencia y la pared del tubo de 0.05 m, por lo tanto el diámetro de cada espiral será de 0.25 m, en consecuencia:

Longitud de alambre por cada espiral:

$$L = 2\pi r$$

$$L = 2\pi * (0.125 \text{ m}) = 0.8 \frac{\text{m}}{\text{vuelta}}$$

Para el número de vueltas:

$$N = \frac{1 \text{ vuelta}}{0.8 \text{ m}} * 27.9 \text{ m} = 22.23 \text{ vueltas} \sim 23 \text{ vueltas}$$

Dando un espaciamiento entre espiral y espiral de 2 cm o 0.02 m:

$$\text{Longitud del conducto} = 23 * 0.02 \text{ m} \sim 0.5 \text{ m}$$

- **Dimensionamiento de la cámara de secado**

De acuerdo a lo experimentado, se tomaron los datos de trabajo a  $T = 55^\circ\text{C}$  y velocidad de aire = 5.63 m/s y para esos datos, el tiempo de secado es de 6.1 h, teniéndose  $A = 0.00105 \text{ m}^2$  y  $L_s = 0.0293 \text{ Kg}$ , de donde:

$$-\left(\frac{L_s}{A}\right) = -2.7905 \text{ Kg/m}^3$$

Haciendo una aproximación, para obtener aproximadamente 30 kg/día de harina de sangre y sabiendo que de 0.1323 kg de sangre fresca (Peso

inicial de sangre en dicha corrida experimental) nos producen 0.0293 kg de harina de sangre, por una regla de tres simple, se tratarán 135.46 kg.

En vista de los resultados anteriores y para no hacer el diseño de un equipo de dimensiones grandes, se trabajará en dos turnos y tratando por turno aproximadamente 67.73 kg de sangre fresca, de donde se obtendrá un valor cercano a los 15 kg de sangre seca.

A partir del dato de la densidad de carga y para hacer un diseño a escala banco sin desviarnos del diseño experimental, se plantea:

$$-\left(\frac{L_s}{A}\right) = -2.7905 \frac{Kg}{m^3} = -\frac{15 Kg}{A}$$

$$A = 5.3753 m^2$$

En la ecuación anterior se utilizan 15 kg de sangre seca, que es la que se espera obtener, y se obtiene un área de secado, que servirá en los cálculos siguientes:

- **Área de superficie por kg de materia seca:**

$$A_{ms} = A_s * \frac{(1 + X)}{W_{ss}}$$

$$A_{ms} = 5.3753 m^2 * \frac{(1 + 0.01)}{15 Kg} = 0.3619 m^2 / Kg$$

- **Área de la superficie de secado:**

$$A_{sec} = A_{MS} * \frac{Cd}{Fc}$$

$$A_{sec} = 0.3619 \frac{m^2}{Kg} * \frac{67.73 Kg}{2} = 12.2557 m^2$$

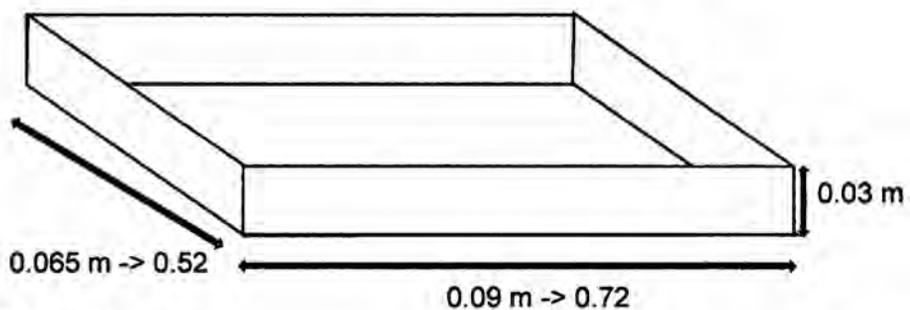
- **Número de bandejas:**

Se tiene la expresión:

$$N_{bandejas} = \frac{A_{sec}}{A_{bandeja}}$$

En la ecuación anterior se ve la necesidad de tener el área de la bandeja, entonces se procede a hacer el escalamiento utilizando un factor adecuado (se usó un valor de 8 por cada eje) en la celda utilizada como bandeja en los experimentos (Figura N°5.1):

FIGURA N° 5.1  
ESCALAMIENTO DE LA BANDEJA DE SECADO



Fuente: Elaboración propia

Entonces, teniendo los datos de la superficie:

$$N_{bandejas} = \frac{12.2557 m^2}{0.72m * 0.52m} = 32.73 bandejas$$

Resulta conveniente hacer el modelo del secador en dos columnas de bandejas, por lo que el redondeo a 33 bandejas no resulta muy conveniente, por lo que finalmente:

$$N_{bandejas} \sim 34 \text{ bandejas}$$

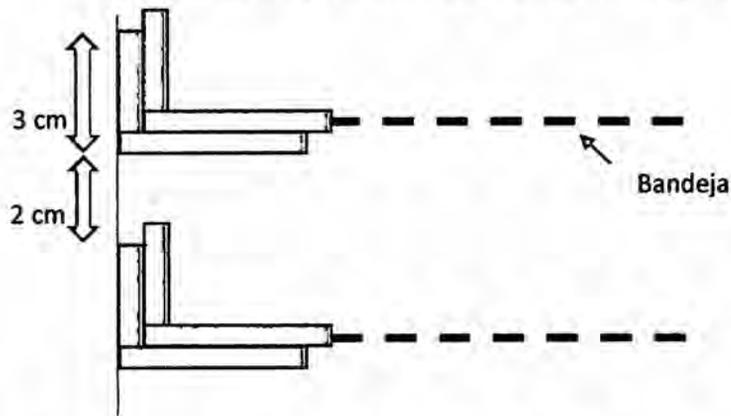
Se tendrán dos columnas de 17 bandejas cada una, confeccionadas en acero inoxidable 316 tanto en el compartimiento interior como exterior. Siguiendo el diseño de la bandeja experimental, las bandejas serán confeccionadas con ángulos de 1/8" (3 mm) y mallas, saliendo del modelo convencional, esto para mejorar el área de contacto.

Las mallas mencionadas tendrán las siguientes características:

- N° mesh (malla): 20
- Tejido: liso
- Abertura: 0.870 mm
- Diámetro de alambre: 0.4 mm

Las bandejas estarán colocadas sobre soportes también contruidos con ángulos de acero inoxidable de 1/8" (que estarán soldados a una estructura de la base interna:

FIGURA N° 5.2  
COLOCACIÓN INTERNA DE LAS BANDEJAS



Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 5.2 se muestra un esquema general de como irán sobrepuestas las bandejas (en el punto 5.5 se presenta el modelo 3D, el cual facilita tanto la visualización interna como externa del diseño), y dichas bandejas irán soldadas en una estructura de perfil cuadrado de 1/20" también de acero inoxidable, esto para no sobrecargar de soldadura la plancha de la carcasa interna.

Los espesores de las planchas que conformaran la carcasa del equipo serán:

Interna: 4.5 mm o 3/16"

Externa: 3.0 mm o 1/8 "

En medio de la carcasa interna y externa se encontrará un aislante de fibra de vidrio para evitar la pérdida de calor, teniendo un espesor de 5 cm, este valor fue tomado de las tablas de espesores de planchas de lana de fibra

de vidrio mostradas en los anexos, como un valor intermedio para hacer el cálculo.

Entre la entrada de la cámara de secado, para que el aire tenga una correcta difusión y no solo tenga contacto con las bandejas intermedias, se dejará un espacio entre ambas, que es aproximadamente de 40 cm.

En consecuencia, las dimensiones de la caja se verán afectadas por los espesores de las planchas de acero de la carcasa, de la capa interna del aislante de fibra de vidrio y del espacio libre para la difusión del aire, por lo que, luego de hacer la suma de longitudes extra en cada dimensión, se llegan a los siguientes valores:

Alto: 1.06 m

Largo: 1.60m

Ancho: 0.86 m

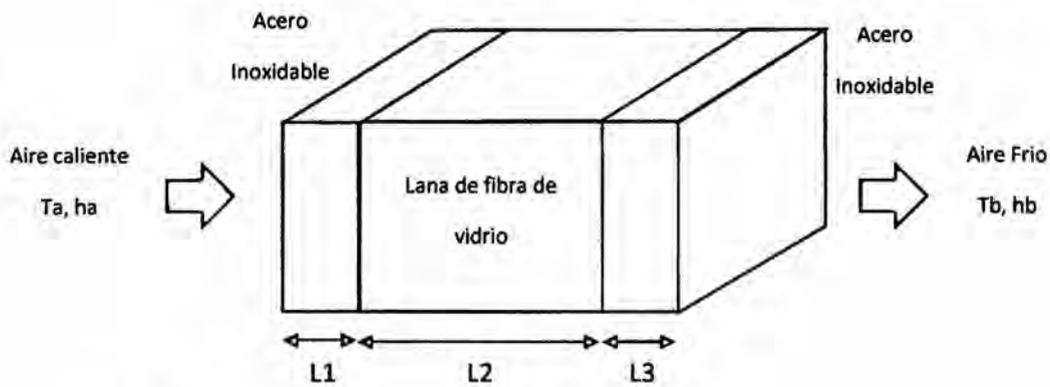
- **Determinación de las pérdidas de calor**

Las pérdidas de calor vienen determinadas por la ecuación:

$$q = U \cdot A \cdot (T_A - T_B)$$

Para el juego de resistencias siguiente (Figura N° 5.3):

FIGURA N° 5.3  
 JUEGO DE RESISTENCIAS EN LA PARED DEL SECADOR



Fuente: Elaboración propia

De donde:

$$U = \left( \frac{1}{h_a} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{1}{h_b} \right)^{-1}$$

De tablas de conductividad térmica (Ver anexos):

$$k_{1 \text{ promedio}} = 28.5 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

$$k_{2 \text{ promedio}} = 0.05 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

$$k_{3 \text{ promedio}} = 28.5 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

Para las longitudes:

$$L_1 = 0.0045 \text{ m}$$

$$L_2 = 0.05 \text{ m}$$

$$L_3 = 0.0045 \text{ m}$$

Ahora bien, falta conocer los valores de  $h_a$  y  $h_b$ , que son valores de convección forzada y natural, respectivamente.

Para encontrar el valor de  $h_a$ :

$$h_a = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

Para hallar el valor del número de Nusselt, es necesario encontrar antes el número de Reynolds, entonces:

$$Re = \frac{\text{velocidad de aire} \cdot D}{\text{viscosidad dinámica a } 55^\circ\text{C}}$$

$$Re = \frac{5.63 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0.3 \text{ m}}{1.84 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = 91793.47$$

Ahora calculando el número de Prandtl:

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu_{\text{Aire}}^{55^\circ\text{C}}}{k}$$

$$Pr = \frac{1005 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}} \cdot (1.97 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s})}{0.025 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}}} = 0.7919$$

Ahora para el número de Nusselt:

$$Nu = 0.664 \cdot Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.664 \cdot 91793.47^{\frac{1}{2}} \cdot 0.7919^{\frac{1}{3}} = 186.21$$

Finalmente:

$$h_a = \frac{186.21 * 0.025 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0.0045 m}$$

$$h_a = 1034.0055 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Para la convección natural, hallando primero el número de Grashof:

$$Gr = \frac{g \cdot B \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{(\text{viscosidad cinemática a } 19^\circ)^2}$$

Donde el aporte de la longitud equivalente será:

$$L = \text{Paredes verticales} + \text{Paredes horizontales}$$

$$L = 4 * H + 2 * \left( \frac{A_p}{P_e} \right)$$

$$L = 4 * 1.06 m + 2 * \left( \frac{1.376 m^2}{4.92 m} \right) = 4.7993 m$$

Entonces:

$$Gr = \frac{(9.81 \frac{m}{s^2}) \left( \frac{1}{292.4^\circ K} \right) \cdot (298.15 - 292.4^\circ K) \cdot (4.7993)^3}{(1.51 * 10^{-5} \frac{m^2}{s})^2} = 9.35 * 10^{10}$$

Ahora calculando el número de Rayleigh:

$$Ra = Gr * Pr$$

$$Ra = Gr * \left( \frac{Cp * \mu_{19^{\circ}C}^{Alre}}{k} \right)$$

$$Ra = 9.35 * 10^{10} * \left( \frac{1005 \frac{J}{Kg * ^{\circ}K} * 1.81 * 10^{-5} Pa.s}{0.025 \frac{W}{m.^{\circ}k}} \right)$$

$$Ra = 6.8x10^{10}$$

Para el número de Rayleigh hallado, se usará la expresión:

$$Nu = \left[ 0.825 + \frac{0.387 * Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu = \left[ 0.825 + \frac{0.387 * (6.8x10^{10})^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{0.7276} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 = 466.0995$$

Finalmente:

$$h_b = \frac{466.0995 * 0.025 \frac{W}{m.^{\circ}K}}{0.0045 m} = 2589.4417 \frac{W}{m^2.^{\circ}K}$$

Entonces, para el coeficiente global:

$$U = \left( \frac{1}{1034.0055} + \frac{0.0045}{28.5000} + \frac{0.0500}{0.0500} + \frac{0.003}{28.5000} + \frac{1}{2589.4417} \right)^{-1}$$

$$U = 0.9969 \frac{W}{m^2.^{\circ}K}$$

Finalmente:

$$q = U * (\text{Área total de la carcasa}) * (T_A - T_B)$$

$$q = \left( 0.9969 \frac{W}{m^2.^{\circ}K} \right) * (7.9672 m^2) * (55 - 19.25)^{\circ}K$$

$$q = 283.9444 \text{ W}$$

El valor obtenido por pérdidas en comparación con el valor de la potencia suministrada al alambre conductor es bastante pequeño, por lo que se puede asumir que las pérdidas son despreciables y se demuestra que el espesor del aislante funciona bastante bien en la retención de calor.

- **Dimensionamiento de la chimenea:**

El diámetro de la chimenea se tomará igual al diámetro de la entrada de aire, por lo tanto:

$$d_{chimenea} = 0.3 \text{ m}$$

La altura tendrá un valor aproximado de 45 cm o 0.45 m, en consenso con lo teórico y con la relación al tamaño total del equipo. Además deberá tener una protección en la parte superior, en forma de cono, para evitar el ingreso de materiales indeseados al secador.

Es posible colocar a la salida de la chimenea unos dampers, esto para poder variar la salida del aire caliente. También será necesario colocar una termocupla conectada a un sistema digital de registro de temperatura, para verificarla en todo momento del proceso y poder tomar decisiones en el trabajo por si se presentan problemas.

- **Determinación del ventilador a usar:**

Se determinó lo siguiente:

El ventilador será centrífugo, por lo tanto, de acuerdo a los catálogos revisados (ver anexo), tendrá las siguientes especificaciones técnicas:

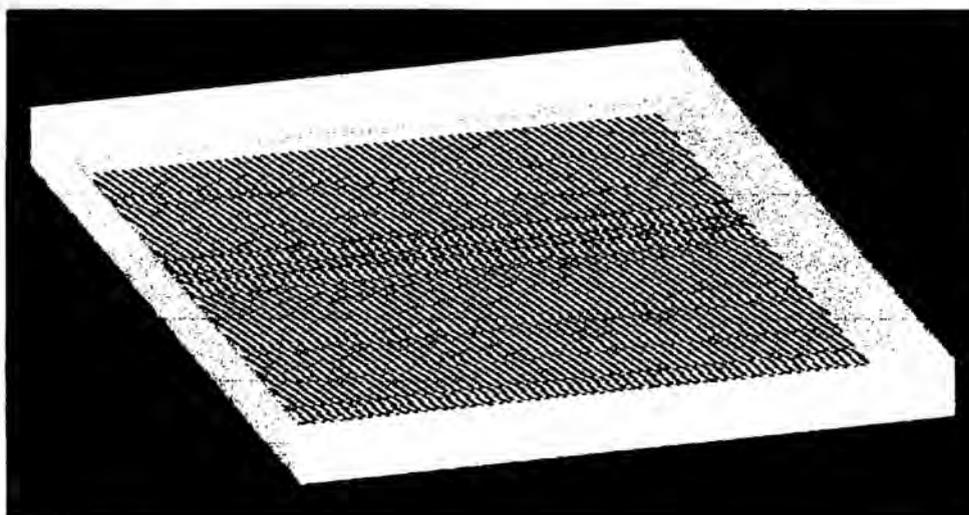
- Marca: SODECA
- Modelo: CMR – 1031 – X – 0.75
- Potencia instalada: 0.55 kW
- Caudal máximo:  $3650 \frac{m^3}{h}$
- Peso aproximado: 48 kg
- Velocidad angular: 2050 rpm

Se eligió el ventilador mencionado debido a que se necesita trabajar un caudal de aire de aproximadamente  $1432.66 \frac{m^3}{h}$  y es un valor que se aproxima. Por supuesto que existen fabricantes nacionales de este tipo de equipo con variador de velocidad de aire y si es posible encontrar uno con características similares a las requeridas, es posible su aplicación.

### **5.5. Modelamiento del secador en AutoCAD 3D**

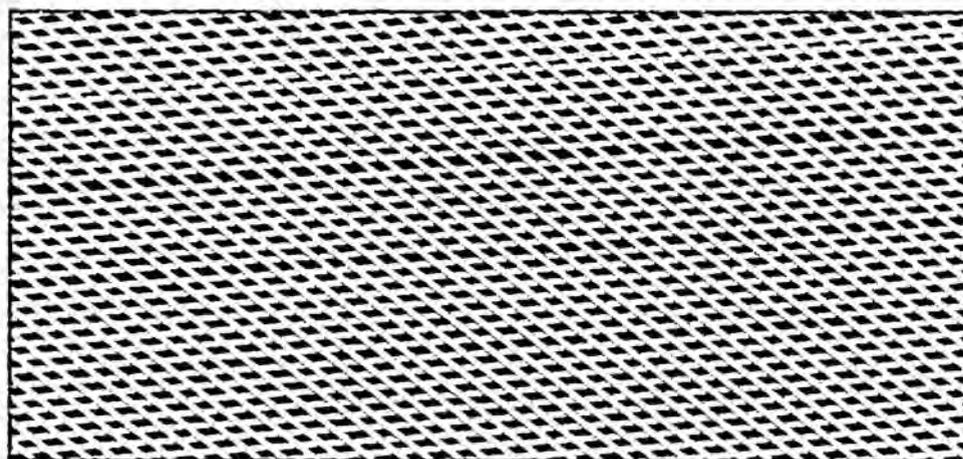
El modelamiento se llevó a cabo en la versión 2016 de AutoCAD. En la siguiente secuencia de imágenes se mostrará el proceso del modelamiento virtual del objetivo del trabajo paso a paso y finalmente se presentan los planos de lo mostrado en la sección de anexos:

FIGURA N° 5.4  
BANDEJA DE MALLAS PARA CONTENER LA SANGRE DE POLLO



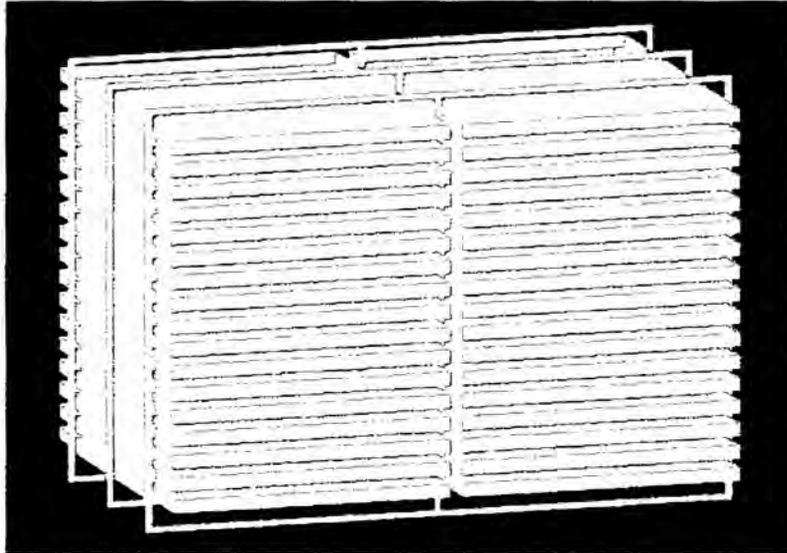
*Fuente: Elaboración propia*

FIGURA N° 5.5  
VISTA ACERCADA DE LA MALLA DE LA BANDEJA



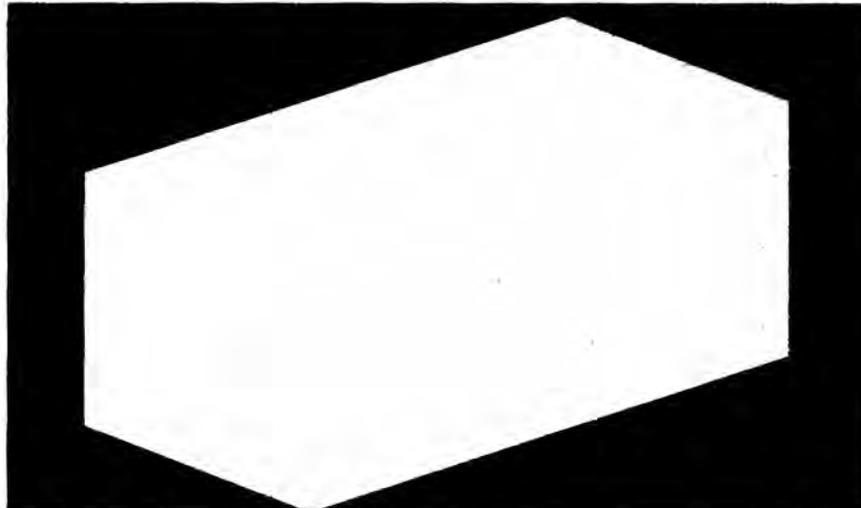
*Fuente: Elaboración propia*

FIGURA N° 5.6  
ESTRUCTURA DE PERFIL CUADRADO DE ACERO INOXIDABLE DE  
1/20" QUE SOSTENDRÁ LAS BANDEJAS



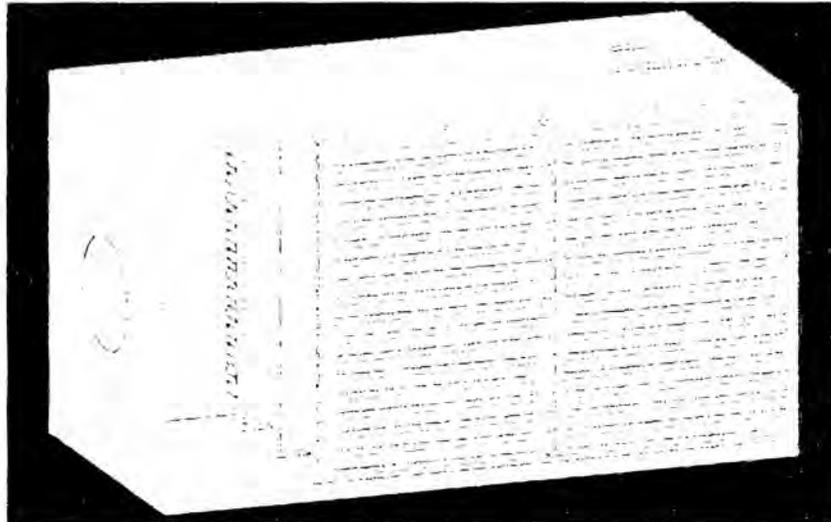
*Fuente: Elaboración propia*

FIGURA N° 5.7  
COLOCACIÓN DE LA CARCASA INTERNA



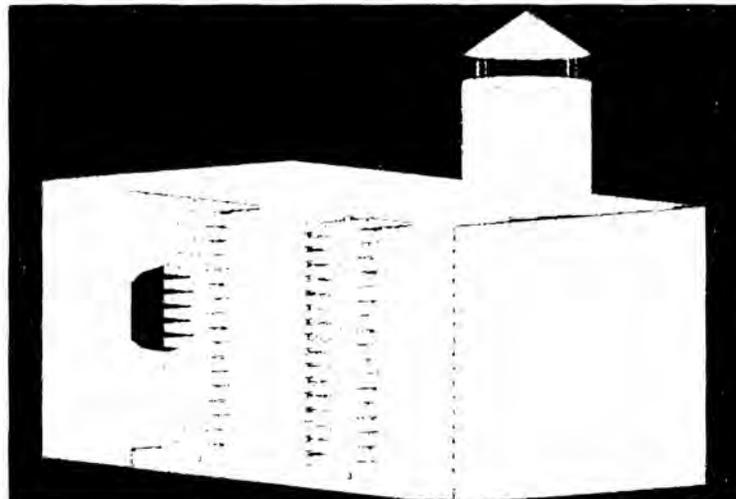
*Fuente: Elaboración propia*

**FIGURA N° 5.8**  
**COLOCACIÓN DE LA CARCASA INTERNA Y PERFORADO DE LA ESTRUCTURA PARA LA ENTRADA DE AIRE Y LA CHIMENEA**



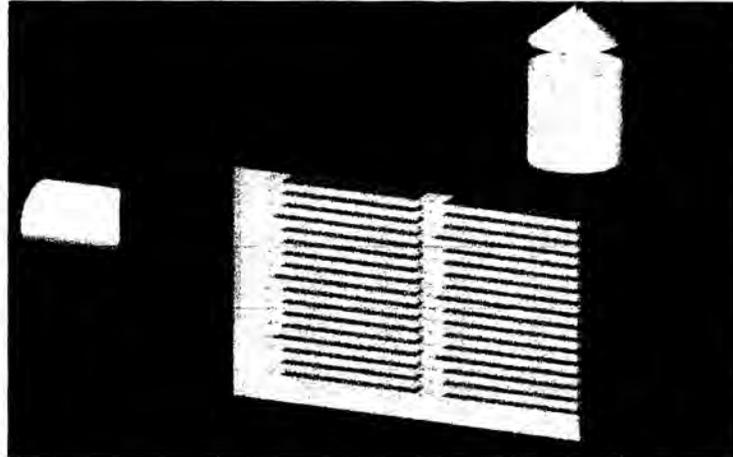
*Fuente: Elaboración propia*

**FIGURA N° 5.9**  
**COLOCACIÓN DE LA CHIMENEA EN LA ESTRUCTURA**



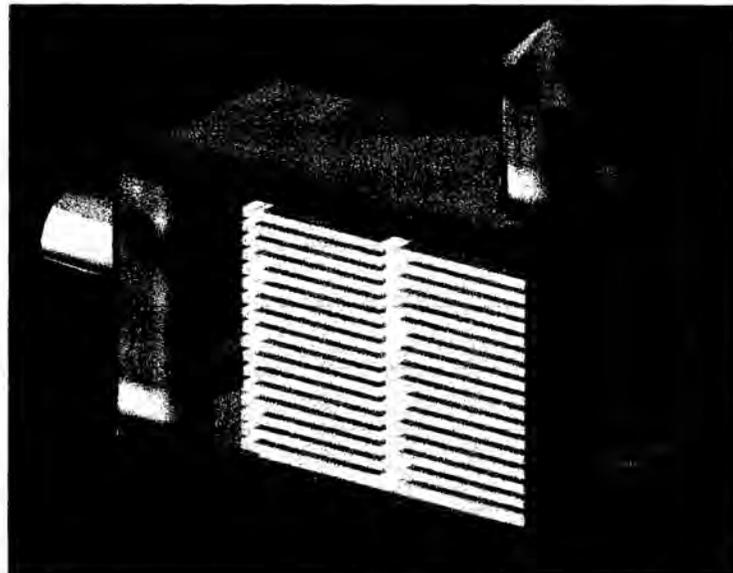
*Fuente: Elaboración propia*

FIGURA N° 5.10  
COLOCACIÓN DEL AISLANTE DE LANA DE FIBRA DE VIDRIO.



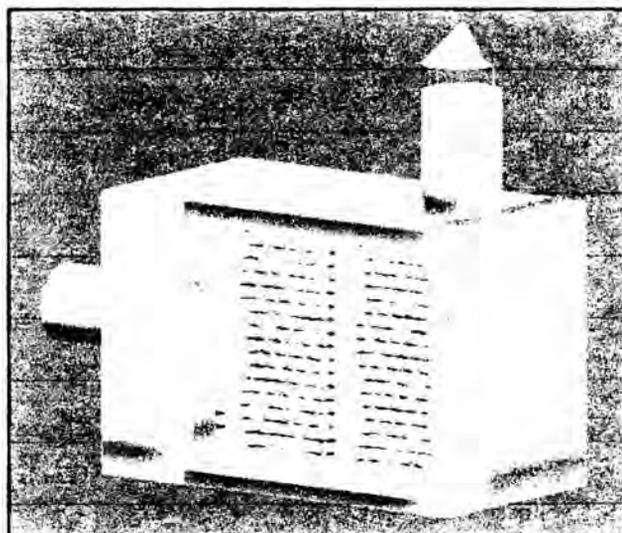
*Fuente: Elaboración propia*

FIGURA N° 5.11  
COLOCACIÓN DE LA CARCASA EXTERNA DE LA CÁMARA DE SECADO



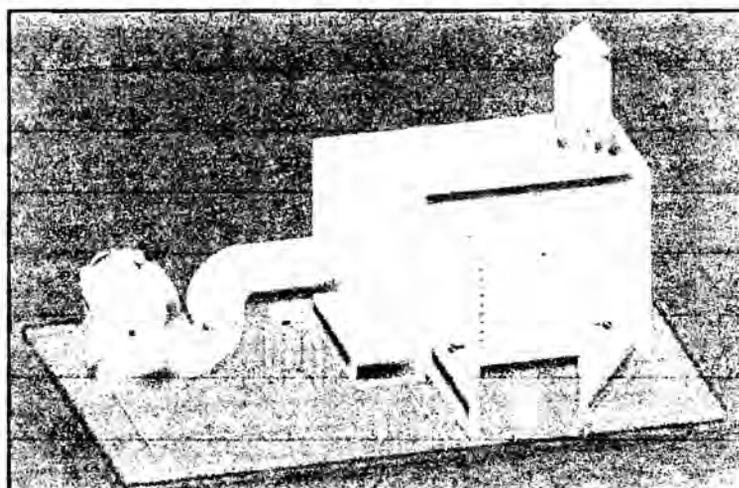
*Fuente: Elaboración propia*

**FIGURA N° 5.12**  
**SELLADO DE LA CÁMARA DE SECADO EN LOS BORDES**



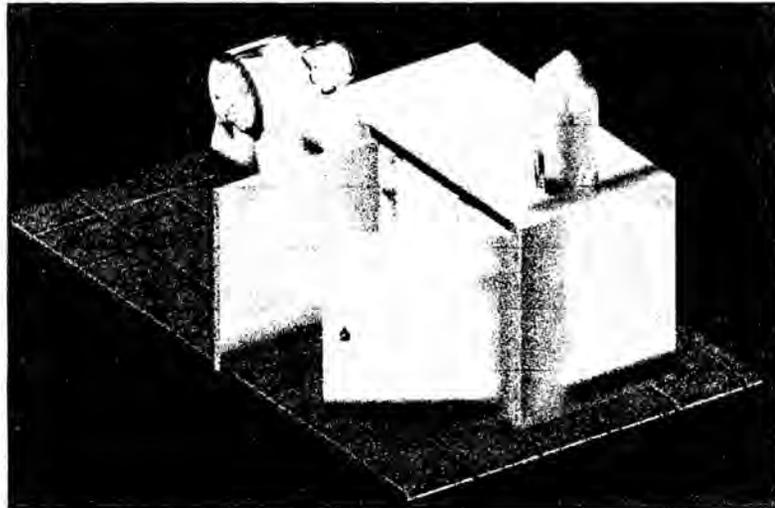
*Fuente: Elaboración propia*

**FIGURA N° 5.13**  
**COLOCACIÓN DEL VENTILADOR Y DEL CONDUCTO CONTENEDOR DE LA RESISTENCIA**



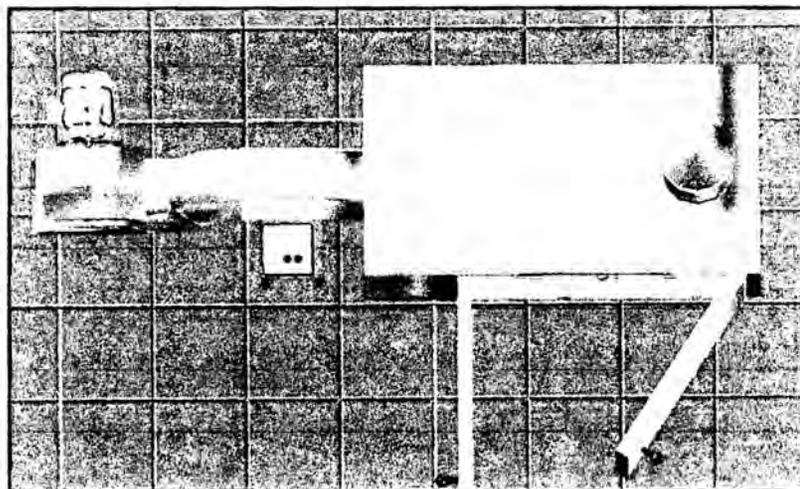
*Fuente: Elaboración propia*

FIGURA N° 5.14  
VISTA ISOMÉTRICA DEL SECADOR



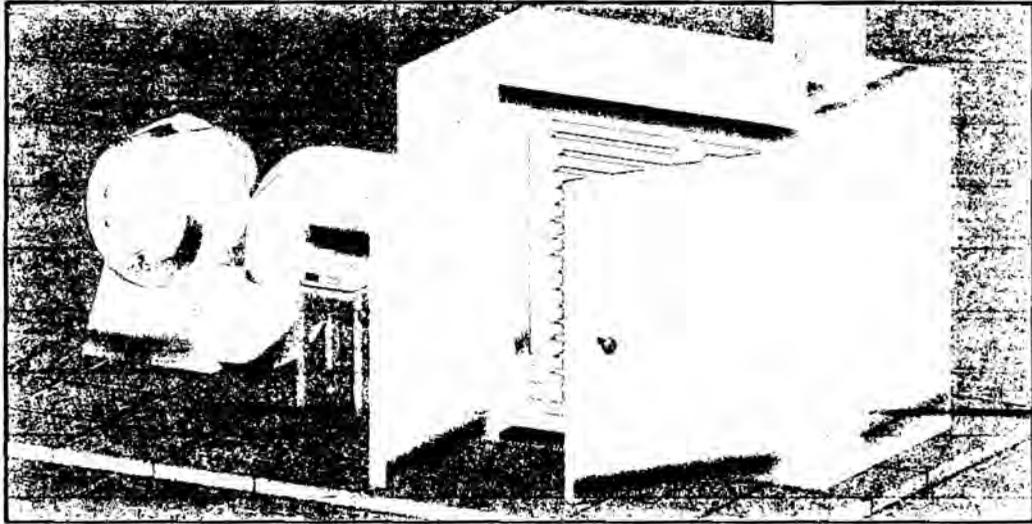
*Fuente: Elaboración propia*

FIGURA N° 5.15  
VISTA SUPERIOR DEL SECADOR



*Fuente: Elaboración propia*

FIGURA N° 5.16  
FIGURA FINAL DEL SECADOR DISEÑADO



*Fuente: Elaboración propia*

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados

#### 6.1.1. Resultados obtenidos luego de la experimentación con la cinética de secado con la sangre de pollo.

Según el método empleado para el secado, se consideraron las evaluaciones usando dos velocidades de aire y dos temperaturas, en total 8 experimentos (4 experimentos por duplicado).

Los valores promedio se muestran en la siguiente tabla:

TABLA N° 6.1

RESULTADOS EXPERIMENTALES PROMEDIO DE LAS CORRIDAS DE SECADO PARA VALORES APROXIMADOS A 135 G DE SANGRE FRESCA COAGULADA

Velocidad de aire (m/s)	Temperatura (°C)	Tiempo de secado (h)
3.42	55	6.5
3.42	60	4.8
5.63	55	6.1
5.63	60	4.5

Fuente: *Elaboración propia*

De acuerdo a la tabla anterior, los valores en los que la temperatura fue superior ayudan a la velocidad de secado, pero no es un criterio definitivo, ya que como se mencionó en el capítulo anterior, de los conceptos teóricos se conoce que a mayor temperatura, existe una mayor desnaturalización

de las proteínas del producto, por lo que se determinó solamente que la velocidad adecuada es a 5.63 m/s. En las hipótesis que se plantearon, se mencionó que el tiempo se aproximaría a la hora de trabajo, pero luego de lo experimentado se sabe que el tiempo es mucho más prolongado, rondando las 5 horas de trabajo para una muestra de aproximadamente 130 g y no hubo una disminución considerable de la humedad del aire caliente.

### 6.1.2. Resultados obtenidos luego del análisis químico.

A continuación se muestran los resultados de los análisis químicos:

TABLA N° 6.2

#### RESULTADOS DEL PESO DE PROTEÍNAS EN 100G DE HARINA DE SANGRE (SECA)

Temperatura (°C)	Peso (g)
55	15.9200
60	11.9950

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 6.3

#### RESULTADOS DEL PESO DE HIERRO EN 100G DE HARINA DE SANGRE (SECA)

Temperatura (°C)	Peso (mg)
55	23.2000
60	20.1000

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en las tablas 6.2 y 6.3, lo predicho en la primera parte acerca de que no era preciso tomar un valor de la temperatura de

trabajo solo por el aporte a la velocidad de secado era correcto, a menor temperatura de secado existe más cantidad de proteínas, la cantidad de hierro es muy pequeña y ambas son parecidas, por lo que se tomó en consideración los pesos de proteína para poder elegir la temperatura de trabajo, entonces, es por ello que se trabajó en las siguientes secciones con 55°C como temperatura de diseño.

De lo obtenido en los análisis, se puede determinar que la cantidad de hierro en las muestras es un valor bastante considerable en 100 g de harina de sangre, ahora bien, para comparar el valor de la cantidad de proteínas presentes en la harina de sangre y en la sangre fresca se tiene la siguiente tabla:

TABLA N° 6.4

COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE PROTEÍNAS ENTRE LA SANGRE DE POLLO FRESCA Y LA HARINA DE SANGRE DE POLLO

<b>100 g de materia</b>	<b>Proteína (g)</b>
Sangre fresca de pollo	22
Harina de sangre de pollo	15.92

Fuente: *Elaboración propia*

Se verifica que a la temperatura de trabajo, la disminución de la cantidad de proteínas no es tan grande como cuando se trabajó con 60°C, por lo que resulta factible el trabajo con este tipo de secado. Haciendo un contraste por lo predicho en las hipótesis, ésta se cumple, ya que mencionó en un inicio que la temperatura de trabajo estaría entre 50 y 80 °C.

### 6.1.3. Resultados de la determinación del secador.

El secador escogido para el diseño de acuerdo al estado de agregación de la materia prima fue el secador de bandejas, por lo que la segunda hipótesis específica es cumplida.

### 6.1.4. Resultados del diseño del secador.

Finalmente, la hipótesis general es cumplida, ya que como se vio en los puntos anteriores, por medio de los parámetros: tiempo, temperatura, humedad del gas caliente y del estado de agregación de la materia se obtuvo el siguiente dimensionado y modelamiento del equipo:

TABLA N° 6.5  
RESULTADOS DEL DIMENSIONADO DEL EQUIPO

Ítem	Unidades	Valor
Densidad de aire	$kg/m^3$	1.2074
Potencia de la resistencia	kW	17.26
Longitud del conductor	m	27.9
Longitud del conducto intermedio	m	0.5
Ancho de la bandeja	m	0.52
Largo de la bandeja	m	0.75
Alto de la bandeja	m	0.03
Número de bandejas	Adimensional	34
Ancho del secador	m	0.86

Continuación de la Tabla N° 6.5

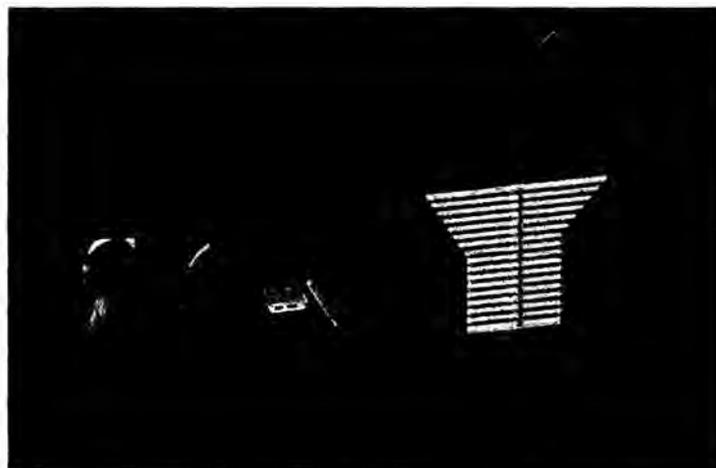
Largo del secado	m	1.60
Alto del secador	m	0.86
Diámetro de la chimenea	m	0.3
Alto de la chimenea	m	0.45
Potencia del ventilador	kW	0.55
Caudal requerido del ventilador	$\frac{m^3}{h}$	1432.66
Caudal máximo del ventilador	$\frac{m^3}{h}$	3650

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.5. Resultados del modelamiento del secador.

En la figura siguiente se muestra el diseño final del secador:

FIGURA N° 6.1  
RESULTADO FINAL DEL MODELAMIENTO DEL EQUIPO



Fuente: Elaboración propia

## 6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.

En el trabajo "Diseño y construcción de un deshidratador de sangre bovina a nivel de laboratorio", se utilizó una alternativa diferente a la usada en el presente trabajo, pero el fin es el mismo en ambos casos, disminuir la humedad presente en el material en estudio. En la tabla siguiente se contrasta la cantidad de agua desprendida:

TABLA N° 6.6  
COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA DESPRENDIDA POR  
DOS FORMAS DE SECADO

<b>Tipo de secado</b>	<b>Peso de agua perdido promedio (en 130g de sangre fresca coagulada)</b>
Lotes (Bandejas)	78.7 g
Agitación/floculación	22 g

*Fuente: Elaboración propia*

La diferencia es más que considerable, si bien es cierto, no se menciona en el trabajo referenciado el tiempo que utilizaron para lograr esa cantidad de agua desprendida, siendo para el secado por lotes de aproximadamente 5 horas.

## VII. CONCLUSIONES

- a) El diseño del secador a escala banco para producir harina de sangre de pollo fue posible en función a los parámetros: tiempo, temperatura y estado de agregación de la materia utilizada (sangre coagulada).
- b) Para el secado de la sangre de pollo coagulada se utiliza una velocidad de aire entre 5 y 6 m/s y una temperatura constante de 55°C, obteniendo una velocidad de secado de 6.1h, llevando la sangre coagulada desde una humedad promedio aproximada de 2.46 hasta 0.01.
- c) El estado de agregación de la materia prima utilizada fue determinante en la elección del secador utilizado para el diseño.
- d) La temperatura es un factor primordial en el tratamiento de este tipo de materia prima, ya que su aplicación influye directamente en la desnaturalización de proteínas, haciendo que el producto pierda valor (por eso se escogió trabajar con 55°C en vez de 60°C, a pesar de que ésta última favorecía la velocidad de secado). Por ello, en estos casos es un buen criterio utilizar un análisis químico que sirva de determinante.

## VIII. RECOMENDACIONES

- a) Sería preciso utilizar algún tipo de coagulante para perfeccionar la forma de los coágulos y luego someterlos a secado.
- b) Al momento de utilizar este tipo de equipos, es necesario prender primero el ventilador y luego la resistencia, ya que si la misma no mantiene el alivio calórico del aire, podría quemarse. Para apagarla realizar la misma operación pero en viceversa.
- c) Para mejorar los estudios cinéticos de la sangre de pollo, sería una buena alternativa utilizar variaciones de temperatura más pequeñas que la que se utilizó en la presente tesis (a 52°C por ejemplo), a pesar de que a veces es un poco complicado, ya que los secadores tienen una temperatura que fluctúa aproximadamente entre  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- d) Luego de realizar las corridas experimentales de secado, es necesario hacer pasar por molienda la muestra de sangre seca para que el análisis químico sea más sencillo.
- e) Para hacer el análisis espectrofotométrico (de cualquier muestra), es necesario ser muy cuidadoso a la hora de manipular las celdas de cuarzo, ya que generalmente no se venden en el mercado peruano y si existen tienen un precio bastante elevado.

## IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. ABU, Sara. **Sangrecita de pollo: rica en hierro**. Disponible en: <http://rpp.pe/lima/actualidad/sangrecita-de-pollo-rica-en-hierro-y-combate-la-anemia-noticia-632944>. Artículo web. Consultado el 30 de octubre de 2015.
2. AGROBUEYCA. **Alimentos balanceados para diferentes animales**. Disponible en: <http://www.alimentosagrobueyca.com/>. Artículo web. Consultado el 15 de octubre de 2015.
3. AGUIRRE, CORONADO y DAZA. **Diseño y construcción de un deshidratador de sangre bovina a nivel de laboratorio**. Tesis de grado. Bogotá. Universidad Libre. 2007.
4. ÁNGELES, Carlos. **Guía de secado**. Universidad Nacional del Callao. 2014.
5. BACKHURST et al. **Problemas sobre transferencia de calor y masa**. Editorial El manual moderno. Primera edición. 1979.
6. BELTRÁN Y PERDOMO. **Aprovechamiento de la sangre de bovino para la obtención de harina de sangre y plasma sanguíneo en el matadero Santa Cruz de Malambo Atlántico**. Tesis de grado. Bogotá. Universidad De La Salle. 2007.
7. CALDERA et al. **Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de industria avícola**. Revista científica Vol. XX N° 4, 409 – 416. Universidad de Zulia. 2010.

8. CENGEL, Yunus. **Termodinámica**. México. Editorial McGraw Hill. Segunda edición. 2011.
9. CENGEL, Yunus. **Transferencia de calor**. México. Editorial McGraw Hill. Segunda edición. 2004.
10. CERDA Y PROAÑO. **Diseño y construcción de un deshidratador de inducción para la obtención de pasa de uvilla con capacidad de 300 kg/día para la empresa Equinox Bussines Limited**. Tesis de Grado. Sangolquí. Escuela Politécnica del ejército. 2005.
11. COFRE, Darwin. **Diseño de un prototipo de horno deshidratador de spirulina utilizando energía renovable**. Tesis para título. Latacunga. Universidad Técnica de Cotopaxi. 2011.
12. CRICKADE. **Harina de sangre**. Disponible en: <http://www.crickade.com/productos.htm>. Artículo web. Consultada el 20 de octubre de 2015.
13. DÁVILA, Rodrigo. **Estudio experimental del efecto de la porosidad de partículas sobre el proceso de secado de un lecho fluidizado a vacío empleando aire**. Tesis para título. Puebla. Universidad de las Américas Puebla. 2004.
14. DREAMSTIME. **Chicken blood images**. Disponible en: <https://www.dreamstime.com/photos-images/chicken-blood.html#details6166734>. Artículo web. Consultado el 20 de octubre de 2015.

15. ELÍAS, Betty. **Sangrecita de pollo: rica en hierro y combate la anemia.** Radio programas del Perú. Disponible en:  
[http://www.rpp.com.pe/2013-09-20-sangrecita-de-pollo-rica-en-hierro-y-combate-la-anemia-noticia\\_632944.html](http://www.rpp.com.pe/2013-09-20-sangrecita-de-pollo-rica-en-hierro-y-combate-la-anemia-noticia_632944.html). Artículo web. Consultada el 31 de julio del 2015.
16. ENERGÍAS RENOVADAS. **Energía solar para deshidratar alimentos.** Disponible en: <http://energiasrenovadas.com/energia-solar-para-deshidratar-alimentos/>. Artículo web. Consultado el 15 de octubre de 2015.
17. FERNÁNDEZ Y GALVÁN. **Métodos para la cuantificación de proteínas.** Universidad de Córdoba, 27, 7. 26/04/2016. 2011.
18. GEANKOPLIS, Christie. **Procesos de transporte y operaciones unitarias.** México. Editorial Prentice Hall International. Tercera Edición. 1998.
19. GUERRERO, Gustavo. **Diseño de ingeniería básica de una planta para la elaboración de sangre bovina y porcina deshidratada para alimentos balanceados.** Tesis de título. Quito. Escuela Politécnica Nacional. 2010.
20. INCROPERA Y DEWITT. **Fundamentos de transferencia de calor.** México. Editorial Pearson. Cuarta edición. 1996.
21. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. **Consumo de alimentos y bebidas.** Disponible en:

[http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digita les/Est/Lib1028/cap01.pdf](http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digita les/Est/Lib1028/cap01.pdf). Artículo web. Consultada el 10 de agosto del 2015.

22. JANGAM, LAW y MUJUMDAR. **Drying of foods, vegetables and Fruits – Volume 1**. Singapur. Primera Edición. 2010.

23. LAS CAMELIAS. **Harina de sangre animal**. Disponible en: <http://www.lascameliassa.com.ar/inicio.php?idioma=es#>. Artículo web. Consultada el 15 de octubre de 2015.

24. LICATA, Marcela. **El hierro en la nutrición**. Disponible en: <http://www.zonadiet.com/nutricion/hierro.htm>. Artículo web. Consultada el 20 de marzo de 2016.

25. MCCABE, SMITH y HARRIOTT. **Unit Operations of Chemical Engineering**. Estados Unidos. Editorial McGraw Hill. Quinta Edición. 1993.

26. MELO y CUAMATZI. **Bioquímica de los procesos metabólicos**. País Vasco. Editorial Reverté. Segunda edición. 2007.

27. MUJUMDAR, Arum. **Handbook of Industrial Drying**. Singapur. Editorial CRC Press. Cuarta Edición. 2006.

28. PROFESORES DE INSTRUMENTAL ANALÍTICO. **Guía de análisis mediante métodos de espectrometría molecular en el UV - Visible**. Universidad Central de Venezuela. Publicación en el 2013. Disponible en: <http://www.ciens.ucv.ve:8080/generador/sites/LIApregrado/archivos>

/Guia%20Foto%20Modificacion%20mayo%202013-2.pdf. Artículo web. Consultada el 25 de abril de 2016.

29. PROYECTOS PERUANOS. **Producción nacional de carne de pollos.** Disponible en:

[http://www.proyectosperuanos.com/pollos\\_de\\_carne\\_cobb\\_ross.html](http://www.proyectosperuanos.com/pollos_de_carne_cobb_ross.html). Artículo web. Consultado el 15 de octubre de 2015.

30. QUIMINET. **Ventiladores industriales.** Disponible en [www.quiminet.com](http://www.quiminet.com). Artículo web. Consultado el 20 de abril de 2016.

31. RATTI, Cristina. **Advances in food dehydration.** Estados Unidos. Editorial CRC Press. Primera Edición. 2009.

32. SATUR. **Sangre de pollo.** Disponible en: [www.carniceriasatur.es](http://www.carniceriasatur.es). Artículo web. Consultado el 15 de octubre de 2015.

33. SOCIEDAD PERUANA DE CARDIOLOGÍA. **Tablas (Alimentos del Perú).** Revista de la Sociedad Peruana de Cardiología. Publicación Julio – Diciembre 2000. Disponible en:

[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/cardiologia/v26\\_n2/tab\\_alimentos.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/cardiologia/v26_n2/tab_alimentos.htm). Artículo web. Consultada el 08 de agosto del 2015.

34. TREYBAL, Robert. **Operaciones de transferencia de masa.** Editorial McGraw Hill. México. Segunda Edición. 1988.

#### NORMAS LEGALES CITADAS:

- DECRETO SUPREMO N° 0.21-2009-VIVIENDA – **Aprueban valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas**

**residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.**

- **LEY N° 27314. Ley general de residuos sólidos.**

# **ANEXOS**

• MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: DISEÑO DE UN SECADOR A ESCALA BANCO PARA PRODUCIR HARINA DE SANGRE DE POLLO.

PRESENTADO POR: BACH. RAFAEL ALONSO VALENCIA FAJARDO

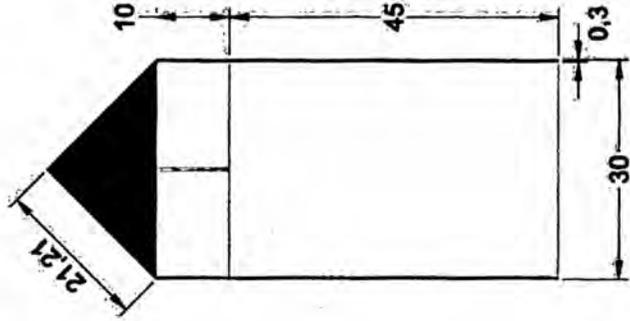
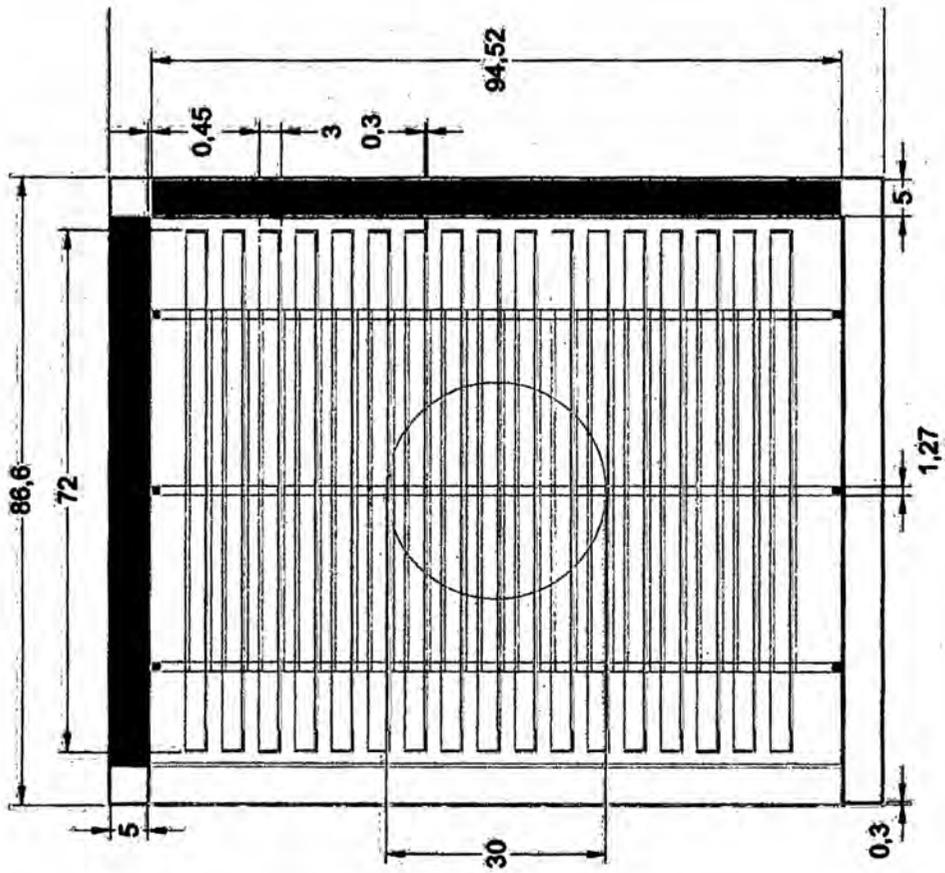
ASESOR: ING. CARLOS ERNESTO ÁNGELES QUEIROLO

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo debe ser el diseño de un secador a escala banco para producir harina de sangre de pollo?	Diseñar un secador a escala banco para producir harina de sangre de pollo.	El diseño de un secador para la producción de harina de sangre de pollo es posible en función a los parámetros: tiempo, temperatura, humedad del gas caliente y al estado de agregación de la sangre coagulada.	Y=Diseño de un secador a escala banco para producir harina de sangre de pollo.	- Medida de la altura. -Medida del radio o largo y ancho - Potencia de las resistencias. -Potencia del ventilador	-Descripción -Descripción -Descripción	- Revisión de publicaciones. - Cálculos de diseño. - Uso de softwares de diseño.
PROB. ESPECIFICOS	OBJ. ESPECIFICOS	HIP. ESPECÍFICAS	VARIABLES IND.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
a) ¿Cuáles son los parámetros de producción de harina a base de sangre de pollo?  b) ¿Qué tipo de secador nos permitirá obtener un menor consumo de energía?	a) Identificar los parámetros de producción de harina a base de sangre de pollo.  b) Determinar el tipo de secador que nos permitirá obtener un menor consumo de energía.	a) Para el secado de la sangre de pollo coagulada se utiliza una temperatura constante entre 50 y 80°C, por un tiempo comprendido entre 50 y 60 minutos y con una humedad del aire caliente entre 0.01 y 0.02 Kg Agua/ Kg Aire seco.  b) El estado de agregación de la sangre de pollo permitirá seleccionar el tipo de secador adecuado.	X1= Parámetros de producción de harina a base de sangre de pollo.  X2= Tipo de secador para obtener menos consumo de energía	-Temperatura -Tiempo de secado -Humedad	- °C - seg - Kg Agua/Kg AS	- Revisión de publicaciones. - Experimentación con otro secador
				- Descripción - Descripción - Descripción	- Descripción - Descripción - Descripción	- Revisión de publicaciones. - Comparación de lo obtenido para diferentes secadores

RELACIÓN DE VARIABLES:  $Y=f(X1, X2)$

X1= Parámetros de producción de harina a base de sangre de pollo.

X2= Tipo de secador para obtener menos consumo de energía



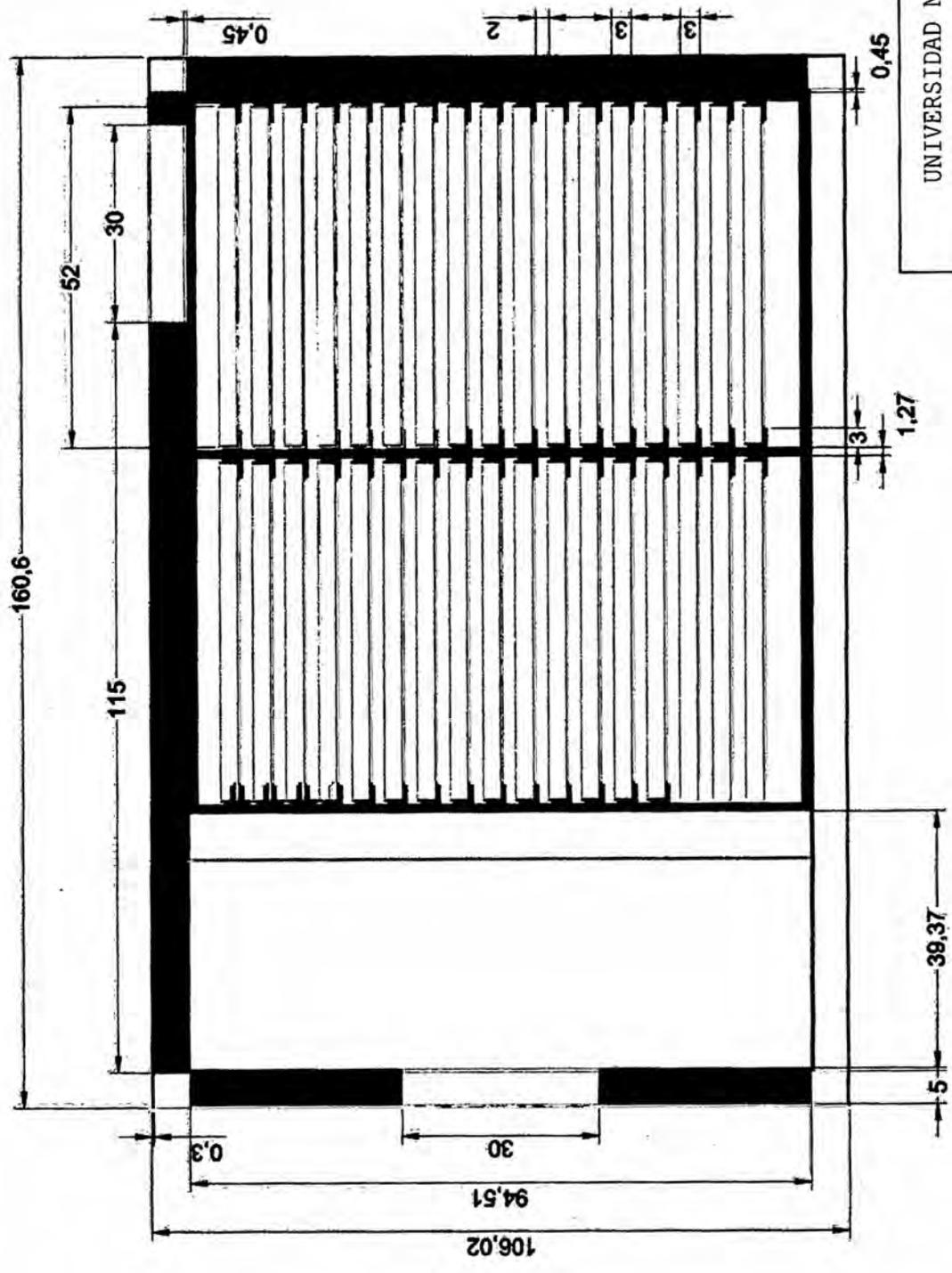
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

TÍTULO: Chimenea y transversal lateral

PRESENTADO POR: Rafael Valencia Fajardo

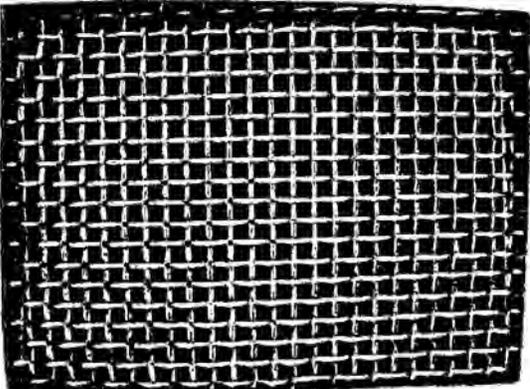
ESCALA: 1:1 (cm)

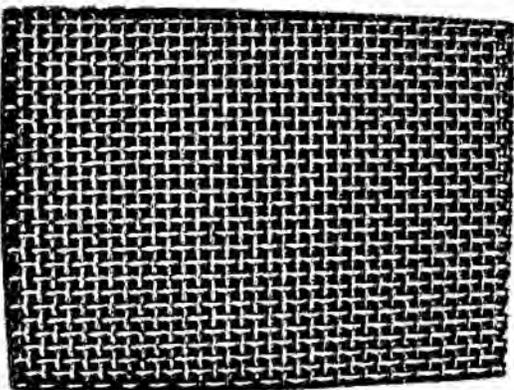
FECHA: 15/05/2016

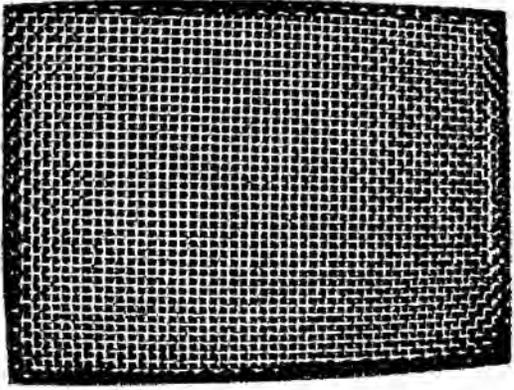


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO	
TÍTULO: Sección transversal frontal	
PRESENTADO POR: Rafael Valencia Fajardo	
ESCALA: 1:1 (cm)	FECHA: 15/05/2016

## CATÁLOGO DE MALLAS ACERO INOXIDABLE AISI 316

	<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">  </div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">N° Mesh</td> <td style="width: 10%;">:</td> <td style="width: 50%;">14</td> </tr> <tr> <td>Tejido</td> <td>:</td> <td>Liso</td> </tr> <tr> <td>Abertura</td> <td>:</td> <td>1,312 mm</td> </tr> <tr> <td>Diámetro Alambre</td> <td>:</td> <td>0,5 mm</td> </tr> </table>	N° Mesh	:	14	Tejido	:	Liso	Abertura	:	1,312 mm	Diámetro Alambre	:	0,5 mm
N° Mesh	:	14											
Tejido	:	Liso											
Abertura	:	1,312 mm											
Diámetro Alambre	:	0,5 mm											

	<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">  </div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">N° Mesh</td> <td style="width: 10%;">:</td> <td style="width: 50%;">20</td> </tr> <tr> <td>Tejido</td> <td>:</td> <td>Liso</td> </tr> <tr> <td>Abertura</td> <td>:</td> <td>0,870 mm</td> </tr> <tr> <td>Diámetro Alambre</td> <td>:</td> <td>0,4 mm</td> </tr> </table>	N° Mesh	:	20	Tejido	:	Liso	Abertura	:	0,870 mm	Diámetro Alambre	:	0,4 mm
N° Mesh	:	20											
Tejido	:	Liso											
Abertura	:	0,870 mm											
Diámetro Alambre	:	0,4 mm											

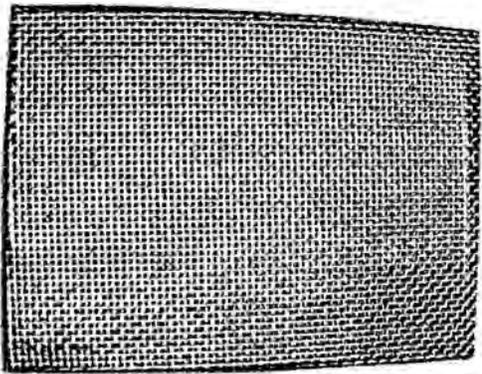
	<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">  </div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">N° Mesh</td> <td style="width: 10%;">:</td> <td style="width: 50%;">30</td> </tr> <tr> <td>Tejido</td> <td>:</td> <td>Liso</td> </tr> <tr> <td>Abertura</td> <td>:</td> <td>0,596 mm</td> </tr> <tr> <td>Diámetro Alambre</td> <td>:</td> <td>0,25 mm</td> </tr> </table>	N° Mesh	:	30	Tejido	:	Liso	Abertura	:	0,596 mm	Diámetro Alambre	:	0,25 mm
N° Mesh	:	30											
Tejido	:	Liso											
Abertura	:	0,596 mm											
Diámetro Alambre	:	0,25 mm											

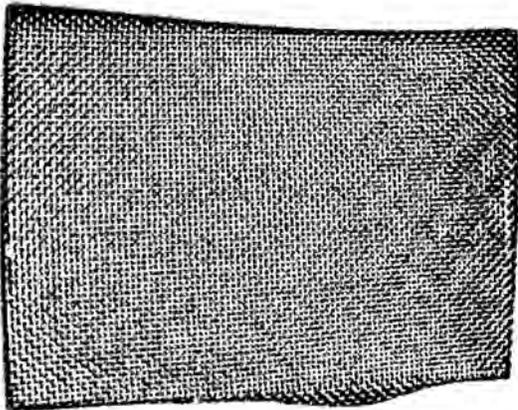
Industrias Perfect S.A.

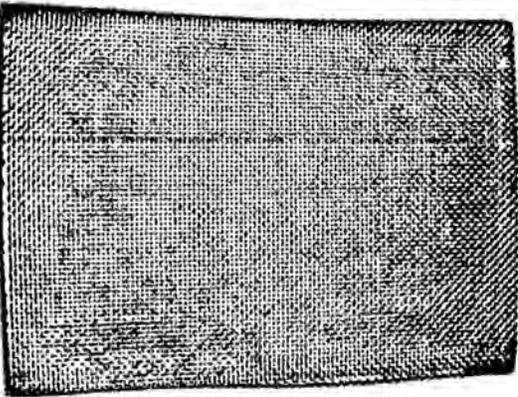
Dirección: Los libertadores 131 Colina, Región Metropolitana, Fono: (02) 4600342 Fax: (02) 4379090

Sitio web: [www.filtrosperfect.cl](http://www.filtrosperfect.cl)

## CATÁLOGO DE MALLAS ACERO INOXIDABLE AISI 316

	<div style="text-align: right; font-size: small; margin-bottom: 10px;">  </div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Nº Mesh</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">:</td> <td style="width: 60%;">40</td> </tr> <tr> <td>Tejido</td> <td style="text-align: center;">:</td> <td>Liso</td> </tr> <tr> <td>Abertura</td> <td style="text-align: center;">:</td> <td>0,385 mm</td> </tr> <tr> <td>Diámetro Alambre</td> <td style="text-align: center;">:</td> <td>0,25 mm</td> </tr> </table>	Nº Mesh	:	40	Tejido	:	Liso	Abertura	:	0,385 mm	Diámetro Alambre	:	0,25 mm
Nº Mesh	:	40											
Tejido	:	Liso											
Abertura	:	0,385 mm											
Diámetro Alambre	:	0,25 mm											

	<div style="text-align: right; font-size: small; margin-bottom: 10px;">  </div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Nº Mesh</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">:</td> <td style="width: 60%;">50</td> </tr> <tr> <td>Tejido</td> <td style="text-align: center;">:</td> <td>Liso</td> </tr> <tr> <td>Abertura</td> <td style="text-align: center;">:</td> <td>0,308 mm</td> </tr> <tr> <td>Diámetro Alambre</td> <td style="text-align: center;">:</td> <td>0,20 mm</td> </tr> </table>	Nº Mesh	:	50	Tejido	:	Liso	Abertura	:	0,308 mm	Diámetro Alambre	:	0,20 mm
Nº Mesh	:	50											
Tejido	:	Liso											
Abertura	:	0,308 mm											
Diámetro Alambre	:	0,20 mm											

	<div style="text-align: right; font-size: small; margin-bottom: 10px;">  </div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Nº Mesh</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">:</td> <td style="width: 60%;">60</td> </tr> <tr> <td>Tejido</td> <td style="text-align: center;">:</td> <td>Liso</td> </tr> <tr> <td>Abertura</td> <td style="text-align: center;">:</td> <td>0,243 mm</td> </tr> <tr> <td>Diámetro Alambre</td> <td style="text-align: center;">:</td> <td>0,18 mm</td> </tr> </table>	Nº Mesh	:	60	Tejido	:	Liso	Abertura	:	0,243 mm	Diámetro Alambre	:	0,18 mm
Nº Mesh	:	60											
Tejido	:	Liso											
Abertura	:	0,243 mm											
Diámetro Alambre	:	0,18 mm											

Industrias Perfect S.A.

Dirección: Los libertadores 131 Colina, Región Metropolitana, Fono: (02) 4600342 Fax: (02) 4379090

Sitio web: [www.filtrosperfect.cl](http://www.filtrosperfect.cl)

## Tabla de conductividad térmica

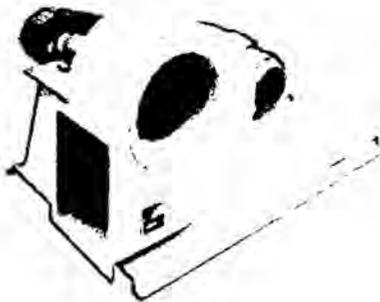
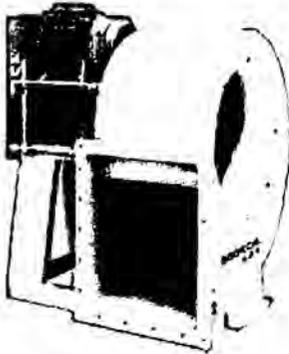
www.vaxasoftware.com

Material	$\lambda$ W/(m·K)
Acero	47 - 58
Acero inoxidable	12 - 45
Agua	0,58
Aire	0,025
Alcohol	0,16
Alpaca	29,1
Aluminio puro	237
Amianto	0,04
Bronce	116 - 186
Caucho	0,16
Cemento Portland	0,29
Cinc	106 - 140
Cobre	401
Corcho	0,03 - 0,04
Diamante	900 - 2300
Estaño	64,0
Fibra de vidrio	0,03 - 0,07
Glicerina	0,29
Helio (superfluidéz)	infinito

Material	$\lambda$ W/(m·K)
Hielo	2
Hierro	80,2
Hormigón	1,7
Ladrillo	0,80
Ladrillo refractario	0,47 - 1,05
Latón	81 - 116
Litio	301,2
Madera	0,04 - 0,4
Mercurio	83,7
Mica	0,35
Níquel	52,3
Oro	318
Parafina	0,21
Piedra arenisca	2,4
Plata	429
Plomo	35,0
Polipropileno	0,12
Tierra húmeda	0,8
Vidrio	0,6 - 1,1

# CMR-X

**Ventiladores accionados a transmisión, equipados con motor eléctrico, conjunto de poleas, correas y protectores normalizados según norma EN-294 y ISO-13852**



**Ventilador:**

- Envoltente en chapa de acero
- Turbina con álabes a reacción, en chapa de acero de gran robustez
- Versión A: motor montado sobre envoltente
- Versión B: motor montado sobre bancada general

**Motor:**

- Motores eficiencia IE-2, excepto potencias inferiores a 0,75 kw monofásico y 2 velocidades
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55
- Trifásicos 230/400V-50Hz (hasta 5,5CV) y 400/690V-50Hz (potencias superiores a 5,5CV)
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C + 150°C

**Acabado:**

- Anticorrosivo en resina de poliéster, polimerizada a 190°C, previo desengrase alcalino y pretratamiento libre de fosfatos

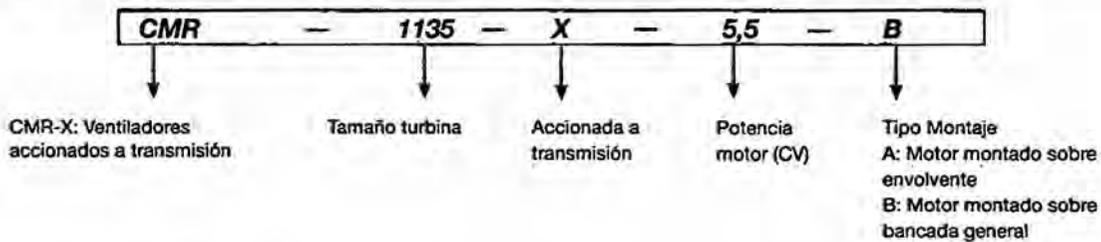
**Bajo demanda:**

- Bobinados especiales para diferentes tensiones
- Ventilador preparado para transportar aire hasta 250°C
- Ventilador en acero inoxidable
- Certificación ATEX Categoría 2



Construcción de gran robustez

**Código de pedido**



**Características técnicas**

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Presión máxima (mm c.a.)	Peso (Kg)	Tipo de montaje
		230V	400V	690V					
CMR-1031-X-0,75	2050	2,92	1,69		0,55	3650	65	48	A
CMR-1031-X-1	2300	3,10	1,79		0,75	4100	85	49	A
CMR-1031-X-1,5	2600	4,03	2,32		1,10	4650	110	54	A
CMR-1031-X-2	2870	5,96	3,44		1,50	5100	130	57	A
CMR-1031-X-3	3270	8,36	4,83		2,20	5800	170	65	A
CMR-1031-X-4	3670	10,96	6,33		3,00	6550	215	68	A
CMR-1031-X-5,5	3820	14,10	8,12		4,00	6800	235	80	B
CMR-1135-X-1	1850	3,10	1,79		0,75	4700	65	53	A
CMR-1135-X-1,5	2080	4,03	2,32		1,10	5250	80	58	A
CMR-1135-X-2	2300	5,96	3,44		1,50	5800	100	61	A
CMR-1135-X-3	2630	8,36	4,83		2,20	6650	130	69	A

**Características técnicas**

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Presión máxima (mm c.a.)	Peso (Kg)	Tipo de montaje
		230V	400V	690V					
CMR-1135-X-4	2950	10,96	6,33		3,00	7450	165	72	A
CMR-1135-X-5,5	3250	14,10	8,12		4,00	8200	200	84	B
CMR-1240-X-2	1840	5,96	3,44		1,50	7050	90	77	A
CMR-1240-X-3	2100	8,36	4,83		2,20	8050	120	85	A
CMR-1240-X-4	2350	10,96	6,33		3,00	9000	150	88	A
CMR-1240-X-5,5	2600	14,10	8,12		4,00	9950	180	100	A
CMR-1240-X-7,5	2870		11,60	6,72	5,50	11000	220	114	B
CMR-1445-X-3	1750	8,36	4,83		2,20	9900	100	104	A
CMR-1445-X-4	1960	10,96	6,33		3,00	11100	125	107	A
CMR-1445-X-5,5	2160	14,10	8,12		4,00	12200	155	119	A
CMR-1445-X-7,5	2400		11,60	6,72	5,50	13600	190	133	A
CMR-1445-X-10	2680		14,20	8,20	7,50	15150	235	140	A
CMR-1445-X-15	3040		20,20	11,60	11,00	17200	305	178	B
CMR-1650-X-4	1720	10,96	6,33		3,00	11150	115	132	A
CMR-1650-X-5,5	1880	14,10	8,12		4,00	12200	135	144	A
CMR-1650-X-7,5	2100		11,60	6,72	5,50	13600	170	158	A
CMR-1650-X-10	2340		14,20	8,20	7,50	15150	210	165	A
CMR-1650-X-15	2650		20,20	11,60	11,00	17150	270	203	A
CMR-1650-X-20	2800		27,50	15,90	15,00	18150	305	219	B
CMR-1856-X-5,5	1600	14,10	8,12		4,00	16650	120	159	A
CMR-1856-X-7,5	1770		11,60	6,72	5,50	18450	150	173	A
CMR-1856-X-10	1950		14,20	8,20	7,50	20300	180	180	A
CMR-1856-X-15	2200		20,20	11,60	11,00	22900	230	218	A
CMR-1856-X-20	2400		27,50	15,90	15,00	25000	270	234	A
CMR-2063-X-5,5	1220	14,10	8,12		4,00	20450	110	246	A
CMR-2063-X-7,5	1370		11,60	6,72	5,50	22950	135	260	A
CMR-2063-X-10	1500		14,20	8,20	7,50	25100	165	267	A
CMR-2063-X-15	1720		20,20	11,60	11,00	28800	215	305	A
CMR-2063-X-20	1930		27,50	15,90	15,00	32300	270	321	A
CMR-2063-X-25	2070		35,00	20,00	18,50	34650	310	360	A
CMR-2271-X-7,5	1080		11,60	6,72	5,50	25500	100	310	A
CMR-2271-X-10	1200		14,20	8,20	7,50	28350	125	317	A
CMR-2271-X-15	1370		20,20	11,60	11,00	32350	165	355	A
CMR-2271-X-20	1540		27,50	15,90	15,00	36400	205	371	A
CMR-2271-X-25	1650		35,00	20,00	18,50	39000	235	410	B
CMR-2380-X-10	940		14,20	8,20	7,50	32250	105	442	A
CMR-2380-X-15	1060		20,20	11,60	11,00	36350	130	480	A
CMR-2380-X-20	1200		27,50	15,90	15,00	41150	170	496	B
CMR-2380-X-25	1290		35,00	20,00	18,50	44250	195	535	B
CMR-2380-X-30	1370		42,00	24,00	22,00	46950	220	558	B
CMR-2590-X-20	1130		27,50	15,90	15,00	48250	170	681	B
CMR-2590-X-25	1200		35,00	20,00	18,50	51250	190	720	B
CMR-2590-X-30	1280		42,00	24,00	22,00	54700	220	743	B
CMR-2590-X-40	1430		55,00	32,00	30,00	61100	270	793	B
CMR-2590-X-50	1520		69,20	40,10	37,00	64950	310	910	B
CMR-2590-X-60	1630		81,00	47,00	45,00	69650	355	942	B
CMR-28100-X-30	1050		42,00	24,00	22,00	63500	185	1152	B
CMR-28100-X-40	1165		55,00	32,00	30,00	70450	230	1202	B
CMR-28100-X-50	1250		69,20	40,10	37,00	75600	260	1319	B
CMR-28100-X-60	1340		81,00	47,00	45,00	81050	300	1351	B
CMR-28100-X-75	1430		99,00	57,00	55,00	86500	345	1429	B
CMR-28100-X-100	1525		133,00	77,00	75,00	92250	390	1704	B
CMR-25112-X-30	880		42,00	24,00	22,00	73900	165	933	B
CMR-25112-X-40	970		55,00	32,00	30,00	81500	200	983	B
CMR-25112-X-50	1040		69,20	40,10	37,00	87350	230	1100	B
CMR-25112-X-60	1110		81,00	47,00	45,00	93250	265	1132	B
CMR-25112-X-75	1180		99,00	57,00	55,00	99100	295	1210	B
CMR-25112-X-100	1310		133,00	77,00	75,00	110050	365	1485	B

## Barra de Acero Inoxidable

Cuadrada, redonda y hexagonal.

Laminada en caliente o estirada en frío.



### Tipos AISI

Cuadrada: 304, y 316.

Hexagonal: 303, y 316.

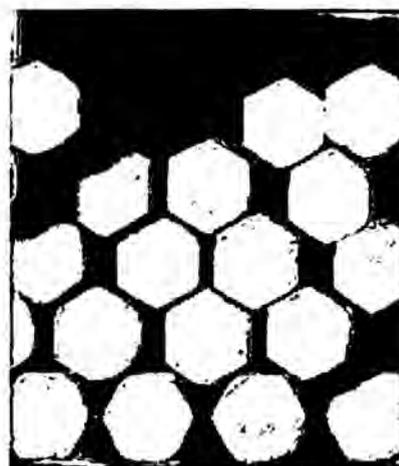
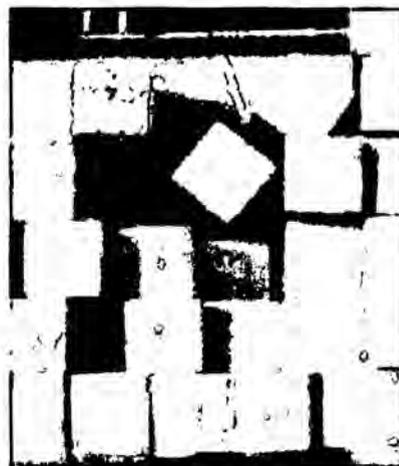
Redonda: 303, 304, 316, y 416.

### Norma

ASTM A-276, A-262, A-582

### Medidas y Pesos

Medidas		Peso aproximado por metro lineal		
mm	Pulg.	Redonda	Cuadrada	Hexagonal
3.2	1/8	0.185	--	--
4.8	3/16	0.140	--	--
6.4	1/4	0.248	0.316	0.274
7.9	5/16	0.388	0.496	0.428
9.5	3/8	0.559	0.712	0.616
11.1	7/16	0.761	0.964	0.839
12.7	1/2	0.994	1.265	1.096
14.3	9/16	1.257	1.601	1.387
15.9	5/8	1.552	1.976	1.712
17.5	11/16	1.878	2.393	2.072
19.0	3/4	2.235	2.847	2.465
20.6	13/16	2.624	3.341	2.893
22.2	7/8	3.042	3.874	3.355
23.8	15/16	3.493	4.449	3.852
25.4	1	3.974	5.060	4.383
27.0	1 1/16	4.486	--	4.947
28.6	1 1/8	5.029	6.404	5.547
30.2	1 3/16	5.605	--	6.179
31.8	1 1/4	6.211	7.906	6.848
33.3	1 5/16	6.846	--	7.549
34.9	1 3/8	7.470	9.567	8.285
36.6	1 7/16	8.212	10.460	--
38.1	1 1/2	8.942	11.390	9.860
41.3	1 5/8	10.494	--	11.570
42.9	1 11/16	11.320	14.410	--
44.4	1 3/4	12.170	15.400	13.420
47.6	1 7/8	13.970	--	15.400
49.2	1 15/16	14.910	18.990	--
50.8	2	15.900	20.240	17.530
54.0	2 1/8	17.950	--	--
57.2	2 1/4	20.120	25.630	22.190
60.3	2 3/8	22.430	--	24.720
63.5	2 1/2	24.840	--	27.380
66.7	2 5/8	27.380	--	30.200
69.9	2 3/4	30.060	--	33.140
73.0	2 7/8	32.850	--	36.230
76.2	3	35.760	--	39.440
79.4	3 1/8	38.810	--	--
82.6	3 1/4	41.970	--	--
85.7	3 3/8	45.270	--	--
88.9	3 1/2	48.680	--	--
95.2	3 3/4	55.900	--	--
101.6	4	63.600	--	--
107.9	4 1/4	71.800	--	--
114.3	4 1/2	80.470	--	--
127.0	5	99.360	--	--
139.7	5 1/2	120.210	--	--
152.4	6	143.100	--	--
177.8	7	194.800	--	--
203.2	8	254.500	--	--



Nota: Aleaciones, medidas y acabados no listados se cotizan sobre requerimiento.

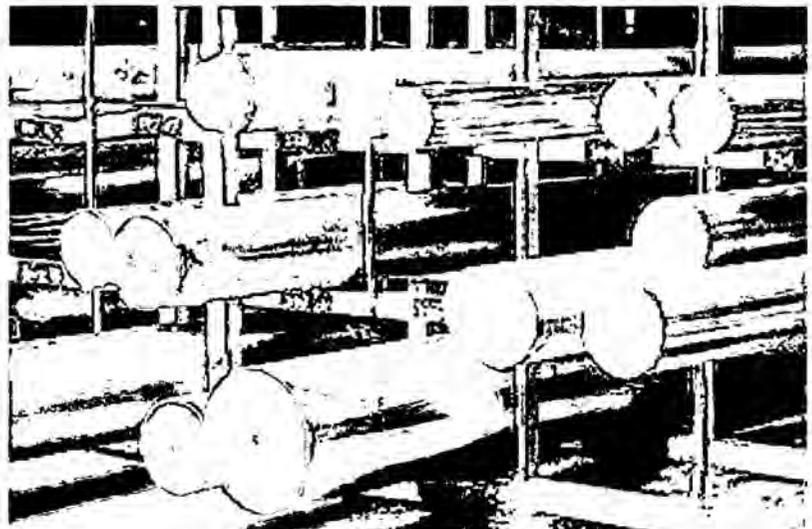
**Tolerancias para barras redondas**  
Valores en milímetros (+ 0 - Tabla)

Diámetro	ISO h 6	DIN 59361	ISO h 7	DIN 59360	ISO h 8	DIN 670
1.6 a 2	-0.007	--	-0.009	--	-0.014	-0.014
2 a 3	-0.007	-0.006	-0.009	-0.010	-0.014	-0.014
3 a 5	-0.008	-0.008	-0.012	-0.012	-0.018	-0.018
5 a 6	-0.008	-0.008	-0.012	-0.012	-0.018	-0.018
6 a 10	-0.009	-0.009	-0.015	-0.015	-0.022	-0.022
10 a 18	-0.011	-0.011	-0.018	-0.018	-0.027	-0.027
18 a 30	-0.013	-0.013	-0.021	-0.021	-0.033	-0.033
30 a 50	-0.016	-0.016	-0.025	-0.025	-0.039	-0.039
50 a 80	-0.019	-0.019	-0.030	-0.030	-0.046	-0.046
80 a 120	-0.022	--	-0.035	--	0.054	-0.054

Diámetro	ISO h 9	DIN 671	DIN 175	DIN 669	ISO h 10	ISO h 11	DIN 668
1.6 a 2	-0.025	-0.025	-0.025	--	-0.040	-0.060	-0.060
2 a 3	-0.025	-0.025	-0.025	--	-0.040	-0.060	-0.060
3 a 5	-0.030	-0.030	-0.025	--	-0.048	-0.075	-0.075
5 a 6	-0.030	-0.030	-0.025	-0.030	-0.048	-0.075	-0.075
6 a 10	-0.036	-0.036	-0.036	-0.036	-0.058	-0.090	-0.090
10 a 18	-0.043	-0.043	-0.043	-0.043	-0.070	-0.110	-0.110
18 a 30	-0.052	-0.052	-0.052	-0.052	-0.084	-0.130	-0.130
30 a 50	-0.074	-0.074	--	-0.074	-0.100	-0.160	-0.160
50 a 80	-0.074	-0.074	--	-0.074	-0.120	-0.190	-0.190
80 a 120	-0.087	-0.087	--	-0.087	0.140	-0.220	-0.220

**Tolerancias para barras  
cuadradas y hexagonales**

Medidas Nominales	DIN 176 DIN 178 h11
3.01 a 6.00 mm 1/8" a < 1/4"	-- --
6.01 a 10.00 mm 1/4" a < 13/32"	+ 0.000 - 0.090
10.01 a 18.00 mm 13/32" a < 23/32"	+ 0.000 - 0.110
18.01 a 30.00 mm 23/32" a < 1-3/16"	+ 0.000 - 0.130
30.01 a 50.00 mm > 1-3/16" a < 2"	+ 0.000 - 0.160
50.01 a 80.00 mm 2" a 3"	-- --



**PLANCHAS Y BOBINAS DE ACERO  
INOXIDABLE AISI 304 - 316****Descripción:**

Productos planos que se obtienen por laminación de planchones de aceros aleados al Cromo, Niquel con buena resistencia a la corrosión por agua, ácidos y soluciones alcalinas.

**Usos:**

Los aceros inoxidable de mayor uso son los Austeníticos

AISI	APLICACIONES
304	Tubos - Caldería - Menaje - Industria Alimentaria - Nuclear
316	Industria Textil - Alimentaria Química y Petroquímica

**PROPIEDADES MECANICAS**

NORMA TECNICA		F	R	A	NORMA EQUIVALENTE
		Kg/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	%	
ASTM 240	AISI 304	21	52	40	JIS 4304 (LAC) / JIS 4305 (LAF)
	AISI 304L	17	49	40	
	AISI 316	21	52	40	
	AISI 316L	17	49	40	

**COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO (%) MAX**

AISI	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
304	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	18.0 / 20.0	8.0 / 10.5	-----
304L	0.03	2.00	1.00	0.045	0.03	18.0 / 20.0	8.0 / 12.0	-----
316	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0 / 18.0	10.0 / 14.0	2.0 / 3.0
316L	0.03	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0 / 18.0	10.0 / 14.0	2.0 / 3.0

**ACABADO SUPERFICIAL**

ACABADO	DESCRIPCION
Nº 1	Laminado en caliente, recocido y decapado
2D	Laminado en frío, recocido y decapado (Acabado mate)
2B	Laminado en frío, recocido, decapado, un ligero Pase de Laminación o Skin Pass (Acabado brillante)
BA	Laminado en frío, recocido en atmósfera controlada

**www.aceroscomerciales.com.pe**

Sucursal Variante : (054) 449273, Móviles : Mov. 95-8524367, RPM: #800290

Sucursal Huanuco : (054) 453787, Móviles : Mov. 95-9929400, RPM: #935829

Sucursal Mariscal Castilla : (054) 451567, Móviles : Mov. 95-9515839, RPM: #624717

Sucursal Dolores : (054) 431054, Móviles : Mov. 95-9875000, RPM: #235041

Sucursal Socabaya : (054) 959929406, Móviles : Mov. 95-9929406, RPM: #935833



DIMENSIONES STANDARD Y PESOS

SISTEMA METRICO (mms)	TOLERANCIA ESPESOR +/- en mms	PESO TEORICO kg/pl	SISTEMA INGLES Espesor Equiv. (pulg)
3.0 x 1500 x 6000	0.32/0.32	211.95	1/8''
4.5 x 1500 x 6000	0.50 / 0.50	317.93	3/16''
6.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	423.90	1/4''
8.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	565.20	5/16''
8.0 x 2400 x 6000	0.8 / 0.3	904.32	5/16"
9.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	635.85	3/8''
9.0 x 2400 x 6000	0.8 / 0.3	1,017.36	3/8''
12.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	847.80	1/2''
12.0 x 2400 x 6000	0.9 / 0.3	1,356.48	1/2''
16.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	1,130.40	5/8''
16.0 x 2400 x 6000	0.9 / 0.3	1,808.64	5/8''
20.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	1,413.00	3/4''
20.0 x 2400 x 6000	1.0 / 0.3	2,260.80	3/4''
25.0 x 1500 x 6000	1.0 / 0.3	1,766.25	1''
25.0 x 2400 x 6000	1.2 / 0.3	2,826.00	1''
32.0 x 1500 x 6000	1.3 / 0.3	2,260.80	1 1/4"
32.0 x 2400 x 6000	1.5 / 0.3	3,617.28	1 1/4"
38.0 x 1500 x 6000	1.5 / 0.3	2,684.70	1 1/2"
38.0 x 2400 x 6000	1.7 / 0.3	4,295.52	1 1/2"
50.0 x 1500 x 6000	1.8 / 0.3	3,532.50	2"
50.0 x 2400 x 6000	2.0 / 0.3	5,652.00	2"
63.0 x 1500 x 6000	2.3 / 0.3	4,450.95	2 1/2"
63.0 x 2400 x 6000	2.8 / 0.3	7,121.52	2 1/2"
75.0 x 1500 x 6000	2.5 / 0.3	5,298.75	3''
75.0 x 2400 x 6000	3.0 / 0.3	8,478.00	3''
100.0 x 1500 x 6000	3.3 / 0.3	7,065.00	4"
100.0 x 2400 x 6000	3.8 / 0.3	11,304.00	4"

NOTA.- También disponibles Planchas en formatos:

\* 1200 x 2400 \* 2455 x 6000 \* 3000 x 6000

Tolerancia según ASTM-A6

[www.aceroscomerciales.com.pe](http://www.aceroscomerciales.com.pe)

Sucursal Variante : (054) 449273, Moviles : Mov. 95-8524367, RPM: #800290

Sucursal Huanuco : (054) 453787, Moviles : Mov. 95-9929400, RPM: #935829

Sucursal Mariscal Castilla : (054) 451567, Moviles : Mov. 95-9515839, RPM: #624717

Sucursal Dolores : (054) 431054, Moviles : Mov. 95-9875000, RPM: #235041

Sucursal Socabaya : (054) 959929406, Moviles : Mov. 95-9929406, RPM: #935833

## Resistividad de algunos materiales y resistores

Material	$\rho, \Omega \cdot \text{m}$	$\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}, (^\circ\text{C})^{-1}$
Aluminio	$2.65 \times 10^{-8}$	0.0043
Cobre	$1.67 \times 10^{-8}$	0.0068
Hierro	$9.71 \times 10^{-8}$	0.0065
Niquel	$6.84 \times 10^{-8}$	0.0069
Oro	$2.35 \times 10^{-8}$	0.004
Plata	$1.59 \times 10^{-8}$	0.0041
Mercurio	$95.8 \times 10^{-8}$	0.0009
Tungsteno	$5.51 \times 10^{-8}$	0.0045
Constantán (Cu 60, Ni 40)	$49.0 \times 10^{-8}$	0.0000
Nicromo	$100.0 \times 10^{-8}$	0.0004
Germanio (puro)	0.46	-0.048
Germanio ( $5 \times 10^{-50}\%$ As)	0.011	
Grafito	$1.4 \times 10^{-5}$	
Solución (saturada) de NaCl	0.044	-0.005
Azúfre	$2 \times 10^{15}$	
Cuarzo ( $\text{SiO}_2$ )	$1 \times 10^{13}$	
Madera	$10^8$ - $10^{11}$	
Oxido de aluminio	$1 \times 10^{14}$	
Vidrio	$10^{10}$ - $10^{14}$	
Yodo	$1.3 \times 10^7$	

\* Datos obtenidos del *Handbook of Chemistry and Physics*, 58.ª ed., CRC Press, Inc., Cleveland, Ohio.

Tabla 1: Resistividad  $\rho$  y coeficiente de temperatura de la resistividad  $\alpha$  para algunos materiales a 20° C. Los materiales para los que  $\rho < 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$  son buenos conductores, los materiales para los que  $10^{-3} \Omega \cdot \text{m} < \rho < 1 \Omega \cdot \text{m}$  son conductores pobres (semiconductores), y los materiales para los que  $\rho > 10^6 \Omega \cdot \text{m}$  son buenos dieléctricos.

Type	Available range	Tolerance (%)	Temperature coefficient (%/°C)	Maximum power
Carbon composition	1 $\Omega$ to 22 M $\Omega$	5 to 20	0.1	2 W
Wirewound	1 $\Omega$ to 100 k $\Omega$	0.0005 up	0.0005	200 W
Metal film	0.1 to $10^{10} \Omega$	0.005 up	0.0001	1 W
Carbon film	10 $\Omega$ to 100 M $\Omega$	0.5 up	-0.015 to 0.05	2 W
Steel	0.1 to 1 $\Omega$	20		250 kW
Liquid ( $\text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3$ )	0.01 to 1 $\Omega$	20		>250 kW

Tabla 2: Características de varios tipos de resistores.

## E. Propiedades del aire

### E.1 Propiedades del aire a presión atmosférica

Las propiedades del aire para condiciones estándar a nivel del mar son las siguientes:

$T = 15^{\circ}\text{C}$   
 $P = 101.325 \text{ kPa}$   
 $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$   
 $\gamma = 12.01 \text{ N/m}^3$   
 $\mu = 1.789 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$   
 $\nu = 1.46 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Temperatura (°C)	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Peso específico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica $\mu$ (Pa·s) ó (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
-40	1.514	14.85	$1.51 \times 10^{-5}$	$9.98 \times 10^{-6}$
-30	1.452	14.24	$1.56 \times 10^{-5}$	$1.08 \times 10^{-5}$
-20	1.394	13.67	$1.62 \times 10^{-5}$	$1.16 \times 10^{-5}$
-10	1.341	13.15	$1.67 \times 10^{-5}$	$1.24 \times 10^{-5}$
0	1.292	12.67	$1.72 \times 10^{-5}$	$1.33 \times 10^{-5}$
10	1.247	12.23	$1.77 \times 10^{-5}$	$1.42 \times 10^{-5}$
20	1.204	11.81	$1.81 \times 10^{-5}$	$1.51 \times 10^{-5}$
30	1.164	11.42	$1.86 \times 10^{-5}$	$1.60 \times 10^{-5}$
40	1.127	11.05	$1.91 \times 10^{-5}$	$1.69 \times 10^{-5}$
50	1.092	10.71	$1.95 \times 10^{-5}$	$1.79 \times 10^{-5}$
60	1.060	10.39	$1.99 \times 10^{-5}$	$1.89 \times 10^{-5}$
70	1.029	10.09	$2.04 \times 10^{-5}$	$1.99 \times 10^{-5}$
80	0.9995	9.802	$2.09 \times 10^{-5}$	$2.09 \times 10^{-5}$
90	0.9720	9.532	$2.13 \times 10^{-5}$	$2.19 \times 10^{-5}$
100	0.9459	9.277	$2.17 \times 10^{-5}$	$2.30 \times 10^{-5}$
110	0.9213	9.034	$2.22 \times 10^{-5}$	$2.40 \times 10^{-5}$
120	0.8978	8.805	$2.26 \times 10^{-5}$	$2.51 \times 10^{-5}$

### E.2 Propiedades de la atmósfera

Unidades S.I.				Sistema Británico de Unidades			
Altitud (m)	Temperatura (°C)	Presión (kPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Altitud (pies)	Temperatura (°F)	Presión (lb/pulg <sup>2</sup> )	Densidad (slugs/pie <sup>3</sup> )
0	15.00	101.3	1.225	0	59.00	14.696	$2.38 \times 10^{-3}$
200	13.70	98.9	1.202	500	57.22	14.433	$2.34 \times 10^{-3}$
400	12.40	96.6	1.179	1000	55.43	14.173	$2.25 \times 10^{-3}$
600	11.10	94.3	1.156	5000	41.17	12.227	$2.05 \times 10^{-3}$
800	9.80	92.1	1.134	10000	23.34	10.106	$1.76 \times 10^{-3}$
1000	8.50	89.9	1.112	15000	5.51	8.293	$1.50 \times 10^{-3}$
2000	2.00	79.5	1.007	20000	-12.62	6.753	$1.27 \times 10^{-3}$
3000	-4.49	70.1	0.9093	30000	-47.99	4.365	$8.89 \times 10^{-4}$
4000	-10.98	61.7	0.8194	40000	-69.70	2.720	$5.85 \times 10^{-4}$
5000	-17.47	54.0	0.7364	50000	-69.70	1.683	$3.62 \times 10^{-4}$
10000	-49.90	26.5	0.4135	60000	-69.70	1.040	$2.24 \times 10^{-4}$
15000	-56.50	12.11	0.1948	70000	-67.30	0.644	$1.38 \times 10^{-4}$
20000	-56.50	5.53	0.0889	80000	-61.81	0.400	$8.45 \times 10^{-5}$
25000	-51.60	2.55	0.0401	90000	-56.32	0.251	$5.22 \times 10^{-5}$
30000	-46.64	1.20	0.0184	100000	-50.84	0.158	$3.25 \times 10^{-5}$

# AISLANGLASS.

## Seguridad para las personas

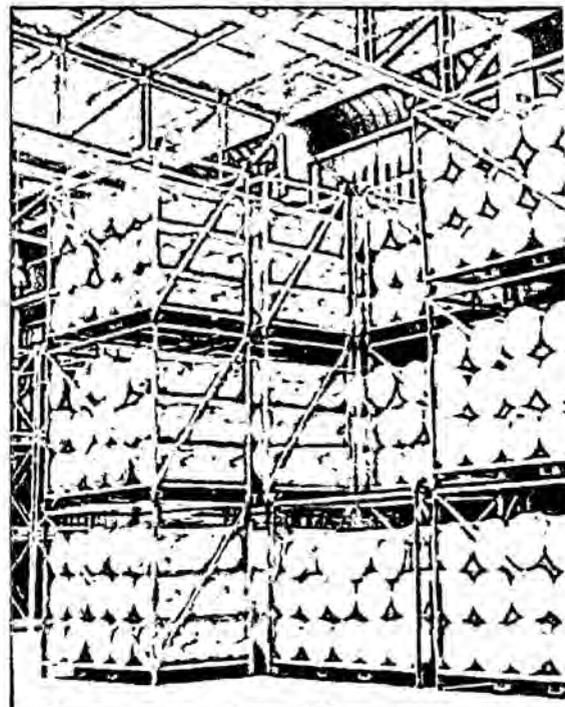
AislanGlass® no es inflamable ni combustible, no contribuye a la propagación del fuego y tampoco genera gases tóxicos, los cuales son nocivos para la salud.

## Durabilidad y confiabilidad

AislanGlass® es químicamente inerte, presenta alta estabilidad dimensional con el paso del tiempo (no se asienta), es imputrescible, no se ve afectada por la humedad y no es atacada por plagas como ratones, pájaros o insectos. Todo lo anterior hace que su capacidad de aislación térmica y acústica se mantenga inalterada con el paso del tiempo.

## Excelente trabajabilidad

AislanGlass® es liviano, fácil de cortar (con cuchillo cartonero), manipular y se amolda sin complicaciones a las irregularidades de las construcciones y superficies en donde se instala. Para su manipulación, se aconseja utilizar guantes de cuero o algodón, máscara respiratoria, lentes con escudos laterales y ropa con mangas largas.



## PRODUCTOS AISLANGLASS

### Rollo Libre

Rollo flexible sin revestimientos. Es un producto de lana de vidrio AislanGlass® que se entrega en forma de rollos, con un ancho de 0,60 m ó 1,20 m y de longitud que puede ser de hasta 20 metros (se pueden fabricar largos mayores a pedido). El material no lleva ningún tipo de recubrimiento y tiene una extraordinaria flexibilidad durante su instalación. Su gran longitud le permite minimizar el tiempo de instalación y reducir los puentes térmicos. Además, su envasado de alta compresión permite durante el transporte y manipulación un excelente comportamiento, evitando el deterioro del producto y logrando una disminución considerable de los costos de flete.

### Principales aplicaciones

Aislación de tabiques, cielos modulares y techumbres.



Tipo	Espesor (mm)	Ancho (m)	Largo (m)	R100
Rollo Libre	40	0,6 / 1,2	24	94
Rollo Libre	50	0,6 / 1,2	12	122
Rollo Libre (*)	50	0,6	10	122
Rollo Libre	60	0,6 / 1,2	12	141
Rollo Libre	80	0,6 / 1,2	9,6	188
Rollo Libre (*)	80	0,6	8,3	188
Rollo Libre	100	0,6 / 1,2	7,5	235
Rollo Libre	120	0,6 / 1,2	7,5	282
Rollo Libre	140	1,2	5,5	329
Rollo Libre	160	1,2	5,5	376

Los rollos de 0,6 m de ancho se venden en 2 unidades por paquete.

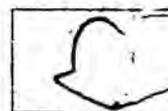
Los rollos de 1,2 m de ancho se venden en 1 unidad por bolsa.  
(\*) Presentación de 1 unidad por paquete.

### Rollo Papel Una Cara

Rollo flexible con papel kraft como soporte mecánico y barrera al vapor por una de sus caras. Es un rollo libre, al que se le adh una de sus caras un recubrimiento en base a papel kraft. La ad es permanente y resistente a los esfuerzos mecánicos apl durante su instalación. Además, gracias al delgado film de poli fundido en la zona de contacto de la lana y el papel, sus índ permeancia al vapor de agua son muy bajos, lo que le ot excelentes propiedades como barrera al vapor. En estos ca papel enfrenta el ambiente de mayor temperatura. Además recubrimiento mejora la autosustentación del producto en las solu constructivas en que se utiliza.

### Principales aplicaciones

Aislación de tabiques, cielos modulares, techumbres y muros perimetrales.



Tipo	Espesor (mm)	Ancho (m)	Largo (m)	R100
Rollo Papel 1 Cara	40	1,2	24	94
Rollo Papel 1 Cara	50	1,2	12	122
Rollo Papel 1 Cara	60	1,2	12	141
Rollo Papel 1 Cara	80	1,2	9,6	188
Rollo Papel 1 Cara	100	1,2	7,5	235
Rollo Papel 1 Cara	120	1,2	7,5	282
Rollo Papel 1 Cara	140	1,2	5,5	329
Rollo Papel 1 Cara	160	1,2	5,5	376

Los rollos se venden en 1 unidad por paquete.