



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“REDISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE  
HARINA DE SANGRE EN EL CAMAL DEL GOBIERNO AUTÓNOMO  
DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN RIOBAMBA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES: YESLIE ANDREI VARGAS TIERRAS**

**JORGE DAVID LÓPEZ ALVARRASÍN**

**TUTOR: Ing. HANNIBAL BRITO MOINA PhD**

Riobamba-Ecuador  
2018

**©2018 Jorge David López Alvarrasín, Yeslie Andrei Vargas Tierras**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del trabajo de titulación, certifica que: El trabajo de investigación: Tipo Proyecto Técnico “REDISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE SANGRE EN EL CAMAL DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN RIOBAMBA”, de responsabilidad de los señores Jorge David López Alvarrasín y Yeslie Andrei Vargas Tierras, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Hannibal Brito Moina PhD.  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Mayra Zambrano  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Yeslie Andrei Vargas Tierras y Jorge David López Alvarrasín, declaramos que el Trabajo de Titulación tipo Proyecto Técnico denominado: “REDISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE SANGRE EN EL CAMAL DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN RIOBAMBA” es original y de nuestra autoría personal tanto resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

En tal virtud, declaramos que el contenido es de nuestra responsabilidad legal y académica presentes en el trabajo de titulación.

Riobamba, 16 de marzo de 2018

-----  
Yeslie Andrei Vargas Tierras  
Cedula de identidad: 060470115-1

-----  
Jorge David López Alvarrasín  
Cedula de identidad: 230020286-4

Nosotros, Yeslie Andrei Vargas Tierras y Jorge David López Alvarrasín, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Jorge David López Alvarrasín  
Cedula de identidad: 230020286-4

Yeslie Andrei Vargas Tierras  
Cedula de identidad: 060470115-1

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a todos los ingenieros que han sido nuestros mentores durante nuestra formación académica por sus conocimientos compartidos, su ayuda y sus consejos. A nuestros padres por brindarnos su apoyo en nuestros momentos de alegría y tristeza.

## TABLA DE CONTENIDOS

	Pp.
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	16
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>18</b>
1.1. Identificación del problema .....	18
1.2. Justificación del proyecto.....	19
1.3. Línea base del proyecto.....	20
1.3.1. <i>Antecedentes de la Empresa</i> .....	20
1.3.2. <i>Marco conceptual</i> .....	21
1.3.2.1. <i>Subproductos cárnicos de bovinos</i> .....	21
1.3.2.2. <i>Secado</i> .....	30
1.3.2.3. <i>Automatización</i> .....	51
1.3.2.4. <i>Simulación del proceso</i> .....	55
1.3.2.5. <i>Descripción del proceso</i> .....	58
1.3.2.6. <i>Rediseño de la fábrica de harina de sangre</i> .....	64
1.4. <b>Beneficiarios directos e indirectos</b> .....	<b>72</b>
1.4.1. <i>Directos</i> .....	72
1.4.2. <i>Indirectos</i> .....	72
<b>CAPITULO II</b>	
<b>2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....</b>	<b>73</b>
2.1. <b>General</b> .....	<b>73</b>
2.2. <b>Específicos</b> .....	<b>73</b>
<b>CAPITULO III</b>	
<b>3. ESTUDIO TÉCNICO.....</b>	<b>74</b>
3.1. <b>Localización del proyecto</b> .....	<b>74</b>
3.2. <b>Ingeniería del proyecto</b> .....	<b>75</b>
3.2.1. <i>Tipo de estudio</i> .....	75

3.2.2.	<b>Métodos y técnicas</b> .....	75
3.2.2.1.	<i>Métodos</i> .....	75
3.2.2.2.	<i>Técnicas</i> .....	76
3.2.3.	<b>Parte experimental</b> .....	82
3.2.3.1.	<i>Muestreo</i> .....	82
3.2.3.2.	<i>Equipos, Materiales y Reactivos</i> .....	82
3.2.4.	<b>Datos experimentales</b> .....	83
3.2.4.1.	<i>Datos de temperatura</i> .....	83
3.2.4.2.	<i>Datos de humedad relativa</i> .....	83
3.2.4.3.	<i>Datos del proceso de secado</i> .....	84
3.2.4.4.	<i>Datos de la caracterización físico-química y microbiológica de la harina de sangre</i> .....	85
3.2.4.5.	<i>Determinación experimental de la velocidad de secado</i> .....	86
3.3.	<b>Cálculos</b> .....	88
3.3.1.	<i>Cálculos de la situación actual de la fábrica de harina de sangre</i> .....	88
3.3.2.	<i>Cálculos para el rediseño de la planta de harina de sangre</i> .....	94
3.3.2.1.	<i>Balance de masa y energía para el rediseño</i> .....	95
3.4.	<b>Resultados</b> .....	98
3.4.1.	<i>Resultados del dimensionamiento para el rediseño del sistema propuesto</i> .....	98
3.4.2.	<i>Comparación de los resultados actuales y los resultados que se obtendrán con el rediseño</i> .....	99
3.5.	<b>Simulación del proceso</b> .....	100
3.6.	<b>Propuesta del rediseño de la fábrica de harina de sangre del Camal</b> .....	103
3.7.	<b>Análisis de costo/ beneficio del proyecto</b> .....	104
3.7.1.	<i>Requerimiento de materiales y equipos para el rediseño del secador de la fábrica de harina de sangre</i> .....	105
3.7.2.	<i>Especificaciones de los dispositivos</i> .....	106
3.7.3.	<i>Descripción de las áreas</i> .....	108
3.8.	<b>Cronograma del proyecto</b> .....	109
3.9.	<b>Análisis de resultados</b> .....	110
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	111
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	112
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pp.
<b>Tabla 1-1:</b> Composición de las sustancias sólidas en la sangre.....	22
<b>Tabla 2-1:</b> Composición del plasma y glóbulos rojos.....	22
<b>Tabla 3-1:</b> Cantidad de sangre recogida en litros.....	23
<b>Tabla 4-1:</b> Ficha técnica del Cooker.....	25
<b>Tabla 5-1:</b> Ficha técnica del tanque de almacenamiento.....	25
<b>Tabla 6-1:</b> Análisis bromatológico de la harina de sangre.....	27
<b>Tabla 7-1:</b> Análisis de elementos químicos presentes en la harina de sangre.....	27
<b>Tabla 8-1:</b> Diferencia entre calidades de harina según el tipo de secado.....	29
<b>Tabla 9-1:</b> Composición química de la sangre de bovinos.....	29
<b>Tabla 10-1:</b> Comportamiento del faenamiento actual en el Camal de Riobamba.....	63
<b>Tabla 1-3:</b> Coordenadas geográficas.....	74
<b>Tabla 2-3:</b> Técnica de muestreo.....	76
<b>Tabla 3-3:</b> Técnica para determinación de humedad.....	77
<b>Tabla 4-3:</b> Técnica para determinación de grasa.....	77
<b>Tabla 5-3:</b> Técnica para determinación de ceniza.....	79
<b>Tabla 6-3:</b> Técnica para determinación de proteína.....	80
<b>Tabla 7-3:</b> Planificación del Muestreo realizado.....	82
<b>Tabla 8-3:</b> Muestreo y recolección de información.....	83
<b>Tabla 9-3:</b> Materiales y equipos para el secado de la harina de sangre.....	83
<b>Tabla 10-3:</b> Registro de datos de temperatura y humedad relativa.....	84
<b>Tabla 11-3:</b> Peso de bandejas vacías.....	84
<b>Tabla 12-3:</b> Reporte de pesos.....	84
<b>Tabla 13-3:</b> Comparación de la caracterización de la harina de sangre seca en el Camal con la norma mexicana.....	85
<b>Tabla 14-3:</b> Valores permisibles en la harina de sangre según norma mexicana.....	86
<b>Tabla 15-3:</b> Velocidad de secado experimental de la muestra 1.....	86
<b>Tabla 16-3:</b> Velocidad de secado experimental de la muestra 2.....	87
<b>Tabla 17-3:</b> Velocidad de secado experimental de la muestra 3.....	87
<b>Tabla 18-3:</b> Resultado del balance del estado actual en el secador.....	99
<b>Tabla 19-3:</b> Resultado del balance esperados para el rediseño en el secador.....	99
<b>Tabla 20-3:</b> Comparación de resultados de la harina de sangre.....	99
<b>Tabla 21-3:</b> Resultados de la simulación.....	103
<b>Tabla 22-3:</b> Costos de los materiales necesarios para el rediseño.....	104

<b>Tabla 23-3:</b> Consumo energético anual con la configuración actual del secador .....	105
<b>Tabla 24-3:</b> Consumo energético anual previsto después del rediseño del secador.....	105
<b>Tabla 25-3:</b> Equipos para el rediseño del secador.....	106
<b>Tabla 26-3:</b> Especificaciones del controlador de temperatura .....	106
<b>Tabla 27-3:</b> Especificaciones del controlador de tiempo .....	107
<b>Tabla 28-3:</b> Especificaciones de la resistencia eléctrica tubular lisa para aire.....	107
<b>Tabla 29-3:</b> Especificaciones de la termorresistencia RTD .....	108
<b>Tabla 30-3:</b> Cronograma de actividades desarrolladas .....	109

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pp.
<b>Gráfico 1-3:</b> Curva de humedad en función del tiempo .....	88
<b>Gráfico 2-3:</b> Curva de velocidad media de secado en función de la humedad media.....	88
<b>Gráfico 3-3:</b> Comparación de harina de sangre en base a la humedad .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pp.
<b>Figura 1-1:</b> Curva de equilibrio de humedad en el diagrama de fases.....	35
<b>Figura 2-1:</b> Curva de secado $X=f(\theta)$ .....	37
<b>Figura 3-1:</b> Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre .....	38
<b>Figura 4-1:</b> Representación gráfica de los datos del secado poscrítico.....	45
<b>Figura 5-1:</b> Diagrama de flujos de gas y sólido en un secador continuo .....	50
<b>Figura 6-1:</b> Esquema de un proceso automatizado .....	52
<b>Figura 7-1:</b> Sistema de control del equipo .....	53
<b>Figura 8-3:</b> Circuito de control del equipo.....	53
<b>Figura 9-1:</b> Diagrama de un sistema On-Off .....	54
<b>Figura 10-1:</b> Circuito de un sistema de control PID .....	55
<b>Figura 11-1:</b> Diagrama de elaboración de harina de sangre .....	59
<b>Figura 1-3:</b> Ubicación satelital del Camal Municipal de Riobamba.....	74
<b>Figura 2-3:</b> Diagrama de entradas y salidas de material .....	89
<b>Figura 3-3:</b> Diagrama de entradas y salidas de material .....	91
<b>Figura 4-3:</b> Diagrama de entradas y salidas de material .....	95
<b>Figura 5-3:</b> Pantalla del diagrama de flujo del proceso .....	101
<b>Figura 6-3:</b> Diseño matemático del cooker en MS Excel .....	101
<b>Figura 7-3:</b> Diseño matemático del secador en MS Excel.....	102
<b>Figura 8-3:</b> Resultados de la simulación matemática del cooker.....	102
<b>Figura 9-3:</b> Resultados de la simulación matemática del secador .....	103

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Reporte de análisis de la harina de sangre actual
- ANEXO B:** Reporte de análisis de la harina de sangre del secador de bandejas
- ANEXO C:** Inducción de la fábrica de harina de sangre
- ANEXO D:** Inducción fábrica harina de sangre
- ANEXO E:** Reconocimiento de los equipos
- ANEXO F:** Reconocimiento de la fábrica de harina de sangre
- ANEXO G:** Pruebas de secado
- ANEXO H:** Análisis de la humedad de la harina de sangre
- ANEXO I:** Análisis de grasa de la harina de sangre
- ANEXO J:** Sensor de temperatura para el secador
- ANEXO K:** Temporizador para el secador
- ANEXO L:** Planos de la fábrica de harina de sangre rediseñada

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo rediseñar y simular el proceso de obtención de harina de sangre en el Camal del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Riobamba. Para el rediseño inicialmente se realizó un diagnóstico del proceso actual de elaboración de harina de sangre. En base al análisis proximal se determinó que el principal problema es el alto contenido de humedad del producto final que alcanza un valor de 29,23%, encontrándose por encima del valor mínimo permitido en la Norma Mexicana de Harina de Sangre usada como referencia. Para alcanzar la humedad adecuada se realizaron pruebas piloto en el laboratorio, donde se generaron curvas de velocidad de secado en condiciones de 88°C de temperatura de secado y 67% de humedad relativa del ambiente; con lo cual, el tiempo adecuado fue de 4 horas para que el producto obtenga una humedad del 8% valor recomendado por la norma. Para corroborar los resultados obtenidos se realizó la simulación matemática en Excel, dándose los resultados de balance de masa y energía óptimos para el proceso. Se concluye que, para alcanzar las características deseadas del producto final, el rediseño se realizará en el secador usado actualmente en el proceso; para ello, se implementará una resistencia eléctrica tubular lisa que provea mayor temperatura, además de: un sensor de temperatura (Termorresistencia RTD) y su respectivo controlador (PID-ON/OFF) encargados de mantener la temperatura estable durante el secado y un controlador de tiempo para el apagado automático del equipo. Se recomienda aplicar el rediseño ya que es factible técnica y económicamente, lo cual ayudará a reducir los costos de operación generados a la empresa.

**PALABRAS CLAVE:** < INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, < REDISEÑO DEL PROCESO>, <SIMULACIÓN DE PROCESOS>, <OPERACIONES UNITARIAS>, <HARINA DE SANGRE>, < ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO>

## **ABSTRACT**

The objective of the present work is to redesign and simulate the process of obtaining blood flour in the Channel of the Municipal Decentralized Autonomous Government of Riobamba Canton. For the redesign a diagnosis was made of the current process of elaboration of blood flour. Based on the proximal analysis it was determined that the main problem is the high moisture content of the final product that reaches a value of 29.23%, being above the minimum value allowed in the Mexican Standards for Blood Flour used as reference. To reach the adequate humidity, pilot tests were carried out in the laboratory, where curves of drying speed were generated in conditions of 88 ° C of drying temperature and 67% of relative humidity of the environment; in which, the appropriate time was 4 hours for the product to obtain a humidity of 8% value recommended by the standards. To corroborate the results obtained, the mathematical simulation was done in Excel, obtaining the results of optimal mass and energy balance for the process. It is concluded that, in order to achieve the desired characteristics of the final product , the redesign will be carried out in the dryer which is currently being used in the process; for this purpose, a smooth tubular electric resistance that provides higher temperature will be implemented, in addition to: a temperature sensor (Thermoresistance RTD) and its controller (PID-ON / OFF) responsible for maintaining the stable temperature during drying and a time controller for the automatic shutdown of the equipment. It is recommended to apply the redesign since it is feasible technically and economically, which will help reducing the operating costs generated to the company.

**KEY WORDS:** <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, < PROCESS REDESIGN> <SIMULATION OF PROCESSES>, <UNIT OPERATIONS>, <BLOOD FLOUR>, <PHYSICAL-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL ANALYSIS>

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador existe 200 mataderos localizados, en su mayoría estos son administrados por los municipios de la localidad, éstos se encuentran ubicados en áreas urbanas, semiurbanas y rurales. En la actualidad la sangre de animales proveniente del faenamiento en los camales se la considera como un desecho agroindustrial, la misma que se desecha inadecuadamente sin tratamiento previo (Jara, y otros, 2004).

La mayoría de camales vierte los residuos sólidos y líquidos provenientes de la actividad de faenamiento, en el drenaje o cuerpos hídricos. Esta situación representa un gran daño ambiental y un desperdicio de recursos que pueden ser reutilizados y ser considerados como subproductos de matanza (Brito, 2016).

El camal de Riobamba para disminuir este foco de contaminación implementó una Fábrica, la misma que es específica para procesar sangre y convertirla en harina. El producto obtenido a más de generar beneficio económico a la empresa también ayuda a disminuir la contaminación que se generaba en alcantarillados y por ende al río Chambo (Moreta Sánchez, 2012).

El proyecto tiene como finalidad el rediseño y simulación de la fábrica de harina de sangre ya que el producto que se obtiene no posee las características adecuadas para expenderlo y utilizarlo como materia prima para elaboración de otros productos. Se planteará una alternativa viable para así obtener una harina con las exigencias requeridas, bajo normas de calidad establecidas, es decir, se dotará al camal de un sistema óptimo y adecuado para obtener este tipo de resultados, dando así, a la harina un alto contenido proteico y con una humedad deseable.

La harina de sangre pasa por un proceso de secado que es una de las aplicaciones energéticas más antiguas y en la actualidad tiene vigencia por la aplicación de varios criterios entre los cuales encontramos métodos, sistemas y tecnologías modernas de la teoría de secado, transformaciones que se producen en el proceso y el control de calidad del producto obtenido, es por esto que el Secado es una operación Unitaria que tiene un gran valor en la economía en la industria mundial (Brito, 2001).

La materia prima que se utilizada es la sangre de bovinos que se generada en el proceso de faenamiento en el Camal de Riobamba, ésta se encuentra disponible sin costo alguno una vez finalizado el faenamiento del ganado. La sangre tiene un especial interés por sus propiedades ya que se presta para la elaboración de subproductos alimenticios complementarios para balanceados de aves, piscicultores y abonos orgánicos. Por lo que es necesario realizar una caracterización física, química y microbiológica de la harina se sangre (Moreta Sánchez, 2012).



Este trabajo tiene gran importancia ya que es necesario asegurar que el producto posea la calidad adecuada, por eso se analizaron variables externas e internas que afectan al proceso en general, es por eso que es importante poseer el conocimiento teórico técnico, el mismo que permita realizar un rediseño para disminuir el porcentaje de humedad inicial de 29,23% hasta un rango de humedad final del 8- 10% óptimos para una harina de calidad. Con la recopilación de datos se pretende dar solución al problema que presenta el secador de la fábrica.

Es importante mencionar que el análisis minucioso ha permitido desarrollar y fortalecer las destrezas para rediseñar el proceso de forma práctica, el mismo que ayudará a disminuir pérdidas ocasionadas por mal funcionamiento. Con este estudio y en base a cálculos de ingeniería se podrá optimizar la eficiencia del proceso, de esta manera se brindará al consumidor un producto de mejor calidad.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1. Identificación del problema

El Camal del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Riobamba se encuentra al servicio de la comunidad por 40 años de manera continua, en el cual se realiza el faenamiento de ganado bovino, porcino y ovino. Cabe mencionar que el Camal instaló una fábrica de Harina de Sangre en los meses de agosto-septiembre del 2004 por lo que el proceso lleva un funcionamiento de 14 años aproximadamente (Moreta Sánchez, 2012).

El objetivo principal de la implementación de la fábrica es evitar la contaminación del río Chambo, así como también mejorar los ingresos, la fábrica ha pasado las pruebas y en este momento trabaja en la elaboración de harina de sangre para comercializarla a diferentes empresas del país (Jara, y otros, 2004).

En este contexto, el proyecto consiste en el rediseño y la simulación del proceso de obtención de Harina de Sangre del Camal del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) del cantón Riobamba; debido a que este presenta problemas en lo que respecta a una calidad inadecuada en la harina de sangre que es procesada dentro de las instalaciones. Se realizará una evaluación inicial en todo el proceso para identificar posibles fallas, posteriormente se analizarán los datos recabados para proceder a determinar los cambios más adecuados. Estas adecuaciones deberán cumplir con las normas establecidas en el país y acorde a los requerimientos establecidos por parte del camal del GADM de Riobamba.

Cabe recalcar que la problemática presente en el camal del GADM de Riobamba es la baja eficiencia del actual proceso de obtención de harina de sangre, por lo que es de relevancia un rediseño que permita aprovechar de mejor manera los recursos, reduciendo los impactos ambientales en el sector donde está ubicada la planta, así como también una posible disminución de costos de operación.

## 1.2. Justificación del proyecto

Las costumbres alimenticias en Ecuador y sus sistemas de comercialización del ganado que es sacrificado inciden directamente en la generación de subproductos. En el camal del GADM de Riobamba uno de los subproductos que obtienen en gran cantidad es la sangre, cerca del 70% de esta proviene del sacrificio de bovinos por lo cual es procesada para convertirla en harina de sangre. Actualmente se hace mucho énfasis en manejar los aspectos ambientales, sociales y económicos en las actividades productivas, siendo una necesidad en aquellas que ofrecen servicios a la sociedad como lo es la producción de carne (Moreta Sánchez, 2012).

Como medida para reducir las descargas líquidas hacia las alcantarillas y aprovechar en cierta medida los subproductos que se generan, el camal del GADM de Riobamba implementó una fábrica de harina de sangre la cual ha experimentado una disminución en la eficiencia de operación, aun cuando se han implementado nuevos equipos y se ha procedido a estandarizar los procedimientos de operación. Los problemas particulares que han podido identificar están relacionados con la producción y conducción de calor, el secado y tamizado del producto final (harina de sangre) (Jara, y otros, 2004).

Para el rediseño de la fábrica es necesario considerar varios puntos como: tiempo de vida útil del rediseño propuesto, factores de contaminación, insumos y reactivos utilizados en la elaboración del producto, tiempo de secado actual en la empresa, humedad del producto final, condiciones actuales de los equipos. Estos puntos son las razones que motivan al rediseño ya que se debe mejorar la calidad del producto para obtener beneficio económico una vez se haya optimizado el proceso.

Actualmente la fábrica de harina de sangre tiene una producción entre 600-680 Kg por semana, ya que al momento de procesar la sangre y convertirla en harina el tiempo que demanda es elevado, es por esto que existen pérdidas que no están ayudando al beneficio económico de la empresa. Se debe mencionar también que la calidad del producto es muy baja, y los factores que afectan la misma son motivo de investigación del proyecto. Es necesario el rediseño ya que la planta no se encuentra en las mejores condiciones, es decir, los equipos con el tiempo van perdiendo su eficiencia por ende un mantenimiento adecuado ayudará a mantenerlos en óptimas condiciones, además que no poseen datos iniciales de diseño por lo que dificulta un análisis adecuado (Moreta Sánchez, 2012).

Si se mejora el proceso especialmente en el secado, la fábrica podrá buscar alternativas en los productos. Una vez ajustando las variables que afectan el proceso como temperatura, tiempo y presión el volumen de producción incrementará y el producto que se obtendrá tendrá mejor

calidad, y que cumpla con requerimientos físicos, químicos y microbiológicos para elaborar productos como balanceados y fertilizantes.

Por las características propias de esta actividad es necesario la identificación y corrección de las posibles fallas que presenta el proceso para así poder cumplir con los aspectos legales y ambientales para que vaya en beneficio de la comunidad y de la administración del camal del GADM de Riobamba.

### **1.3. Línea base del proyecto**

#### ***1.3.1. Antecedentes de la Empresa***

El proyecto tuvo lugar en el Camal del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de la ciudad de Riobamba que se encuentra ubicado entre las calles Av. Leopoldo Freire y Circunvalación, provincia de Chimborazo, a una altura de 2740 m. s. n. m. con una latitud de 01 ° 38' S y una longitud de 78° 40' W (Moreta Sánchez, 2012).

Hace 40 años, el Camal del GADM de Riobamba trabaja ininterrumpidamente en beneficio de la comunidad, por lo que favorece a varias familias que están vinculadas directa e indirectamente a los diferentes procesos, como: comerciantes formales e informales, faenadores, estibadores, transportistas de carne y semovientes locales e Inter cantonales, expendedores de alimentos preparados, tercenistas, entre otros (Cevallos, 2004).

El camal trabaja respetando todas las normas de higiene y salubridad, ofrece a la ciudadanía servicios de recepción de animales de corral en reposo, custodio de animales hasta el faenamiento, inspección sanitaria ante y post mortem, en líneas de bovinos, ovinos y porcinos que abastecen al mercado local, intercantonal e interprovincial.

A partir del 2004 se encuentra funcionando la fábrica de subproductos, en donde se elabora la harina de sangre. El desarrollo de este proceso, lejos de perseguir réditos económicos, tiene por objetivo principal reducir la contaminación ambiental. Estas tareas se cumplen de forma ordenada, disciplinada y apegadas a las normas técnicas recomendadas para estos fines (Cevallos, 2004).

Debido a que el producto final no cuenta con la humedad requerida, la calidad del mismo se ve afectada por la oxidación temprana que sufre la harina, es por ello que se ha planteado el rediseño del proceso, para lo cual se analizaron estudios realizados acerca de rendimientos óptimos de la harina como el Diseño y Construcción de un Deshidratador (Equipo Piloto) para Sangre de

Bovinos realizado por la Ing. Jara Rosario en el año 2004 , Optimización de la Fabricación de la Harina de Sangre Producida en el Camal Municipal Riobamba por Aucancela Fanny en el año 2005 y Diseño de un Secador Tipo Túnel para la Deshidratación de Harina de Sangre en el Camal Frigorífico de Riobamba por Moreta Marco en el año 2012, los mismos que sirvieron para obtener datos de variables proximales en la obtención de la harina, sin embargo, el aumento en la demanda del producto, controles rigurosos en el área ambiental y en especial de la calidad de la harina han hecho que se realice un rediseño óptimo e ideal para mejorar el producto a ofrecer a la sociedad.

La harina de sangre por su riqueza proteica tiene especial interés por sus propiedades ya que es utilizada para la producción de varios subproductos alimenticios complementarios para balanceados o abonos orgánicos, los cuales han ganado una gran aceptabilidad dentro del mercado ecuatoriano, lo que ha permitido buscar nuevas alternativas de mejoras de estos productos, ajustar sus procesos de producción a un menor costo para ser más competitivos dentro del mercado de nuestro país (Ockerman, y otros, 1994).

### ***1.3.2. Marco conceptual***

#### *1.3.2.1. Subproductos cárnicos de bovinos*

#### **Generalidades de la sangre**

La sangre es un líquido de color rojo de consistencia viscosa, conformada por dos partes: el plasma y los elementos figurados (glóbulos blancos, glóbulos rojos y plaquetas). Al ser un líquido, fácilmente se puede alterar, por ende, su plazo de vida útil industria en muy corta. Usualmente es estéril en los animales sanos y posee un alto contenido en proteínas con una composición de aminoácidos equilibrada. (Madrid, 1999) (Ockerman, y otros, 1994)

#### **Composición y características de la sangre**

La sangre está compuesta de 80% de humedad y 20% de sustancias sólidas, éstas últimas se encuentran formadas por:

**Tabla 1-1:** Composición de las sustancias sólidas en la sangre

<b>Componente</b>	<b>Cantidad (%)</b>
Células sanguíneas (Glóbulos rojos)	12
Proteínas (Albúminas)	6,1
Fibra (Fibrina)	0,5
Extracto etéreo (Grasas)	0,2
Otras sustancias	0,03
Cenizas	0,9

**Fuente:** Madrid, A. Aprovechamiento de los subproductos cárnicos. 1999.

**Realizado por:** Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

La densidad de la sangre es 1,05 kg/dm<sup>3</sup>, del plasma es 1,03 kg/dm<sup>3</sup> y de los glóbulos rojos es 1,09 kg/dm<sup>3</sup> aproximadamente. Cabe recalcar que los valores dados es una media general o valores medios.

En cuanto al pH de la sangre se tiene:

- Valor de pH de sangre cruda: 7,2
- Valor de pH de sangre cruda a las 24 horas desde su recolección: 7,5

**Tabla 2-1:** Composición del plasma y glóbulos rojos

	<b>Composición del plasma</b>	<b>Composición de los glóbulos rojos</b>
Agua	91%	62%
Proteína bruta	7-8%	34-38%
Sustancias sólidas	1-2%	1-3%

**Fuente:** Madrid, A. Aprovechamiento de los subproductos cárnicos. 1999.

**Realizado por:** Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

### **Sangre procedente del sacrificio de animales**

Se puede reflejar los porcentajes de sangre contenida en dos tipos de animales con referencia al peso vivo de los mismos. Es decir, caso de suponer un peso de 450 kg para vacas y 90 Kg para cerdos, tendremos que la cantidad de sangre que se recoge es:

**Tabla 3-1:** Cantidad de sangre recogida en litros

<b>Animal</b>	<b>Rango de volumen de sangre (L)</b>
Bovinos	13,5-18
Porcinos	2,7-3,6

Fuente: Madrid, A. Aprovechamiento de los subproductos cárnicos. 1999.

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

### **Valor nutritivo de la sangre**

- Las proteínas presentes en la sangre juegan un papel importante ya que ayudan en el desarrollo de organismos, es decir son constituyentes de los principales tejidos
- Cuando la sangre es transformada en harina esta posee un elevado coeficiente de digestibilidad (99 por 100).
- También la harina es rica en lisina, este aminoácido es importante en el desarrollo humano y animal.

### **Sistemas de aprovechamiento de la sangre**

Se tiene cuatro aprovechamientos principales de la sangre:

- Separación en plasma y corpúsculos
- Obtención de harina de sangre por eliminación de agua
- Producción de sangre soluble en polvo
- Producción de plasma en polvo

### **Utilización de la sangre**

La sangre es el subproducto que se obtiene una vez el animal es degollado, por lo que se obtiene el 7 o 9 % del peso vivo del animal. Con la recolección y el posterior uso que se le da a la sangre permite que no exista contaminación alguna de la carne y los alrededores donde se sacrifica a los animales. La sangre se la puede emplear si se la trata de una manera aséptica como alimento para humanos, en laboratorios, en medicina, para la producción industrial de albúmina y de suero, componente principal de alimento para animales y como fertilizante. (Madrid, 1999)

## **Recolección y conservación**

El control sanitario es el encargado de aprobar a los animales, por ende, la sangre debe ser exclusivamente de éstos, una vez que se cumplan con los parámetros, la sangre se recoge en condiciones higiénicas y desfibrinada, es decir, se la homogeniza para impedir la formación de coágulos. La desfibrinación consiste en mezclar la sangre durante el proceso de sacrificio del animal, usando agitadores mecánicos. Una vez terminado el proceso la sangre se puede utilizar entre 2 a 3 días después. Es necesario que la sangre se encuentre desfibrinada ya que se la conserva en estado líquido para el uso industrial y humano.

En el instrumento se seca la fibrina en forma de filamentos rojos, una vez seca sirve como alimentos de aves o en la fabricación de pectina o lecitina. Para evitar la coagulación se añade una solución anticoagulante al recipiente vacío. De esta manera se conservará la sangre durante dos o tres días, y congelada por más tiempo. (Moreta Sánchez, 2012)

## **Almacenamiento y Cocción de la sangre**

### **Principio del digestor cooker**

Para el proceso de harina de sangre se utilizaron equipos tanto de almacenamiento y cocción, es decir, para secar el producto se utiliza digestores discontinuos o cooker, los cuales trabajan en esta sección del proceso (Beltrán, y otros, 2007). Los digestores discontinuos tienen como propósito acondicionar, esterilizar, hidrolizar y secar el producto, de esta manera será más fácil secar la harina de sangre hasta obtener la humedad deseada (MAVITEC, 2017). Tiene como finalidad el procesamiento de harinas, el cual cocina los residuos a base de una fuente de calor y el funcionamiento es como una olla de presión con remoción interna del producto por medio de paletas que giran para procesar la sangre y también para realizar la extracción del producto (Chano, 2013). El equipo realiza el proceso de cocción y deshidratación (secado). Estos equipos tienen diferentes características que son:

- Poseen una gran capacidad de carga en comparación con el volumen en bruto
- Tienen un eje de alto rendimiento por lo que el tiempo de proceso es corto
- Varían en capacidades
- Se pueden incorporar fácilmente a diferentes equipos
- Son automáticos o manuales



- Su eje y camisa son calefactados
- Su sólida bancada de soporte permite una instalación, mantenimiento y montaje de tuberías fácilmente.
- Para facilitar la resistencia y rigidez posee un reductor y transmisión montados sobre la bancada
- No ocupa mucho espacio de superficie
- En la entrega se realiza pre-montada y completa

**Tabla 4-1:** Ficha técnica del Cooker

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<b>Capacidad</b>	1500 litros
<b>Construcción</b>	La máquina se encuentra constituida por un cilindro doble de acero, y los extremos son embombados. La camisa interna posee dos agujeros fusibles para detectar el desgaste. La entrada es la parte superior en donde ingresa la sangre que se encuentra en el silo de almacenamiento, en la parte lateral existe una compuerta para la expulsión de la harina al terminar el ciclo, en el otro extremo encontramos el sistema motriz, que está formado por un motor reductor extra pesado el cual esta acoplado al eje del cooker mediante piñones y una fuerte cadena. El eje central está diseñado en acero sobre el cual en la parte interna se ubican las paletas que por su construcción especial provocan la remoción de la carga.
<b>Material de construcción</b>	Está fabricada de acero inoxidable grado A36, sistema de aislamiento en fibra de vidrio de 2 in y revestido en aluminio calibre 20
<b>Instrumentos</b>	Posee un manómetro de presión de vapor y una válvula de seguridad, el panel de control posee voltímetro, amperímetro y luces indicadoras.
<b>Equipo auxiliar</b>	Caldera de 30 BHP con quemadores a gas, bomba de 0,25 HP, trampa de condensados y motor de 15 HP para la agitación de las aspas.

**Fuente:** Catalina Beltrán. Universidad de La Salle. 2007

**Realizado por:** Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

**Tabla 5-1:** Ficha técnica del tanque de almacenamiento

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
------------------	--------------------

<b>Capacidad</b>	1200 litros
<b>Construcción</b>	Se encuentra elaborado de cuerpo cilíndrico y cónica en su parte inferior
<b>Material de construcción</b>	Se encuentra fabricado en lámina de acero inoxidable de 3/16 de grosor
<b>Dimensiones</b>	3 m de alto x 1,20 metros de diámetro
<b>Instrumentos auxiliares</b>	Válvula de seguridad, medidor de nivel, manómetro

Fuente: Catalina Beltrán. Universidad de La Salle. 2007

Realizado por: Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

## Harina de sangre

(Madrid, 1999) señala que los aprovechamientos más comunes de la sangre son dos:

- Producción de plasma: que se usa como ligante en embutidos y otros productos. El plasma se obtiene por centrifugación de la sangre.
- Producción de harina, que se utiliza como fertilizante, o para balanceados para mono gástricos, esta harina se obtiene por secado de la sangre.

(Ockerman, y otros, 1994) manifiesta que la harina de sangre es un producto granular de color marrón oscuro y seco (5-8%) de humedad que se obtiene de la desecación de la sangre entera. Tiene un rendimiento del 20%. Comúnmente la harina de sangre se elabora mediante cocción en calderos de doble carcasa o por inyección directa de vapor, realizando agitación constante para evitar la acumulación en las paredes y con ello evitar atascos en el funcionamiento del equipo.

En algunos procesos en común usar algún tipo de anticoagulante para poder conservarlo, para ello se añade oxido de calcio al 70% en una proporción de 0.5 a 1.5%; este procedimiento también evita que se formen malos olores durante su almacenamiento.

El producto de la cocción de la sangre es sometido a un proceso de secado ya sea exponiéndolo de forma directa al medio ambiente o mediante el uso de secadores, con circulación forzada de aire, a 60°C hasta alcanzar una humedad de entre 10 al 12%. El producto seco puede ser sometido a una reducción de tamaño hasta alcanzar un polvo fino. En algunos casos es recomendable, una vez seca la harina de sangre, someter a un calentamiento a 100°C seguido de un enfriamiento rápido y luego envasar la harina de sangre de forma hermética para aumentar su tiempo de conservación. También cuando a la harina se la procesa con cal, ésta se conservará mientras que si no se la procesa con cal no durará más de un mes.

Según (Ockerman, y otros, 1994), los procesos actuales realizan un proceso de eliminación de agua antes de someter la sangre a su proceso de secado, para ello se precalienta la sangre a 55-

58°C luego se hace circular vapor de agua entre la sangre hasta formar coágulos, los cuales son dirigidos a una centrifuga de decantación dotada de un rotor cónico y un tornillo de compresión que logra eliminar hasta un 75% del agua. El proceso culmina al someter la pasta a un proceso de desecación.

*(Ockerman, y otros, 1994) señala que: “las temperaturas elevadas y/o largos periodos de calentamiento disminuyen el valor nutritivo de la harina de sangre. Para evitar este inconveniente se hace uso de la desecación en anillo, el mismo que evita la desnaturalización proteica.”*

### **Conservación de la harina de sangre**

Para una buena conservación de la harina de sangre es necesario que su humedad sea de 10-12% aproximadamente. Si el contenido de humedad es menor, la sangre tiende a recalentarse y posteriormente se coagula, e incluso puede llegar a tener un proceso de fermentación. Cuando se almacena si la humedad es mayor, la harina será negra, debido a que se destruye el color rojo.

El análisis bromatológico en la harina de sangre servirá para lograr medir la dieta de los animales, de acuerdo con regímenes alimenticios específicos. (Maza, 2004)

**Tabla 6-1:** Análisis bromatológico de la harina de sangre

<b>Componente</b>	<b>Cantidad (%)</b>
Proteína Bruta	88,5
Fibra	0,4
Ceniza	6,0
Extracto Etéreo	1,2
Extracto Libre de Nitrógeno (ELN)	3,9
Calcio	0,28
Fosforo	0,28

**Fuente:** Harina de sangre. FAO (2005)

**Realizado por:** Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

**Tabla 7-1:** Análisis de elementos químicos presentes en la harina de sangre

<b>Elemento químico</b>	<b>Cantidad (%)</b>
Calcio (Ca)	0,28
Hierro (Fe)	0,38

Magnesio (Mg)	0,22
Fósforo (P)	0,22
Azufre (S)	0,38
Manganeso (Mn)	5,29
Cobre (Cu)	9,9

**Fuente:** Harina de sangre. FAO (2005)

**Realizado por:** Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

## Sistemas de producción de la harina de sangre

Existen varios procedimientos para obtener harina a partir de sangre cruda animal. Los principales son:

### ✓ Secado tradicional

La sangre es sometida a un tamizado grosero, donde llega a un tanque y seguido a un secador convencional, aquí, por calentamiento continuo se evapora el agua hasta finalmente el producto presentar una humedad de 5-10 por 100.

#### Desventajas

- Es un procedimiento no muy económico ya que, la evaporación se da por medio de calor y consume una elevada cantidad de vapor.
- La calidad del producto es deficiente, ya que es sometido a un calentamiento intenso.
- El tiempo de secado es de cinco a seis horas por carga
- Al ser la sangre un producto difícil de secar, los secadores convencionales presentan problemas por lo que se necesita realizar limpiezas frecuentes.

### ✓ Coagulación- secado

En este procedimiento se intercala entre el tanque y el secador un depósito intermedio para la coagulación por calor de la sangre. Cuando se encuentra coagulada, se prensa para separar una cantidad de agua. Finalmente se pasa al secado final.

✓ Coagulación-centrifugación- secado

Este procedimiento consiste en coagular la sangre y se separa mecánicamente en un decantador centrífugo horizontal donde el 75 por 100 de agua es eliminada. Una vez deshidratada la sangre pasa a un secado final. Ya que se eliminó  $\frac{3}{4}$  partes del contenido de humedad, el secado se realiza por 1-3 horas dando un producto de elevada calidad. (Madrid, 1999)

### Producción de harina de sangre de alta calidad

Si las proteínas son sometidas a elevadas temperaturas (100-105°C) durante períodos de 50 minutos o más de 2 horas, éstas se queman por lo que la harina es de muy baja calidad, por lo general, ocurre cuando el secado se realiza en digestores.

Para obtener una harina de alta calidad el tratamiento en régimen continuo acorta el tiempo del proceso, ya que la sangre que es sometida a elevadas temperaturas se coagula y seca en muy poco tiempo. El secador es de fuego directo, de modo que la sangre se seca en 4 a 6 segundos. El producto obtenido mediante este método posee una digestibilidad de 90%, lisina alrededor del 9,5% superior al normal. A continuación, se muestra una tabla que nos da una comparación de rendimientos y calidades de la harina obtenida por diversos sistemas: (Madrid, 1999)

**Tabla 8-1:** Diferencia entre calidades de harina según el tipo de secado

Parámetro	Tipo de secador		
	Secador directo	Secador de discos	Atomizador
Proteínas(%)	90-95	85-88	85-90
Minerales (%)	1-2	1-2	4-5
Densidad(g/cm <sup>3</sup> )	0,5-0,6	0,8-0,9	0,5-0,6

Fuente: Madrid, A. Aprovechamiento de los subproductos cárnicos. 1999.

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

**Tabla 9-1:** Composición química de la sangre de bovinos

Materia Orgánica	Sangre fresca	Sangre seca
Humedad (%)	78,30	8,00
Proteína bruta (%)	87,50	87,80
Extracto etéreo %	2,01	2,50

Fibra bruta%	0,00	0,56
Cenizas %	5,99	3,90

**Fuente:** Folleto divulgativo del centro de investigación y desarrollo Ecuador y resultado del análisis bromatológico de la facultad de Nutrición y Dietética- ESPOCH

**Realizado por:** Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

### 1.3.2.2. Secado

En la industria el secado es una operación unitaria de mucha importancia en industrias alimenticias, química, cerámica y metalúrgica, el mismo que permite separar total o parcialmente el líquido que contiene un sólido húmedo por medio de evaporación en una corriente gaseosa, este proceso se lo realiza por convención de un fluido que se encuentra caliente que atraviesa al producto, de esta manera se elimina la humedad presente, esta operación de secado implica transferencia de calor y masa simultáneamente.

La humedad que se va a separar por lo general es vapor de agua, y el gas que se emplea para realizar el secado es aire. El secado significa que habrá una disminución del contenido de humedad desde un valor inicial hasta otro final. Se puede encontrar varios procedimientos para realizar la operación del secado como: radiación, conducción, liofilización, dieléctrico, ultrasonido, etc. Se pueden utilizar diferentes equipos para realizar este proceso tales como: tambor rotatorio, bandejas, túnel entre otros. (Brito, 2001)

### Finalidades del secado

- Una vez secado el producto final su manejo es mucho más fácil, por lo que el empleo es mucho mejor.
- En cuanto a transporte el costo es menor ya que el producto una vez seco ya se encuentra a condiciones adecuadas para embarcarlo.
- El producto se conserva mejor con respecto al tiempo y su estabilidad mejora. (Brito, 2001)

### Ventajas y desventajas del secado

#### Ventajas

- Cuando se logra secar el producto el peso reducirá de forma considerable.

- Ayuda a economizar gastos de transporte y almacenamiento, así como también su manipulación para posteriores procedimientos
- La conservación del producto será más prolongada por lo que incrementa su valor y utilidad de subproductos obtenidos.

#### Desventajas

- Cuando se seca el producto, éste ya no presenta las características iniciales de cuando estaba fresco.
- Hay una evidente degradación de las propiedades tanto físicas y químicas, ya que existe pérdida de humedad en los productos. (Treybal, 1980)

#### **Parámetros básicos de secado**

Según (Ocon García, y otros, 1970) existen parámetros básicos de secado y entre los más importantes tenemos:

- Humedad del aire
- Entalpía del aire
- Densidad del aire húmedo
- Volumen específico del aire húmedo
- Temperatura: bulbo seco, húmedo y rocío
- Humedad del producto: inicial y final
- Variación de humedad diaria

#### **Factores que intervienen en el proceso de secado**

- ✓ Temperatura del aire

Para determinar la temperatura se considera el producto que se vaya a ser sometido al proceso. Hay diferentes niveles de temperatura, las cuales se deben mantener durante el proceso de secado, aquí se va a originar una gradiente de temperatura que va a estar dada con respecto al espesor del producto, éste va a disminuir de tamaño mientras sigue perdiendo contenido de humedad. (Monte Blue SRL, 2014)

✓ Humedad relativa del aire

Se define como humedad del aire a la razón de la presión de vapor de agua presente en el momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a igual temperatura. Este se expresa en porcentaje, a medida que aumenta la temperatura del aire también aumentará la capacidad de absorción de humedad y viceversa. (Contreras, 2010)

✓ Velocidad del aire

Existen funciones principales que realiza la velocidad del aire cuando se encuentra dentro del secador, primero va a transmitir la energía que se necesita para calentar el agua contenida en el material, de esta manera se va a facilitar la evaporación, y en segundo lugar va a transportar la humedad saliente del material. Hay que tener en cuenta que la capa límite que existe entre el material que va a ser secado y el aire, juega un papel muy importante en el secado. Otro factor importante a tomar en cuenta es la forma de la corriente de aire ya que una corriente turbulenta es más eficaz que una laminar, pues la primera va a afectar de mayor forma la capa límite y el aire. En las primeras etapas de secado la velocidad del aire juega un papel indispensable, más aún cuando el material posee un alto contenido de humedad. Es por esto que debe haber una circulación el aire para que el secado sea rápido y uniforme. (Contreras, 2010)

### **Estática del secado**

Cuando existe la presencia de un líquido que es volátil, los sólidos insolubles suelen comportarse como húmedos o higroscópicos. El cuerpo húmedo es aquel que su tensión de vapor de agua (líquido volátil) es igual a la del agua a igual temperatura, es cuerpo húmedo es inerte para el agua se encuentra acompañándolo. El cuerpo higroscópico posee una tensión de vapor menor a la del agua a igual temperatura, este cuerpo suele modificar la tensión de vapor que está ocluida en sus poros o entre las partículas del mismo. (Brito, 2001)

$$p_w^* \rightarrow f(T) \rightarrow \text{Líquido}$$

$$p_v \rightarrow f(C) \rightarrow \text{gas} - \text{aire}$$

$$p_s^* \rightarrow f(T)$$



Donde:

$p_w^*$  = presión de vapor líquido

$p_v$  = presión de vapor en el aire

$p_s^*$  = presión de vapor en el sólido

*si  $p_w^* = p_s^*$ , el comportamiento del sólido es húmedo*

*si  $p_w^* > p_s^*$ , el sólido es difícil de secar (higroscópico)*

✓ Humedad (X)

La humedad se entiende como el peso de agua que está impregnado al peso de sólido seco. El contenido de humedad se lo puede expresar a base seca o húmeda, cuando se va a realizar cálculos de secado es mejor sugerir la humedad en base seca, ya que esta permanece constante a lo largo del secado. (Brito, 2001)

✓ Humedad de equilibrio ( $X^*$ )

Esta humedad es la que alcanza el sólido en equilibrio con el aire en condiciones dadas, esta humedad es el límite al que puede llevarse el contenido de humedad de un sólido.

*si  $X^* >$  humedad del aire, el sólido se seca*

*si  $X^* <$  humedad del aire, el sólido se humedece*

✓ Humedad libre

Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad de equilibrio con aire a condiciones dadas, es decir es la humedad que pierde el cuerpo sólido después de haber tenido suficiente contacto con el aire que lo va a secar a condiciones determinadas, y estas deben permanecer constantes. Esta humedad va a depender tanto de la humedad del sólido, así como también de la humedad relativa del aire.

✓ Humedad ligada o agua ligada

Es la humedad mínima necesaria para que de esta manera el sólido no se comporte como higroscópico. Si la humedad es menor, la tensión del vapor será inferior a la del líquido puro o a igual temperatura, después la presencia del sólido va a influir en la volatilidad del agua; si ocurre este fenómeno se debe admitir que el agua se encuentra ligada al sólido por cualquier tipo de fuerzas, las mismas que pueden ser fisicoquímicas o mecánicas. Si esta humedad se separará por evaporación, va a responder a diferentes leyes a las de evaporación del agua en un recipiente caliente.

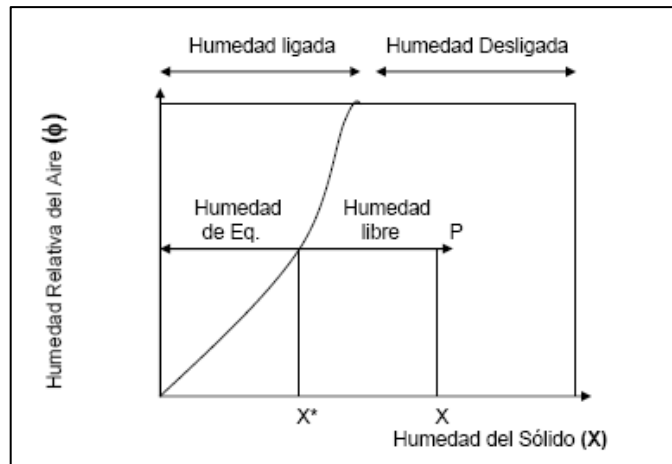
Se puede definir como humedad ligada a la humedad mínima de equilibrio con el aire saturado, es decir cuando la humedad de velocidad relativa sea igual al 100%.

✓ Humedad desligada o agua desligada

Si el valor de la humedad es mayor a la de la humedad ligada, el cuerpo sólido se comportará como húmedo, a la humedad desligada, es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada o también es definida como humedad libre del sólido en contacto con aire saturado.

✓ Curva de equilibrio de humedad en el diagrama de fases, para un sólido insoluble

A cada humedad del cuerpo corresponde en el equilibrio a una humedad del aire, una vez identificando estas variables como coordenadas, en el diagrama rectangular se procede a la construcción de la curva de equilibrio.



**Figura 1-1:** Curva de equilibrio de humedad en el diagrama de fases

Mediante el diagrama se puede conocer cómo va a variar la humedad del cuerpo cuando entra en contacto con el aire húmedo; si se observa que el punto representativo se encuentra a la derecha de la curva de equilibrio la humedad  $X$  va a disminuir, porque es superior a la humedad  $X^*$  de equilibrio con el aire de la misma humedad relativa. Por el contrario, si el punto representativo se encuentra a la izquierda la humedad del material aumentará. Por ende, la humedad de equilibrio va a disminuir si aumenta la temperatura, es necesario que para estudiar las condiciones de secado se determinan curvas de equilibrio a diferentes temperaturas (Brito, 2001)

✓ Sólidos solubles

Cuando es inferior la presión de vapor del agua en el aire a la tensión de vapor de la disolución saturada del sólido, va a cambiar el comportamiento de los sólidos solubles. La humedad de equilibrio de un material es mínima si la presión del vapor del agua en el aire es menor a la tensión de vapor de la solución saturada del sólido, si se presenta este caso la solución saturada va a precipitar al sólido conforme se vaya eliminando el agua de la solución que está en contacto con el aire.

Si esto no fuera así, es decir, si la presión parcial del agua en el aire es mayor a la tensión del vapor de la solución saturada, el sólido va a absorber humedad del aire y se disuelve, por lo que va a dar lugar a la formación de una solución saturada, la tensión de vapor de este es inferior a la del líquido puro según la ley de Raoult.

✓ Cuerpo deliquescente

Este término se aplica a la condición de sólido soluble cuando se encuentra en presencia de aire a determinada humedad. Cuando el aire se encuentra seco ningún material sólido puede alcanzar aquella condición, pero si el aire se encuentra saturado todos los sólidos solubles serán deliquescentes. (Brito, 2001)

### **Cinética del secado**

✓ Velocidad del secado

La velocidad de secado es la pérdida de humedad del sólido en la unidad de tiempo, es decir  $-(dx/d\theta)$  operando en condiciones de secado que sean constantes. Este término hace referencia a que, en el aire, la temperatura, presión, humedad y velocidad van a estar constantes a lo largo del tiempo. Mediante fórmula se tiene:

$$W = \frac{S}{A} \left[ -\frac{dx}{d\theta} \right]$$

Donde:

W= Velocidad de secado

A= Superficie expuesta al secado

S= Sólido seco

X= Humedad en base seca

$\Theta$ = Tiempo de secado

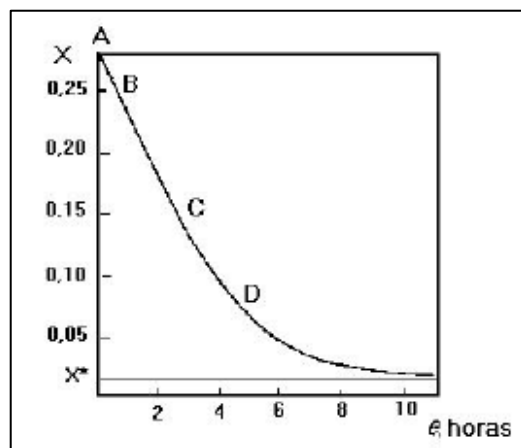
Como A y S permanecen constantes a lo largo del fenómeno de secado, W es proporcional a  $(dx/d\theta)$

$$W = \frac{Kgss}{m^2} \left[ -\frac{Kg H_2O}{Kgssh} \right]$$

✓ Períodos de secado

Para poder determinar capacidad del aparato o el tiempo de secado, se deben efectuar ensayos de velocidad de secado del material. Los ensayos deben realizarse en condiciones que sean constantes de secado. Es decir que las condiciones del aire (presión, temperatura, humedad y velocidad) deben ser constantes con el tiempo y deben variar muy poco desde que ingresa hasta la salida.

Para calcular la velocidad de secado se toma en cuenta la pérdida de humedad en la unidad de tiempo, exactamente el cociente diferencial  $(-dx/d\theta)$ . En la figura 3 está representada la curva de humedad con respecto al tiempo de una muestra que fue sometida a un ensayo de secado. Se puede observar como la curva va disminuyendo desde el valor inicial (punto A) y finalmente se aproxima como límite a la humedad de equilibrio que corresponde a las condiciones constantes del aire.



**Figura 2-1:** Curva de secado  $X=f(\theta)$

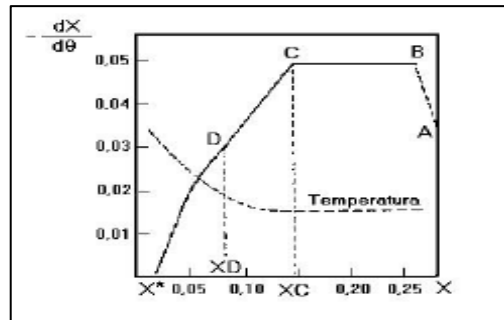
Donde:

**Fase A:** Esta fase indica un ajuste de temperatura y de humedad del material a las condiciones del secado.

**Fase B:** Esta es la estabilización, es decir las condiciones de la superficie del sólido se equilibran con las del aire de secado. Generalmente es una proporción despreciable del total del secado.

**Fase C:** Aquí indica que la velocidad es constante, se puede observar que en este punto la superficie del sólido se mantiene saturada de agua líquida, esto se debe a que el movimiento del agua desde el interior del sólido hasta la superficie ocurre a la misma velocidad que la de la evaporación en la superficie.

**Fase D:** Este es el período decreciente, es decir la superficie del sólido empieza a desecarse porque el agua que aún se encuentra en el interior tiene dificultades para poder llegar a la superficie del sólido.



**Figura 3-1:** Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre

Podemos observar que el tramo AB, es el período de inducción, en el que el secado no se ha estabilizado aún. Después observamos el tramo BC, este se caracteriza por la constancia de la velocidad de secado, una vez que se alcanza la humedad crítica (punto C) la velocidad de secado va a empezar a decrecer, donde va alcanzar el valor cero cuando la humedad libre se anula, es decir cuando la humedad del sólido es igual a la del equilibrio con el aire de secado. (Brito, 2001)

En este gráfico se pueden distinguir dos períodos importantes el primero es el período de velocidad constante y el segundo es de la velocidad decreciente. En muchos casos pueden existir dos períodos decrecientes, durante el primero la velocidad varía linealmente con la humedad (Tramo CD), en el segundo se va a perder aquella relación.

✓ Humedad crítica

En un material esta humedad va a variar con las condiciones del aire de secado y también con el espesor de aquél. La variación puede enunciarse así:

a) Va a aumentar ligeramente la humedad crítica junto con la temperatura y la velocidad del aire

- b) En mayor o menor proporción aumentará la humedad crítica, esto va a ser según el tipo de material. Con el espesor de la capa que se somete al secado.

Es necesario determinar las humedades críticas experimentalmente para diferentes valores de los factores mencionados.

- ✓ Duración del secado en condiciones constantes

Cuando se evalúe la velocidad del secado se podrá deducir la duración del secado. Separando variables en la ecuación 1, integramos entre las humedades inicial y final

$$\theta = \frac{S}{A} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{W}$$

Para poder calcular la integral del segundo miembro se va a distinguir entre el período antecrítico y poscrítico

- ✓ Período antecrítico

Al ser W constante, la ecuación 2 se transforma en:

$$\theta = S \frac{(X_1 - X_2)}{AW_c}$$

- ✓ Período poscrítico

Se puede decir que no existe relación analítica sencilla entre W y X cuando no hay ninguna relación se puede efectuar la ecuación por método gráfico. Aunque, en muchos casos se puede encontrar una relación entre W y X. Es decir, cuando la velocidad de secado varía linealmente con la humedad, como en el primer período poscrítico la integración nos conduce a:

$$\theta = \frac{S(X_1 - X_2)}{A(W_1 - W_2)} \ln \frac{W_1}{W_2} = \frac{S(X_1 - X_2)}{AW_m}$$

Siendo  $W_1$  velocidad de secado para la humedad  $X_1$  y  $W_2$ , la velocidad de secado para la humedad  $X_2$  y  $W_m$ , la media logarítmica de ambas.

Si no se conoce la forma en cómo va a variar la velocidad durante el período poscrítico se puede obtener una expresión que sea semejante, si se supone que la variación es lineal hasta la conclusión del secado, se puede decir que bajo esta suposición la velocidad para la humedad X será  $W=W_c(X-X^*) / (X_c-X^*)$  donde  $X_c$ ,  $X^*$  y  $W$  son constantes. Si se sustituye en la ecuación 4 se obtiene:

$$\theta = \frac{S(X_c - X^*)}{AW_c} \ln \frac{X_1 - X^*}{X_2 - X^*}$$

✓ Velocidad de secado antecrítico

Durante el periodo antecrítico se puede evaluar la velocidad constante en función de la difusión y transmisión de calor en la capa límite del aire. Por ende, se dijo que durante este período la superficie del sólido está cubierta por una capa de líquido; después de la evaporación depende tan solo de la velocidad de difusión del vapor, o bien de la intensidad de paso de calor a través de la capa límite de aire.

Poniendo atención a la difusión del vapor, este proceso tiene lugar por existencia del gradiente de humedad  $Y_i - Y$  a través de aquella capa, siendo  $Y$  la humedad en el seno del aire en  $Y_i$ , la humedad de interfase. La ecuación de transporte será análoga.

$$W_c = K_Y(Y_i - Y)$$

Siendo  $W_c$  la evaporación horaria por unidad de superficie, denominada ahora velocidad de secado.

El calor que va a llegar a la interfase por unidad de área y unidad de tiempo será igual al producto del coeficiente integral de transmisión  $U$  por la diferencia de temperatura a través de la capa. Si en la evaporación se va a emplear este calor se puede escribir la siguiente ecuación análoga:

$$q = W\lambda_w$$

$$q = hc(t - t_w)$$

Para obtener:

$$W_c = \frac{U}{\lambda_i}(t - t_i)$$

Se puede evaluar la velocidad de secado por la ecuación 7 y 8. Se tendrá el primer caso, donde se va a conocer antes la humedad de interfase y el coeficiente de transporte, y en el segundo caso se



debe conocer la temperatura de interfase y el coeficiente superficial de transmisión de calor (este último debe ser diferente del coeficiente de conversión que aparece en la ecuación de la temperatura humedad, ya que el calor puede llegar a la interfase por tres mecanismos; conducción, convección y radiación) (Brito, 2001)

✓ Coeficiente superficial de transmisión de calor

Este coeficiente va a variar con el mecanismo de paso del calor al cuerpo húmedo, que por lo general es complejo en la mayoría de aparatos que realizan el secado; pero en muchos casos es posible establecer simplificaciones que nos conducen a resultados satisfactorios.

Si la transmisión de calor se realiza por convección desde el aire caliente a la superficie húmeda será  $U=h_c$ , siendo  $h_c$  el coeficiente de convección en las condiciones de trabajo.

En los secadores de bandejas y otros equipos de tipo análogo, al calor recibido por convección y radiación hay que añadir el que va a llegar a la superficie húmeda desde la superficie caliente, por conducción a través del material. Por ser aproximados los coeficientes  $h_c$  y  $h_R$  son los mismos para la última que para que está en contacto con el aire, se obtiene la relación:

$$U = (h_c + h_R) \left[ 1 + \frac{\frac{A_E}{A}}{1 + \frac{l(h_c + h_R)}{k}} \right]$$

Donde:

$A_E$ = Área superficial de la bandeja

$l$ = Espesor del material húmedo

$k$ = Conductividad calorífica

✓ Coeficiente de transporte y coeficiente de convección

Para evaluar los coeficientes  $k_y$  y  $h_c$  se lo realiza mediante alguna correlación general. Las ecuaciones admitidas para el coeficiente de convección son:

Flujo de aire paralelo a la superficie:  $G= 2500-30000 \text{ Kg/hm}^2$

$$h_c = 0,00175G^{0,4}$$

Flujo de aire perpendicular a la superficie:  $G=4000-20000 \text{ Kg/hm}^2$

$$h_c = G^{0,37}$$

Donde:

$G$ = Velocidad másica del aire (referida al aire seco)

$h_c$ = Coeficiente de convección ( $\text{Kcal/ hm}^2\text{C}$ )

✓ Temperatura y humedad de interfase

Otros factores importantes para el cálculo de la velocidad de secado son la temperatura y la humedad de interfase, estas dependen de la transmisión de calor a la superficie mojada, es decir cuando el calor llega mediante convección desde el aire de secado no cambiarán las condiciones de interfase es decir van a ser igual a la temperatura húmeda del aire y se deducirán mediante diagrama psicrométrico. Si la interfase recibe calor por otro mecanismo, la temperatura será elevada que la temperatura húmeda. Un caso extremo es cuando el calor llega por conducción a través del mismo material desde un foco de elevada temperatura; por ende, el agua se va a separar por ebullición y no se podrán aplicar las leyes de secado.

Si se admite que el coeficiente  $U$  corresponde realmente al paso de calor a través de la capa límite, pero esto no es cierto en todos los casos, se deduce una ecuación que permite hallar la temperatura de la interfase, por lo que se iguala las ecuaciones y se obtiene:

$$Y_i - Y = \frac{U}{K_y \lambda_i} (t - t_i)$$

Para la mezcla aire-vapor, por ser  $h_c/K_y=c$  la ecuación puede transformarse en:

$$Y_i - Y = \frac{U_c}{h_c \lambda_i} (t - t_i)$$

Donde:

$Y_i$ = Humedad de saturación a  $t_i$

✓ Velocidad de secado poscrítico

La evaporación del agua sobre una parte de la superficie útil total, rige la velocidad de secado durante el primer período poscrítico, esta fracción va a disminuir a medida que transcurre el secado, con arreglo a una norma que está determinada por la difusión del líquido hacia la superficie. Se ha determinado que la velocidad de secado varía linealmente con la humedad durante este período.

La superficie en el segundo período poscrítico ya se encuentra totalmente seca, de modo que la velocidad de secado se pueda evaluar atendiendo al proceso transporte de la humedad desde el interior del sólido hasta la superficie. El proceso puede efectuarse por diferentes mecanismos como: difusión, flujo capilar, flujo debido a contracciones entre otros. La variedad de mecanismos va a complicar el posible desarrollo de la ecuación cinética para el secado poscrítico; sin embargo, se han dado algunas que se aplican con más o menos aproximación en diversos casos.

### **Difusión del líquido**

El mecanismo es el que permite el transporte de la humedad a través de los sólidos de la estructura continua, tales como jabones, colas, gelatinas, arcillas, maderas, entre otros. Existen ecuaciones análogas para la difusión de líquidos a través de sólidos homogéneos a las de transmisión de calor con flujos variables. La capa de espesor  $Z$  es pequeña frente a las dimensiones del área de secado, Sherwood dedujo la ecuación:

$$\frac{X - X^*}{X_0 - X^*} = \frac{8}{\pi^2} \left[ e^{-D\sigma\left(\frac{\pi}{2s}\right)^2} + \frac{1}{9} e^{-9D\sigma\left(\frac{\pi}{2s}\right)^2} + \dots \right]$$

Esta ecuación nos da la humedad  $X$  del material al cabo del tiempo  $\theta$  de secado, que se encuentra en función de la humedad inicial  $X_0$  siendo  $X^*$  la humedad de equilibrio con el aire,  $D$  es la difusividad del líquido que se encuentra a través del sólido (que es el valor medio para el intervalo de concentraciones) y  $z$  es el espesor de la capa de difusión, el espesor se determinará por cociente del volumen del sólido por el área de la superficie de secado (para una plancha desecada por ambas caras  $z$  será igual al semi espesor) (Brito, 2001)

Lo que se encuentra entre corchetes es una serie indefinida cuyo término general converge hacia 0. Aproximando se puede despreciar los términos restantes frente al primero: el error es menor

cuando mayor sea  $\theta$ . Para hallar la velocidad de secado  $W$  se deriva con respecto del tiempo y multiplicamos por  $S/A$  (que es igual a  $\gamma z$ ):

$$W = \frac{\pi^2 \gamma D}{4z} (X - X^*)$$

El tiempo de secado entre las humedades  $X_1$  y  $X_2$  se evaluará por integración de la ecuación 5, una vez sustituido en ella  $W$  por el valor dado anteriormente.

$$\theta = \frac{4z^2}{\pi^2 D} \ln \frac{X_1 - X^*}{X_2 - X^*}$$

Para aplicar esta ecuación directamente se debe conocer la difusividad  $D$ , que es dato poco corriente.

#### ✓ Difusión capilar

Cuando los sólidos son granulares o porosos el líquido se va a desplazar a través de los intersticios en virtud de fuerza capilares, relacionadas con la tensión superficial. El flujo que recorre los capilares puede evaluarse cuando se conoce la forma y dimensiones de los mismos: esto solo ocurre cuando se trata de cuerpos formados por empaquetamiento de piezas de forma regulares. Cuando esto no es así se recurre a cálculos aproximados.

#### ✓ Difusión de vapor

Hay algunos casos donde que la humedad se evapora en un plano interior, es decir se propaga después a través de los intersticios. Esto ocurre así cuando el material se calienta por un método indirecto, de modo que la superficie que recibe el calor está alejada de aquella en la que tiene lugar la evaporación.

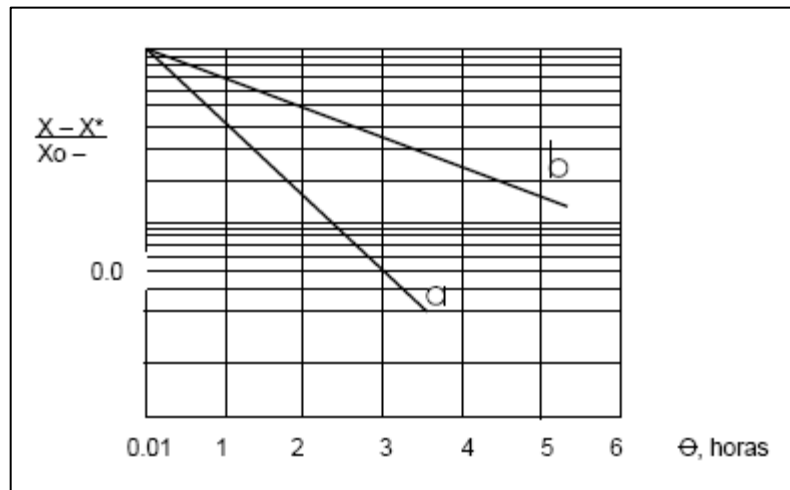
#### ✓ Contracción superficial

Cuando los materiales son sometidos al secado muchos de ellos sufren una contracción superficial por lo que el resultado es que se cierran sus poros, esta contracción, que en algunos casos impide

la salida del líquido, puede originar en otros la eliminación del líquido hacia la superficie de secado. Son desconocidas las leyes de transporte de la humedad por este mecanismo.

### Correlación de datos de secado

Se debe atender con detalles los métodos de cálculo que se aplican a los diferentes aparatos de secado. Para poder realizar un diseño de una instalación para el secado de un determinado producto se necesita de una serie de experimentos previos para de esta manera obtener datos fundamentales. Es necesario que la instalación experimental sea del mismo tipo de la que se va a proyectar (instalaciones piloto) (Brito, 2001)



**Figura 4-1:** Representación gráfica de los datos del secado poscrítico

Los datos de validez general son los que se encuentran relacionados con el secado del material en condiciones constantes; estos datos nos sirven para obtener las diferentes representaciones gráficas, ya que, algunas representaciones se da una idea del mecanismo de secado, las mismas sirven para conocer las constantes de cálculo de secado anticrítico como: velocidad y humedad crítica del material que se encuentra en condiciones experimentales.

Sin embargo, existen diagramas que no son apropiados para poder determinar las leyes de secado poscrítico. Por eso es indispensable representar la humedad frente al tiempo o coordenadas semilogarítmicas es decir (equivalente a la representación  $\log X$  y  $\theta$  en coordenadas cartesianas); o también en un diagrama de este tipo, para lo cual, se engloba  $X$  en cociente sin dimensiones

$(X-X^*)/(X_0-X^*)$ , siendo  $X^*$  la humedad de equilibrio y la  $X_0$  la humedad inicial del período de secado. Esta representación permite conocer el tiempo de secado, sino que también relaciona los resultados experimentales con los que cabe esperar para el secado del mismo material.

Dentro del primer período de secado poscrítico el coeficiente angular de la recta está dado por:

$$m = \frac{\Delta \log \frac{X - X^*}{X_0 - X^*}}{\Delta \theta}$$

Esta ecuación indica que  $m$  es proporcional a la velocidad antecrítica e inversamente proporcional al espesor, aunque no se cumpla la condición que sirvió para obtener la ecuación. En condiciones de secado constante, cuando ya se halla  $m$  por una serie experimental se puede evaluar el período de secado entre dos humedades diferentes, cuando se corrige el valor de  $m$ , la ecuación se aplica para evaluar los períodos de secado en condiciones diferentes a las experimentadas.

Si la cinética del secado se rige por otro mecanismo interno no es sencillo relacionar teóricamente el tiempo de secado con el espesor, sin embargo, se puede generalizar lo obtenido para el anterior caso, en términos aproximados. (Brito, 2001)

### **Condiciones óptimas de secado**

#### ✓ Potencial de desecación

El gradiente de temperatura  $(t-t_i)$ , se la conoce como potencial de desecación del aire, y sirve como medida de velocidad del proceso de desecación. Las ecuaciones que anteriormente fueron desarrolladas se aplican en el caso de que el potencial de desecación permanezca constante, sin embargo, éste puede variar a lo largo del aparato de secado o bien con el tiempo.

Para la capacidad de producción de un aparato se debe efectuar el secado en un mínimo tiempo o con un potencial de desecación máximo, pero existen limitaciones, la primera es que el producto podría deteriorarse ya que el secado se realiza en contacto con el aire de temperatura elevada, la segunda limitación se refiere al potencial de desecación.

El potencial de desecación va a influir en la calidad de los productos cerámicos, ya que antes que se produzca el proceso de cocción se han de secar en condiciones reguladas. La pasta sufre una contracción considerable durante el secado, por lo que las diferencias notables de unos puntos a otros originan tensiones locales que producen roturas, agrietados y deformaciones de las piezas. Las mismas consideraciones de secado se aplican a otros productos como la madera. (Brito, 2001)

✓ Cálculo del tiempo de secado

El tiempo de secado se determina experimentalmente, ya que si se aplican procedimientos matemáticos se obtienen valores, que, dependiendo del tipo de material, pueden diferenciarse notablemente de los valores reales, es por esto que el tiempo debe ser determinado experimentalmente.

El tiempo de secado en condiciones constantes (T, Y, v, P del aire) se puede calcular mediante:

$$\theta = \frac{S}{A} \int_{X_f}^{X_i} \frac{dx}{W}$$

Donde

$X_i$  = Humedad inicial

$X_f$  = Humedad final

Se necesita del diagrama de la velocidad de secado, esto significa que conocer infinito número de ecuaciones para cada material, por esto no es opcional. Pero si recordamos los períodos de secado podemos resolver la ecuación en forma parcial.

✓ Período de secado constante o antecrítico

Aquí la velocidad es constante, por tanto, el tiempo de secado es

$$\theta = \frac{S(X_f - X_i)}{AW}$$
$$\theta \rightarrow \theta_c$$

Donde

$\Theta$  = Tiempo de secado crítico

$W_c$  = Velocidad de secado crítico

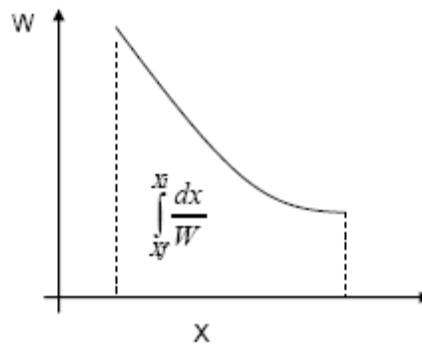
$\Theta_c$  = Es el tiempo de secado para que la humedad del sólido descienda desde su valor inicial hasta el crítico.

- ✓ Periodo de velocidad decreciente o poscrítico

Se lo puede calcular de diferentes maneras:

### 1. Integración gráfica:

Si no se conoce la relación analítica  $W=f(x)$ , la integración de la ecuación ha de tenerse gráficamente de la siguiente manera:



$$\theta_p = \frac{S}{A} \int_{X_f}^{X_i} \frac{dx}{W}$$

Donde:

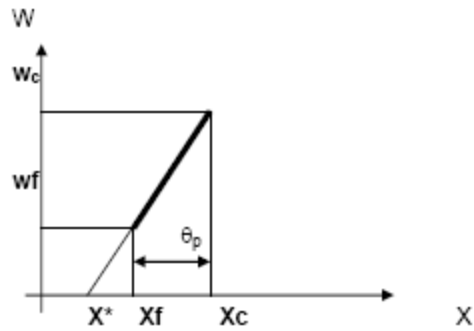
$\Theta_p$ = tiempo de secado poscrítico

### 2. Método analítico

Una vez que se obtiene los datos de la velocidad de secado se realiza una regresión lineal en el gráfico  $W=f(x)$ , la misma que nos conduce a:

$$\theta_p = \frac{S}{A} \left[ \left( \frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} \right) \ln \frac{W_c}{W_f} \right]$$





✓ Comportamiento lineal

Cuando no se conoce la forma como va a variar la velocidad de secado en este período, se puede utilizar una expresión aproximada, y se debe suponer que la variación es lineal desde la humedad de equilibrio, en esta suposición se plantea la siguiente ecuación:

$$\theta_p = \frac{S}{A} \left[ \left( \frac{X_c - X^*}{W_c} \right) \ln \frac{X_c - X^*}{X_f - X^*} \right]$$

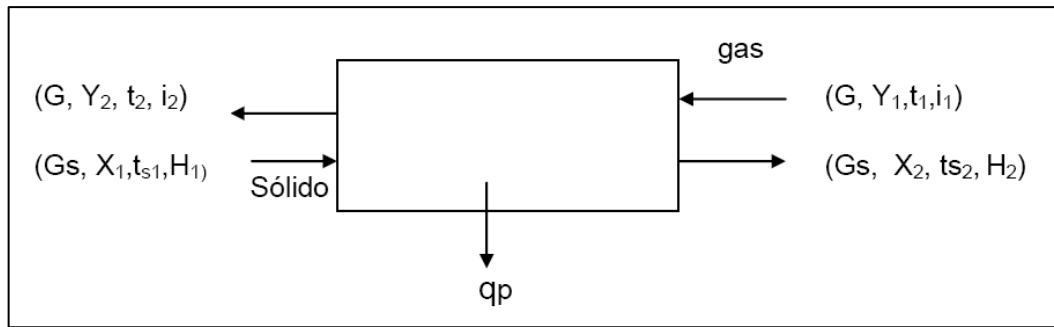
✓ Tiempo total de secado

$$\theta_T = \theta_c + \theta_p$$

El tiempo y la velocidad de secado son interdependientes

✓ Balance de materia y entalpía en los secadores continuos

En la figura a continuación se muestra un diagrama de flujos de un secador continuo. Si se aplica el balance de materia se puede relacionar las velocidades másicas del aire seco (G) y del sólido seco (Gs) con las humedades de entrada y salida al secador respectivamente, a éstas se les designa con los subíndices 1 y 2, la ecuación del balance se escribirá del mismo modo para el caso representado en la figura 6 que para la circulación en contracorrientes directas será:



**Figura 5-1:** Diagrama de flujos de gas y sólido en un secador continuo

$$G(Y_2 - Y_1) = G_s(X_1 - X_2)$$

Para efectuar el balance de entalpías definiremos la del aire por la variable  $i$  y la del sólido húmedo por la expresión:

$$H = (C_s + X_{CL})t_s + \Delta H_O$$

Donde:

$C_s$ = Calor específico del sólido seco

$C_L$ = Calor específico del líquido (agua)

$t_s$ = Temperatura del sólido húmedo

$\Delta H_O$  = Calor integral de mezcla del sólido con el agua (calor de hidratación respecto a kg sólido seco y  $T = 0^\circ\text{C}$ )

La ecuación del balance entálpico será:

$$G(i_1 - i_2) = G_s(H_2 - H_1) + \frac{q_p}{S}$$

Donde:

$Q_p$ = calor perdido al exterior por unidad de tiempo

$S$ = Sección normal del secador

Si este funciona en condiciones adiabáticas tendremos que  $q_p=0$ , si recibe calor desde el exterior será  $-q_p$  el calor recibido.

Si queremos emplear como variables los flujos de gas seco y sólido seco bastará con multiplicar todos los términos por la sección  $S$ . (Brito, 2001)

### *1.3.2.3. Automatización*

El objetivo principal de la automatización es minimizar la intervención del hombre en los procesos industriales por lo que, de esta manera se ahorra esfuerzo laboral (Gutierrez, y otros, 1994). Los procesos que se realizan por el hombre, actualmente es delegado a máquinas las cuales trabajan de forma automática, con asistencia de computadores los mismo que procesan toda la información de una manera rápida. Los ordenadores están apoyados de modelos matemáticos.

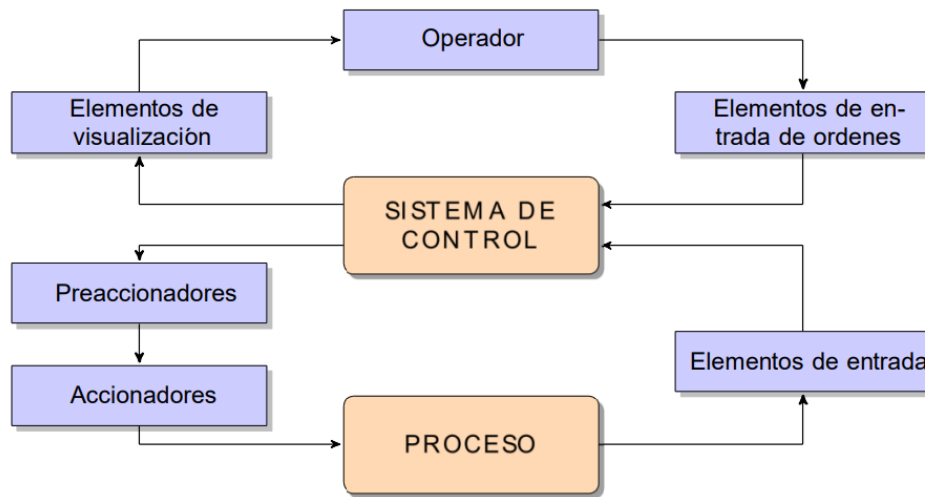
Según (Córdoba Nieto, 2006), se define como automatización al método en el que se puede controlar de manera automática la operación de un aparato, proceso o un sistema integrado, mediante componentes a través de medios mecatrónicos-electrónicos y computacionales, los cuales sustituyen los órganos sensitivos y la capacidad de decisión del hombre.

#### ✓ Tecnologías de automatización

Existen diferentes tipos de automatización, pero la más importante es la tecnología electrónica en la cual el elemento principal es el PLC (Programmable Logic Controller), que es un elemento de control que trabaja como una computadora personal (PC), posee un sistema operativo transparente hacia el beneficiario. Es muy práctico ya que se programan las rutinas que un proceso debe seguir. En una memoria se encuentra el sistema operativo en donde accede un micro controlador, además el contenido va a variar de acuerdo al fabricante y al modelo de PLC.

#### ✓ Elementos de un proceso automatizado

Un proceso cuando se encuentra automatizado posee un gran número de elementos, los cuales cumplen funciones específicas dentro de un sistema de control. En la figura a continuación se puede apreciar una distribución básica de los elementos de un proceso que se encuentra automatizado. En la gráfica se puede observar una secuencia muy básica para aquellos procesos controlados o relación proceso-sistema de control. En otros casos se pueden añadir transductores o filtros para señal, lo cual va a depender del proceso y el controlador.



**Figura 6-1:** Esquema de un proceso automatizado

## Control

Se debe mantener controladas las variables que existen en este proceso como son la temperatura, humedad y tiempo, para lo cual existe la manera de utilizar un cierto número de controladores, pero en el caso del secador del Camal se utilizaran controladores PID, ya que estos son un mecanismo de control por retroalimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se desea obtener para aplicar una acción correctora que ajuste al proceso. Hay un algoritmo de cálculo del control PID y este se da en parámetros distintos que son:

- Valor proporcional que determina la reacción del error ya existente
- Valor integral que genera una corrección proporcional a la integral del error
- Valor derivativo que ayuda a determinar la reacción del tiempo en el que el error se produce.

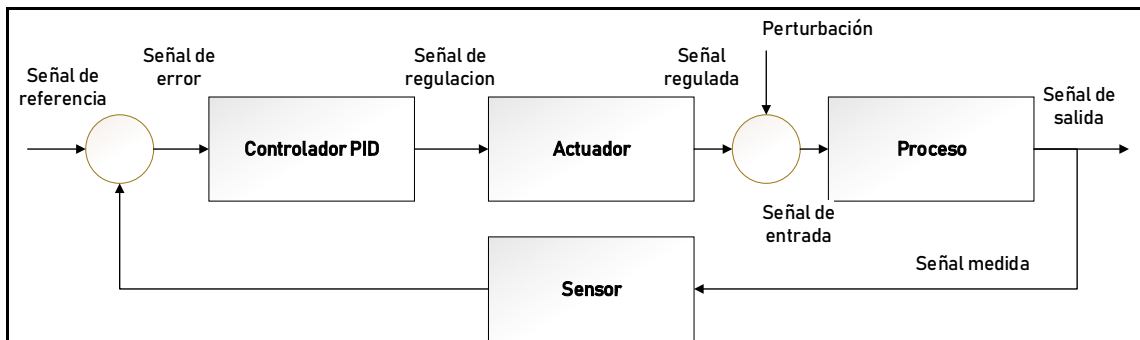
Estas acciones se suman y se usan para ajustar el proceso mediante un elemento de control. Para que un controlador PID funcione correctamente es indispensable el uso de diferentes componentes tales como:

- Sensor, el cual permite determinar el estado del sistema
- Controlador, que va ayudar a generar la señal que gobierna al actuador
- Actuador, que va a modificar el sistema de manera controlada

Los pasos que va a seguir un sistema de control son:

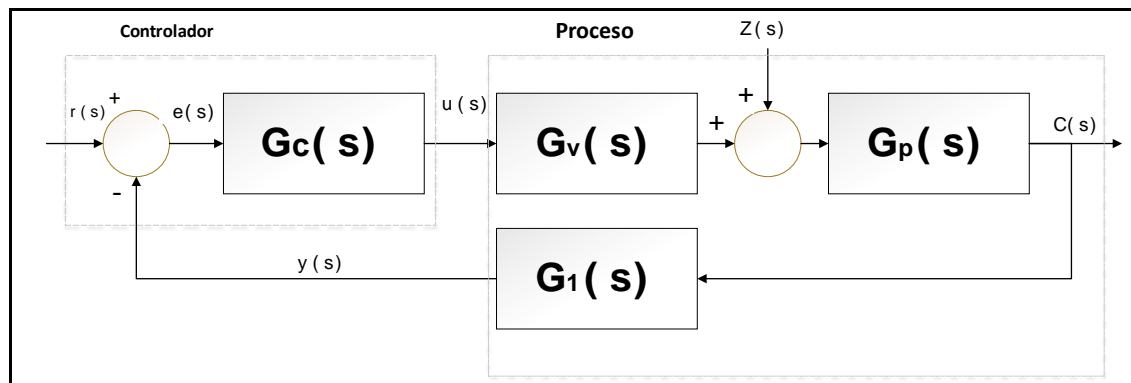
1. Quien va a proporcionar una señal analógica o digital al controlador es el sensor, la misma que representa un punto actual en el que se encuentra el proceso o el sistema

2. El controlador va a leer la señal externa la misma que va a representar el valor que se desea alcanzar, esta debe ser de la misma naturaleza y tiene igual rango de valores que la señal que proporciona el sensor.
3. También el controlador va a restar la señal del punto actual a la señal ya prefijada, de esta manera el resultado será la señal de errores, que determina en cada punto o instante la diferencia que hay entre el valor deseado y el medido.
4. Las señales que se originan serán las que el controlador va a utilizar para gobernar el actuador y de esta manera el valor de la variable medida cambiará si fuese necesario.



**Figura 7-1:** Sistema de control del equipo

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018



**Figura 8-3:** Circuito de control del equipo

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

Dónde:

$r(s)$  = valor deseado

$e(s)$  = error

$G$  = ganancia

$y(s)$  = variable controlada

$z(s)$  = posible perturbación

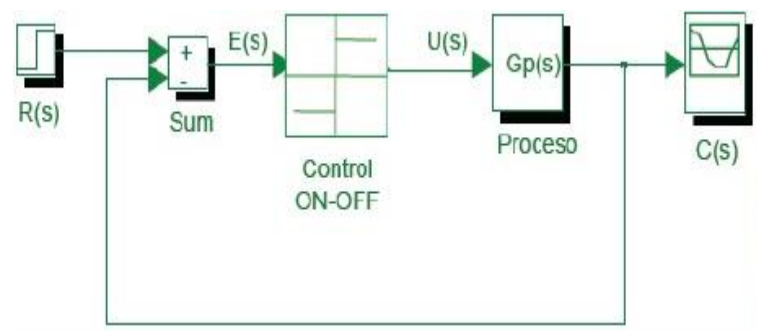
$u(s)$  = salida del controlador

### Tipos de control automático

#### ✓ Control On-Off

Se los conoce también como controladores de todo o nada. Este tipo de control posee dos valores fijos en su salida, encendido y apagado, según si la señal de error es negativa o positiva. Cuando se inicia el sistema el error es positivo y el control se activa hasta llegar al valor deseado, aquí el signo de error va a cambiar de negativo y el controlador se apaga como se indica a continuación:

$$y(t) = M1 (On), \text{ si } e(t) > 0$$
$$y(t) = M2 (Off), \text{ si } e(t) < 0$$



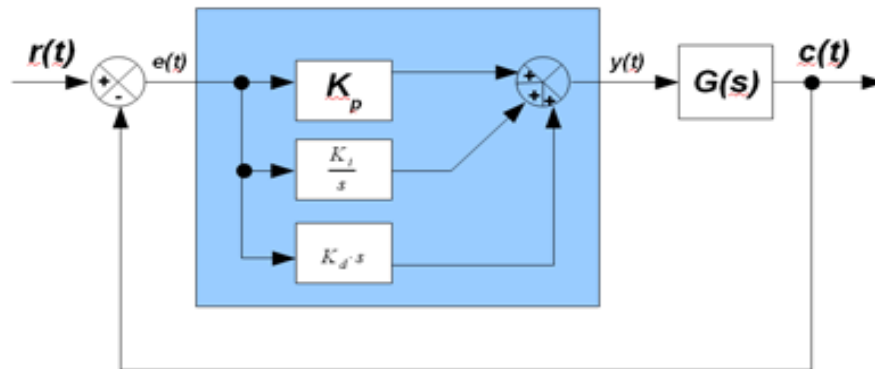
**Figura 9-1:** Diagrama de un sistema On-Off

Este controlador es de gran uso ya que para su implementación no se requiere de mayor esfuerzo, regularmente se los utiliza en aplicaciones domésticas o procesos industriales donde no se necesita de una precisión elevada ya que este controlador no posee la capacidad apta para generar un valor exacto de la variable controlada. (Poalacin, y otros, 2015)

#### ✓ Control PID

Este tipo de controlador usa características de controladores proporcional, integral y derivativo como se describe a continuación, esto con la finalidad de actuar rápidamente ante la presencia de

perturbaciones, esto quiere decir, que el proceso tendrá una rápida respuesta y una compensación instantánea a la señal del error. Como desventaja es que son propensos a oscilaciones, y su configuración es muy compleja. (Poalacin, y otros, 2015)



**Figura 10-1:** Circuito de un sistema de control PID

✓ Controlador PLC

Estos controladores o Autómatas programables no son más que dispositivos o equipos electrónicos los cuales facilitan la programación del hardware de control. Fue realizado con la idea de permitir a las diferentes áreas de la ingeniería que no son especializadas en el diseño de software para control, puedan desarrollar sus propios programas para luego subirlos directamente a un PLC. El diseño tiene como objetivo el uso en la industria, es por eso que se busca simplicidad y efectividad. (Parr, 2003)

Un PLC posee partes las cuales son simples, pero proveen herramientas para construir un sistema de control firme. Un controlador como este es modular, esto quiere decir que si necesita expansión según un sistema de control siga teniendo necesidades, se pueden agregar cuando se usa módulos de expansión de entradas y salidas, y estas ayudan a agregar funcionalidades al sistema de control. Es importante ya que amplía las capacidades de control en razón de las entradas de un controlador de un diseño determinado. Los PLC son comparados con un controlador PID o sistema de control por cableado ya que es más fácil hacer uso del mismo y porque se puede adaptar con mayor facilidad a diferentes sistemas de control. (Boix, y otros, 2004)

1.3.2.4. Simulación del proceso

## Terminología

- Simulación: es una herramienta muy útil a la hora de disminuir riesgos y optimizar la toma de decisiones empresariales, así como también inversión de tecnología, personal e instalaciones, para lo cual sigue con puntos básicos como: planificar, analizar y mejorar los procesos de la empresa o de un proceso industrial. Se fundamenta en la construcción de modelos que representen el funcionamiento de los procesos existentes o propuestos de la empresa para luego realizar pruebas y analizar con un modelo los resultados de las diversas opciones.
- Modelos de simulación: estos ayudan a profundizar en las variables que afectan en mayor proporción al funcionamiento de la empresa, analizar sus interacciones y nos ayuda a evaluar su impacto global, por lo que la hace una ayuda para optimizar los procesos.
- Optimización: Permite buscar la mejor forma de realizar las cosas, pero se tiene en consideración las restricciones funcionales, técnicas y económicas de los procesos. Cuando se realiza una optimización de un proceso productivo hace que una empresa siga siendo competitiva.

## Simulación

En ingeniería química la simulación es la solución de ecuaciones de balance de masa y energía para aquellos procesos que se encuentran en estado estacionario o estado dinámico, permite también el dimensionamiento y obtención de costos de los equipos que se encuentran inmiscuidos en el proceso. Cabe recalcar que la simulación se puede aplicar a múltiples procesos industriales y sistemas naturales.

Con la ayuda de software se pueden describir procesos químicos, físicos y biológicos, así como también otros procesos técnicos y operaciones unitarias. Para su aplicación se necesita tener un conocimiento profundo de las propiedades físicas y químicas de los componentes puros y mezclas, así como también de reacciones y modelos matemáticos que si se combina permite el cálculo de un proceso usando la computación.

Si se utiliza la simulación, se podrá evaluar procesos en diferentes escenarios de manera virtual. Es importante ya que ayuda al control y la correcta gestión de procesos industriales. Se puede mencionar también que es muy útil para la predicción de procesos ambientales y toma de decisiones sobre ellos.



En procesos químicos la simulación se ha vuelto en una herramienta indispensable para la solución de problemas de procesos. Esta herramienta permite analizar, diseñar y optimizar procesos en cualquier campo de la ingeniería. Existen tres tipos de modelos que pueden ser resueltos mediante simulación:

- **Análisis de un proceso:** ayuda a predecir el comportamiento adecuado del proceso a través del uso de ecuaciones de diseño que se obtienen a partir del modelado previo del mismo. Permite la interpolación y extrapolación dentro de límites establecidos, así como la búsqueda de las condiciones fuera de la gama de propiedades que ya se conocen.
- **Diseño del proceso:** se va a proporcionar datos de proceso a través de la simulación, ya que se va a realizar el diseño detallado de los diferentes equipos y construcción de plantas a nivel banco, piloto o industrial. Una vez construidos, éstos van a servir para retroalimentar el modelo utilizado o para validarlo.
- **Optimización del proceso:** ayuda a optimizar el modelo de acuerdo a los datos que se obtienen experimentalmente de la observación del proceso.

### **Software de simulación**

Un software va a describir de manera más o menos amplia, los procesos que se van a desarrollar en forma de diagramas de flujo en donde se colocan las operaciones unitarias y se conectan todas las corrientes de intercambio de materiales y productos. Un software tiene que tener la capacidad de resolver balances de energía y masa para encontrar un punto de funcionamiento estable. Se pueden clasificar los simuladores de la siguiente forma:

- **Simuladores con modelos previamente programados:** en este tipo de simuladores, el interesado va a utilizar paquetes de software de uso específico, es decir se encuentran elaborados para una operación unitaria específica y un rango determinado de operaciones las mismas que se interrelacionan entre sí para simular un proceso, aquí podemos encontrar varios simuladores como: Aspen Hysis, Aspen Plus, Chemcad, COCO, etc. Estos programas ya poseen la programación del modelo, además que son poco versátiles y son confiables ya que la persona quien los maneja no necesita tener un amplio conocimiento en simulación. (Terragrosa, 2008)
- **Simuladores programables:** en estos softwares el interesado programa sus propios modelos, ya que hace uso de paquetes de software de cálculo matemático tales como: Mathematica, Matlab, Scilab, etc. Este programa permite al usuario colocar sus propios modelos y también puede interactuar de manera profunda con los mismos. Aquí se va a tener mayor libertad

para simular, sin embargo, se deber poseer un amplio conocimiento en simulación, así como también de principios científicos como manejo de lenguaje de programación. (Terragrosa, 2008)

### **Microsoft Excel**

La simulación matemática está basada en el ingreso de ecuaciones de un determinado sistema, con lo cual se busca evaluar su evolución ante determinados cambios de variables. Es por ello que una herramienta importante son las hojas de cálculo que podemos encontrar en la suite de ofimática de Microsoft Office. Excel permite que se usen operadores matemáticos comunes y también el uso de funciones especiales pre configuradas o en su defecto diseñadas por el propio usuario. Esto hace que sea posible realizar cambios puntuales y que a su vez se actualicen los cálculos automáticamente, sin que el usuario realice grandes cambios y con ello asegurándose que no se cometen errores de cálculo.

Esta herramienta informática puede llegar a ser un poderoso apoyo al momento de realizar una gran cantidad de cálculos, además existe una gran cantidad de computadores que cuentan con un procesador de hojas de cálculo, haciendo que cualquier simulación matemática pueda ser analizada sin necesidad de un software especializado. Otra de las ventajas es que las hojas de cálculo elaboradas en Microsoft Excel son compatibles con otras suites de ofimática de código abierto, lo cual favorece que las empresas públicas de Ecuador no requieran de una inversión en licencias informáticas en caso de necesitar uno.

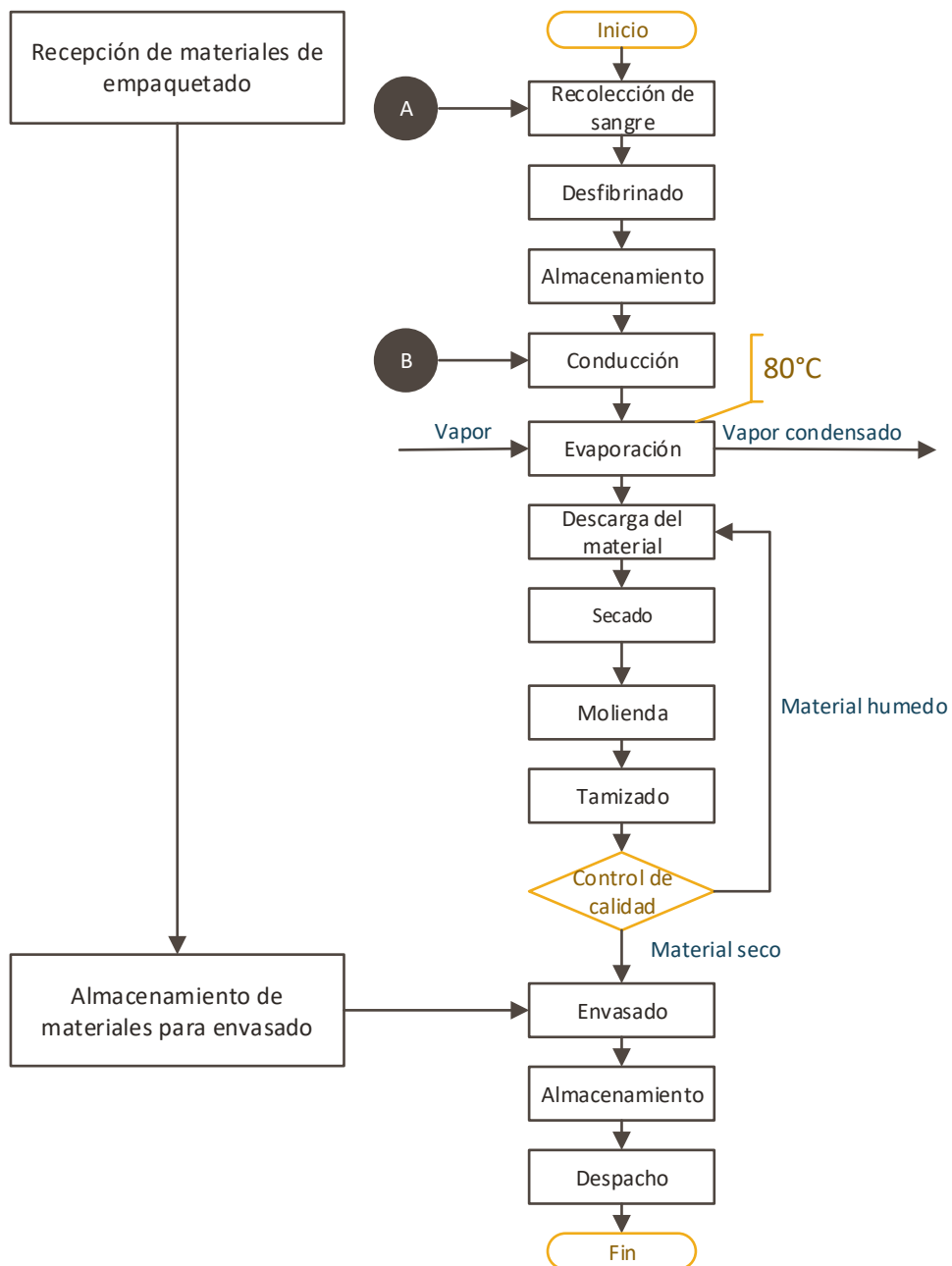
#### *1.3.2.5. Descripción del proceso*

El proceso de secado de la sangre, es uno de los más costosos por la cantidad de agua que es necesario transportar y evaporar además de las características propias de corrosión y abrasión que ejerce sobre los equipos.

Cuando se hace una recolección excelente, cuidando que no se contamine con bacterias y enfriando la sangre, se puede obtener la harina de sangre o separar el plasma de las células rojas.

El costo más importante se refiere al mantenimiento general de la planta, maquinaria, equipo e instalaciones. Así como también, la mano de obra que se utiliza en la Fábrica de Harina de Sangre.

El proceso para la elaboración de la Harina de Sangre es un proceso complejo, que contiene operaciones unitarias que permiten obtener un producto con condiciones adecuadas para su posterior uso.



**Figura 11-1:** Diagrama de elaboración de harina de sangre

Elaborado por: Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

### Recolección de la sangre

La sangre proviene de animales aprobados durante el control sanitario, recogida en condiciones higiénicas y desfibrinada. Además, puede ser utilizada entre 2 y hasta 3 días después del sacrificio. Para su uso industrial y humano es oportuno conservarla en estado líquido. Por esto, la sangre

debe ser desfibrinada. Este proceso consiste en batir la sangre, durante la sangría, mediante cucharas o agitadores mecánicos.

### **Desfibrinado de la sangre**

La fibrina que se adhiera al instrumento en forma de filamentos rojos se seca para su uso como alimento de aves o para su uso en la fabricación de pectina o lecitina. La coagulación se puede evitar con la adición de una solución anticoagulante al recipiente vacío. Así, se puede conservar la sangre durante dos y hasta tres días. En forma congelada, se puede conservar la sangre por mucho más tiempo

Es el desfibrinado mecánico de la sangre que se lo realiza con la ayuda de un agitador, que en el caso más sencillo es un palo, que se lo mueve con fuerza sea uno u otro sentido, existen también los batidores de madera que remueven con mayor intensidad la masa de sangre.

### **Almacenamiento**

En esta etapa la sangre es dirigida al silo, que es un receptáculo de forma cilíndrica en la parte superior y que en su parte inferior tiene forma de cono, su material de construcción es de acero inoxidable con una capacidad de 2410 L. Este recipiente recibe vapor por medio de una tubería que es transportado desde el caldero.

### **Conducción al Cooker**

La conducción final se da a través de una tubería de 8 cm de diámetro y 3 m de longitud la misma que se conecta desde la parte inferior y se conecta de forma lateral al cooker este tiene capacidad de 1260 L este tiene en la parte superior una compuerta por la cual se añade de forma anual huesos este proceso dura alrededor de 4 o 5 horas para obtener la harina por medio de la deshidratación

### **Cocción de la materia prima**

Una vez lleno el silo de recepción con ayuda con una bomba la cual se eleva hacia el digestor, el cual es un cilindro provisto de una doble camisa por el cual circula vapor que al contacto con la

sangre esta se deshidrata. La cocción de la sangre se da a una temperatura de 120 grados centígrados con una presión de 30 PSI, por un tiempo de 30 minutos.

### **Control de variables**

Para el control de variables vamos a tomar en cuenta las siguientes:

#### ✓ Temperatura

Se controla la temperatura porque cuando se tiene una temperatura mayor a 100 grados la sangre tiende a cambiar a color marrón oscuro.

#### ✓ Tiempo

La variable del tiempo debe ser controlada constantemente (tiempo de residencia para obtener un secado completo y eficiente).

#### ✓ Humedad

En el producto terminado se controla este factor para evitar el desarrollo de mohos u hongos que puedan degradar el producto.

### **Descargue del material**

Una vez terminado el proceso se procede a retirar el producto de forma manual para proceder a la etapa de enfriamiento y pulverización.

#### ✓ Molienda del material

La molienda es una operación unitaria destinada a la reducción de las partículas, consiste en extraer la humedad hasta un máximo de 10% para su posterior molienda generando así, harina de sangre con características proteicas utilizables para alimentación animal.

- ✓ Control de calidad

Se realiza un control de calidad del producto (harina de sangre) en lo que respecta a humedad puesto que si la humedad es alta da paso a la proliferación de mohos lo cual degrada el producto causando malos olores.

- ✓ Embalaje y almacenamiento

La harina de sangre es empacada al granel en sacos de yute de 40Kg para luego pasar a la comercialización.

### **Puntos críticos a controlar**

- ✓ Recolección de sangre (materia prima)

En la recolección de sangre es importante que no exista la presencia de contaminantes o agentes extraños al mismo ya que estos podrían contaminarla afectando así a la calidad del producto final.

- ✓ Evaporación y secado de la materia prima

Este es uno de los puntos críticos más importantes a controlar debido a que de esto depende la calidad del producto.

Las temperaturas altas mayores a 100 °C provocan la degradación de color rojo de la sangre tomando un tono marrón oscuro no muy agradable visualmente.

- ✓ Tamizado

El tamizado al ser una operación unitaria que separa las partículas de sangre de acuerdo a los diferentes diámetros la importancia radica en proporcionar un producto fino y homogéneo facilitando el mezclado para usos posteriores.

### Disponibilidad de materia prima

El camal de Riobamba es el responsable del abastecimiento de materia prima es decir la harina de sangre, por lo que para el rediseño del proceso es necesario conocer cuanta materia prima (sangre) va a ser procesada. En el siguiente cuadro detallamos la producción, días laborales, el nivel de rendimiento por animal, los promedios semanales, mensuales y anuales que brindan un promedio de faenamiento actual. Se debe considerar que existe un desperdicio en la materia prima del 10% que es eliminado por el contenido de adrenalina. (Jara, y otros, 2004)

**Tabla 10-1:** Comportamiento del faenamiento actual en el Camal de Riobamba

<b>DÍAS DE FAENAMIENTO</b>	<b>GANADO FAENADO (Nº RECES)</b>	<b>RENDIMIENTO POR ANIMAL (%)</b>	<b>DISPONIBILIDAD DE SANGRE (L)</b>
Lunes	118	8,5	1.003
Martes	148	8,5	1.258
Miércoles	-	-	-
Jueves	86	8,5	731
Viernes	147	8,5	1.249,5
Sábado	128	8,5	1.088
Disponibilidad semanal			5.329,5
Disponibilidad mensual			21.318
Disponibilidad anual			255.816

Fuente: Administración GADM-R. 2017

Realizado por: Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

### 1.3.2.6. Rediseño de la fábrica de harina de sangre

Para el rediseño de la fábrica de harina de sangre en el Camal Frigorífico de Riobamba, se realizó un análisis del funcionamiento de cada equipo que conforma el proceso, por lo que como conclusión se determinó que el equipo de secado tiene un mal funcionamiento, el mismo tiene falencias en cuanto a tiempo de secado y recirculación de aire. Para lograr optimización positiva se desarrollará cálculos de ingeniería con datos procedentes en el Camal y con datos provenientes de una prueba desarrollada en el laboratorio de Operaciones Unitarias en el secador de bandejas a gas. De esta manera se espera lograr un rediseño óptimo y de esta manera mitigar el principal problema.

#### **Ecuaciones para cálculos**

##### *Balance de masa en el Cooker*

El balance de masa se basa en la ley de conservación de la materia, la cual, se aplica al conjunto materia-energía y no a la materia energía por separado. Este procedimiento de cálculo permite cuantificar la masa que entra y sale de un proceso. Generalmente se usa para la determinación de flujos en la entrada y salida de un proceso, así pues, se determina:

#### **Ecuación 1-3: Balance general en el Cooker**

$$F + W = V + S + L$$

Donde:

**F**= Alimentación sangre

**W**= Alimentación vapor

**V**= Vapor Residual

**S**= Harina Húmeda

**L**= Vapor condensado



### *Capacidad calorífica*

Se puede expresar como la cantidad de calor requerida para elevar en 1°C, la temperatura de una determinada cantidad de sustancia. Cuanto mayor sea la capacidad calorífica de una sustancia, mayor será la cantidad de calor entregada a ella para subir su temperatura. Fue investigada y nombrada por el químico Joseph Black en 1750. Esta es usada en casos donde se tienen soluciones con dos capacidades caloríficas diferentes.

**Ecuación 2-3:** Capacidad calorífica de la sangre y harina de sangre húmeda

$$Cp_F = Cp_s + XhCp_{agua}$$

Donde:

$Cp_F$  = Capacidad calorífica de la sangre líquida, en kJ/kg°C

$Cp_{H_2O}$  = Capacidad calorífica del agua, en kJ/kg°C

Xh = Fracción másica de agua en la sangre

### *Entalpía*

La entalpía es una propiedad extensiva es decir depende de la cantidad de materia presente, y esta se puede emplear para obtener el calor absorbido o desprendido por una reacción química. La entalpía es una función de estado. En la historia de la termodinámica su creador fue el holandés Heike Kamerlingh Onnes a inicios del siglo XX.

**Ecuación 3-3:** Entalpía de la sangre y harina de sangre húmeda

$$h_F = C_p T$$

Donde:

$h_s$  = Entalpía de la Sangre líquida, en kJ/kg

$C_p$  = Capacidad calorífica de la sangre líquida, en kJ/kg°C

T = Temperatura de la sangre líquida

### *Balance de energía en el Cooker*

La energía es la capacidad de la materia para producir trabajo, adoptando diferentes formas, las mismas que se pueden interconvertir directa o indirectamente unas en otras. El balance de energía

al igual que el balance de materia es una derivación matemática de la Ley de la conservación de la energía. Este balance es un principio físico que se aplica para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema.

**Ecuación 4-3:** Balance global en el Cooker

$$F + W = V + S + L + Q_p$$

$$Fh_F + WH_W = VH_V + Sh_S + Lh_L$$

*Economía del proceso*

Se determina como la cantidad de vapor vivo, generado en la caldera, necesario para evaporar una determinada cantidad de líquido de la sustancia a evaporar. Aplicado en la industria que usa vapor como medio calefactor.

**Ecuación 5-3:** Economía del proceso de deshidratación

$$e = \frac{\dot{m}_{evaporado}}{\dot{m}_{vapor vivo}} * 100$$

Donde:

$e$  = Economía del proceso de evaporación

$\dot{m}_{evaporado}$  = Flujo de líquido evaporado, en kg/h

$\dot{m}_{vapor vivo}$  = Flujo másico de vapor de calefacción usado, en kg/h

*Flujo de calor*

La conservación del teorema de la energía también se aplica a la transferencia de calor. En un sistema aislado, dado el calor es siempre igual al calor absorbido o cambio de calor en el sistema es igual a cero. Si dos objetos tienen temperaturas diferentes están en contacto, la transferencia de calor se inicia entre ellos.

**Ecuación 6-3:** Flujo de calor requerido en el sistema

$$\dot{Q} = (m_a - m_c)\lambda + m_a C p_a (T_c - T_a)$$

Donde:

$\dot{Q}$  = Flujo de calor requerido para evaporar el agua de la sangre, en kJ/h

$m_a$  = Flujo másico de sangre líquida, en kg/h

$m_c$  = Flujo masico de harina de sangre húmeda obtenida, en kg/h

$\lambda$  = Calor latente de vaporización del agua, en kJ/kg

$Cp_a$  = Capacidad calorífica de la harina de sangre, en kJ/kg°C

$T_a$  = Temperatura de ingreso de la sangre líquida, en °C

$T_c$  = Temperatura de ebullición de la sangre líquida, en °C

#### *Balance de masa en el Secador*

Este procedimiento de cálculo permite cuantificar la masa que entra y sale de un proceso.

**Ecuación 7-3:** Balance del componente sólido en el secador

$$A + H = B + S$$

$$HX_H = SX_S$$

Donde:

H= Flujo másico a la entrada del secador, en kg/h.

S= Flujo másico a la salida del secador, en kg/h.

X<sub>H</sub>= Fracción másica de los sólidos a la entrada.

X<sub>S</sub>= Fracción másica de los sólidos a la salida.

#### *Masa de aire*

Un aire carente de agua y que se forma solo por la mezcla de gases, el cual es conocido como aire seco y un aire real que contiene una proporción de agua en un instante de tiempo el cual es llamado aire húmedo.

**Ecuación 8-3:** Masa de aire seco que ingresa al secador

$$M_a = \frac{HXh_H - SXh_S}{Y^B - Y^A}$$

Donde:

$M_a$ = Flujo másico de aire seco, en kg/h.

$X_{H}$ = Fracción másica de agua en la corriente de entrada.

$X_{S}$ = Fracción másica de agua en la corriente de salida.

$Y^B$ = Humedad absoluta a la salida del secador

$Y^A$ = Humedad absoluta a la entrada del secador

### *Flujo másico*

El gasto másico es una magnitud física que expresa la variación de la masa con respecto al tiempo en un área específica. En el sistema internacional se mide en unidades de kilogramos por segundo. Se usa frecuentemente en sistemas termodinámicos como tuberías, toberas, turbinas, compresores y difusores.

**Ecuación 9-3:** Flujo másico de corriente de aire

$$m_i = M_a + M_a Y^i$$

Donde:

$m_i$  = Flujo masico de la corriente de aire, en kg/h

$M_a$ = Flujo másico de aire seco, en kg/h

$Y^i$ = Humedad de la corriente de aire, en kgH<sub>2</sub>O/kg aire seco

$Y^A$ = Humedad del aire en la entrada del secador, en kgH<sub>2</sub>O/kg aire seco

$Y^B$ = Humedad del aire en la salida del secador, en kgH<sub>2</sub>O/kg aire seco

### *Volumen húmedo*

La humedad del aire se debe al vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera. El vapor procede de la evaporación de los mares y océanos, de los ríos, los lagos, las plantas y otros seres vivos. La cantidad de vapor de agua que puede absorber el aire depende de su temperatura. El aire caliente admite más vapor de agua que el aire frío.

**Ecuación 10-3:** Volumen húmedo

$$Vh = Va_i + \left( \frac{Vs - Va_i}{Y_{S_i}} \right) Y_i$$

Donde:

Vh= Volumen de aire húmedo, en m<sup>3</sup>/kg

Va<sub>i</sub>= Volumen de aire seco

Vs= volumen de saturación

Y<sub>s<sub>i</sub></sub>= Humedad de saturación

Y<sub>i</sub>= Humedad del aire en la corriente de salida del secador

*Flujo volumétrico*

Es el volumen de un medio que se mueve a través de una sección transversal dentro de un período de tiempo dado.

**Ecuación 11-3:** Flujo volumétrico de aire en el ventilador

$$Vi = Ma * Vh$$

Donde:

Vi= Flujo volumétrico de aire en el ventilador.

*Balance de energía en el secador*

El balance de energía al igual que el balance de materia es una derivación matemática de la Ley de la conservación de la energía. Este balance es un principio físico que se aplica para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema.

**Ecuación 12-3:** Entalpía harina húmeda, harina seca

$$h_s = C_p T$$

Donde:

h<sub>s</sub> = Entalpia de la harina húmeda, en kJ/kg

$C_p$  = Capacidad calorífica de la harina de sangre húmeda, en kJ/kg°C

T= Temperatura de la harina de sangre húmeda

**Ecuación 13-3:** Balance general de energía: Entalpía de aire a la salida del secador

$$AH_A + Hh_H = Bh_B + Sh_s$$

$$Bh_B = AH_A + Hh_H - Sh_s$$

$$h_B = \frac{AH_A + Hh_H - Sh_s}{B}$$

Donde:

$h_B$  = Entalpía del aire a la salida del secador, en kJ/kg

$h_H$  = Entalpía de la harina de sangre húmeda

**Ecuación 14-3:** Flujo de calor

$$\dot{Q} = Ma(Hg_f - Hg_{atm})$$

Donde:

$\dot{Q}$  = Flujo de calor necesario para calentar el aire, en kJ/h

$Hg_f$  = Entalpía del aire caliente en la entrada del secador, en kJ/kg

$Hg_{atm}$  = Entalpía del aire fresco atmosférico, en kJ/kg

**Ecuación 15-3:** Capacidad calorífica

$$Cp = Cp_s + XhCp_{agua}$$

Donde:

$Cp_s$  = Capacidad calorífica de la harina de sangre, en kJ/kg°C

$Cp_{agua}$  = Capacidad calorífica del agua, en kJ/kg°C

Xh= Fracción másica de agua en la harina de sangre

*Eficiencia*

Es una razón porcentual que mide la eficiencia productiva de la maquinaria industrial, la eficiencia hace énfasis en los medios hacer las cosas correctamente, resolver problemas, ahorrar gastos en un proceso.

**Ecuación 16-3:** Eficiencia térmica del secador

$$\varepsilon_{TG} = \frac{T_{bs,2} - T_{1a}}{T_{bs,2} - T_{atm}} * 100$$

Donde:

$T_{1a}$  = Temperatura de salida de los gases como si la operación fuese verdaderamente adiabática, es decir que puede considerarse como la temperatura teórica de salida del gas si no hubiese pérdidas de calor.

$T_{atm}$  = Temperatura ambiente

$T_{bs,2}$  = Temperatura de bulbo seco a la entrada

*Tiempo de residencia*

Es el tiempo necesario que debe mantenerse el sólido a secar dentro del equipo de secado hasta alcanzar la humedad deseada o hasta alcanzar la humedad de equilibrio. Generalmente se usa para dimensionar equipos de secado para sustancia específicas.

**Ecuación 17-3:** Cálculo del tiempo de residencia

$$\theta = \frac{S}{A} * \frac{(X_1 - X_2)}{W_C}$$

Donde:

$\theta$  = Tiempo de residencia dentro del secador, en h

$S$  = Peso del solido seco, en kg

$A$  = Superficie de secado, en m<sup>2</sup>

$X_1$  = Humedad inicial

$X_2$  = Humedad final

$W_C$  = Velocidad de secado critica.

## **1.4. Beneficiarios directos e indirectos**

### ***1.4.1. Directos***

Los beneficiarios que están involucrados directamente con el trabajo de titulación es el Camal del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Riobamba, ya que el estudio está enfocado específicamente en el rediseño de la planta donde se elabora la Harina de sangre.

### ***1.4.2. Indirectos***

Como beneficiarios indirectos se encuentra la comunidad del sector aledaño del Camal del GADM-R, ya que con el respectivo rediseño se podrá mejorar las condiciones de la planta que ocasiona malestares a la comunidad. Cabe mencionar que en cuanto a lo ambiental también se benefician no solo habitantes sino también efluentes que se contaminan a causa de que la fábrica de harina de sangre no se encuentra funcionando adecuadamente y los desechos vertidos ocasionan impacto ambiental en gran magnitud.



## **CAPITULO II**

### **2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.1. General**

- Rediseñar y simular el proceso de obtención de harina de sangre en el Camal del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Riobamba

#### **2.2. Específicos**

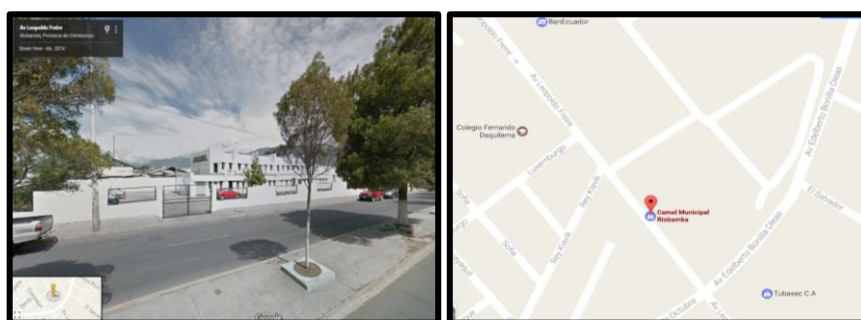
- Efectuar el diagnóstico del estado actual del proceso que se desarrolla en la Fábrica de Harina de Sangre del Camal del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba.
- Identificar las variables de proceso en cada operación de elaboración de Harina de Sangre.
- Simular el proceso de elaboración de Harina de Sangre, una vez establecido el rediseño.
- Plantear las alternativas de viabilidad técnica y económica en la Fábrica de Harina de Sangre del Camal del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba.

## CAPITULO III

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1. Localización del proyecto

El Camal del GADM-R se encuentra ubicado en la Av. Leopoldo Freire y Av. Edilberto Bonilla (Circunvalación), en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.



**Figura 1-3:** Ubicación satelital del Camal Municipal de Riobamba

**Fuente:** Google Maps (2017)

**Realizado por:** Jorge López-Yeslie Vargas, 2017

**Tabla 1-3:** Coordenadas geográficas

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
<b>Provincia</b>	Chimborazo
<b>Cantón</b>	Riobamba
<b>Parroquia</b>	Riobamba
<b>Coordenadas UTM</b>	<b>Este:</b> 763413.1871 m <b>Norte:</b> 9813196.457 m <b>Huso:</b> 17 <b>Hemisferio:</b> Sur

**Fuente:** GOOGLE.MAPS (2017)

**Realizado por:** Jorge López- Yeslie Vargas,2018

## **3.2. Ingeniería del proyecto**

### **3.2.1. Tipo de estudio**

El proyecto que se presenta es tipo técnico, por lo que para su estudio se realizará un estudio analítico- descriptivo y experimental ya que los datos para ser controlados se de manera experimental.

### **3.2.2. Métodos y técnicas**

#### **3.2.2.1. Métodos**

#### **Método de análisis – síntesis**

Este método esta esencialmente ligado a dos procesos o actividades mentales relacionadas, el análisis y la síntesis, que sirven para estudiar problemas o realidades complejas.

##### **✓ Análisis**

El análisis permite que separar un proceso en sus partes constitutivas para así proceder a su estudio individual, examinando la relación existente entre cada uno de ellos. En este caso el proceso de elaboración de harina de sangre es dividido en las distintas operaciones que se efectúan, se estudia de forma detallada cada una de estas operaciones y se determinan las variables que pueden influir en el proceso.

##### **✓ Síntesis**

La síntesis permite unificar las conjeturas, que se generan en la etapa de análisis, sobre cuáles serían los posibles problemas y si existe alguna relación aparente entre ellos que afecten de forma significativa al proceso. Lo que nos permite crear una explicación aproximada que será puesta a prueba. Aplicando este método podremos agrupar las conjeturas sobre los posibles problemas y agruparlas de forma que podamos brindar una explicación aproximada de su efecto al proceso de elaboración de harina de sangre para después trabajar en soluciones para estas.

### 3.2.2.2. Técnicas

#### Muestreo

Para la extracción de muestras de harina de sangre se siguió el procedimiento descrito en la norma NTE INEN 0618:81 Alimentos para animales. Muestreo. Las muestras deben ser almacenadas en recipientes limpios y secos; sellados y marcados con un número de identificación y la fecha de muestreo. Además, debe suscribirse un acta de muestreo en donde consten los siguientes datos:

- a. Norma INEN de referencia (INEN 618)
- b. Nombre de la fabrica
- c. Fecha de muestreo
- d. Lugar y toma de muestras
- e. Numero de recipientes
- f. Identificación del lote y de la partida
- g. Masa del lote, en kg
- h. Nombres, firmas y direcciones de las partes interesadas y del que tomo la muestra
- i. Observaciones que se considerasen necesarias.

**Tabla 2-3:** Técnica de muestreo

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Procedimiento de obtención de una parte del lote, a partir de esta se realizan los exámenes.	Sonda de muestreo	No necesarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Determinar el número de muestras dependiendo del tamaño del lote</li> <li>✓ La posición de muestreo debe realizarse al azar</li> <li>✓ La muestra elemental estará conformada por tres muestras correspondientes a las posiciones inferior, media y superior del recipiente.</li> <li>✓ La muestra no debe ser inferior a 0,75 kg</li> </ul>	Lectura

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0618. 1981

**Realizado por:** Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

## Humedad

Para la determinación de humedad se realizó el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0540:1981 Alimentos para animales. Determinación de la pérdida por calentamiento.

**Tabla 3-3:** Técnica para determinación de humedad

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Cantidad de humedad (agua) presente en alimento para animales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capsula de aluminio o vidrio</li> <li>- Estufa</li> <li>- Desecador</li> <li>- Balanza analítica</li> </ul>	No necesarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra.</li> <li>- Lavar, secar y pesar la capsula.</li> <li>- Transferir 2g de muestra a la capsula con una aproximación a 0,1mg</li> <li>- Calentar el producto a <math>135^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}</math>, por dos horas</li> <li>- Dejar enfriar en el desecador y pesar</li> <li>- Repetir el proceso hasta obtener un peso que no exceda a 0,1mg</li> </ul>	$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \times 100$ <p>donde:</p> <p>P= pérdida por calentamiento, en porcentaje de masa</p> <p>m= masa del crisol vacío, en g</p> <p>m<sub>1</sub>= masa del crisol con la muestra húmeda, en g.</p> <p>m<sub>2</sub>= masa del crisol con la muestra seca, en g.</p>

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0540. 1981

**Realizado por:** Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

## Grasa

Para la determinación del contenido graso de la muestra de harina de sangre se realizó usando el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0541:1981 Alimentos para animales. Determinación de la materia grasa.

**Tabla 4-3:** Técnica para determinación de grasa

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos

<p>Contenido de materia grasa presente en alimentos para animales</p>	<p>Equipo de extracción Soxhlet</p> <p>Matraz de extracción</p> <p>Plancha eléctrica de calentamiento</p> <p>Cartucho de extracción</p> <p>Estufa</p> <p>Desecador</p> <p>Algodón</p> <p>Balanza analítica</p>	<p>Éter de petróleo</p>	<p>La determinación debe ser realizada por duplicado sobre la misma muestra.</p> <p>Lavar, secar y pesar el matraz de extracción con aproximación a 0,1mg</p> <p>Pesar 2g de muestra con aproximación a 0.1mg y transferir al cartucho de extracción, de forma tal que no existan pérdidas de material.</p> <p>Agregar de 30 a 40 cm<sup>3</sup> de éter de petróleo; conectar al extractor y calentar.</p> <p>Efectuar la extracción durante el tiempo preciso, hasta que el éter del cuerpo extractor sea incoloro.</p> <p>Colocar el matraz en la estufa a 100°±2°C por 30 minutos para eliminar los restos de disolvente</p> <p>Dejar enfriar en el desecador y pesar</p> <p>Repetir el secado a intervalos de 30 minutos hasta que las diferencias entre pesos no sea superior a 0,1mg</p>	<p>G</p> $= \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100$ <p>Donde:</p> <p>G= cantidad de grasa presente, en porcentaje de masa</p> <p>m= masa del material seco, en g</p> <p>m<sub>1</sub>= masa del matraz de extracción con la materia grasa extraída, en g.</p> <p>m<sub>2</sub>= masa del matraz de extracción vacío, en g.</p>
---	--	-------------------------	---	--

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0541. 1981

**Realizado por:** Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

### **Ceniza**

Para la determinación de cenizas presentes en la harina de sangre se siguió el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0544:1980 Alimento para animales. Determinación de las cenizas

**Tabla 5-3:** Técnica para determinación de ceniza

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Producto resultante de la incineración de la muestra de alimentos para animales	Crisol de platino u otro material, de fondo plano Mufla Desecador Pinza para crisol Balanza analítica	No necesario	La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra  Calentar el crisol en la mufla a 600°±2°C por 30 minutos, dejar enfriar en el desecador y pesar con aproximación a 0.1mg  Pesar en el crisol 2g de muestra con aproximación de 0,1mg  Colocar el crisol cerca de la puerta de la mufla por unos minutos, a fin de evitar pérdidas por proyección.  Introducir el crisol en la mufla a 600°±2°C hasta obtener cenizas libres de carbón.  Sacar el crisol, dejar enfriar en el desecador y pesar con aproximación a 0,1mg  Repetir la incineración en periodos de 30 minutos, enfriando y pesando hasta que no exista disminución de masa	$C = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \times 100$  donde: C=contenido de cenizas, en porcentaje de masa  m= masa del crisol vacío, en g  m <sub>1</sub> = masa del crisol con la muestra antes de la incineración, en g.  m <sub>2</sub> = masa del crisol con las cenizas, en g.

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0544. 1981

**Realizado por:** Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

### Proteína

Para la determinación de la cantidad de proteína presente en la harina de sangre se realizó según el procedimiento especificado en la norma NTE INEN 0543:1981 Alimentos para animales. Determinación de la proteína cruda.

**Tabla 6-3:** Técnica para determinación de proteína

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Cantidad de nitrógeno total, expresado convencionalmente como contenido de proteína.	Equipo Kjeldahl Matraz Kjeldahl 500cm <sup>3</sup> Matraz Erlenmeyer 500cm <sup>3</sup> Bureta de 50cm <sup>3</sup> Balanza analítica	Ácido sulfúrico concentrado, densidad 1.84g/cm <sup>3</sup> a 20°C, exento de nitrógeno  Solución 0,5N o 0,1N de ácido sulfúrico, debidamente estandarizada  Solución concentrada de hidróxido de sodio libre de nitrógeno; densidad superior a 1.36g/cm <sup>3</sup>  Solución 0,5N o 0,1N de hidróxido de sodio, debidamente estandarizada.  Solución de sulfuro alcalino o solución de tiosulfato de sodio.  Sulfato de potasio o sulfato de sodio anhidro, libre de nitrógeno, reactivo para análisis	La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra.  Pesar de 0,5 a 1g de muestra con aproximación a 0.1mg  Transferir la muestra al matraz Kjeldahl y agregar 0,7g de óxido de mercurio (o 0,65g de mercurio metálico) y 15g de sulfato de sodio (o 15g de sulfato de sodio anhidro)  Agregar 25 cm <sup>3</sup> de ácido sulfúrico concentrado y un trozo pequeño de parafina.  Agitar el matraz y colocar en el equipo Kjeldahl. Calentar suavemente hasta que no se forme más espuma y aumentar el calentamiento hasta que hierva uniformemente. Continuar hasta que presente un aspecto limpio, continuar con el calentamiento durante 30 minutos y dejar enfriar.  Agregar 200cm <sup>3</sup> de agua destilada, agregar 25cm <sup>3</sup> de solución de sulfuro alcalino (o	$P = (1,40)(6,25) \frac{(V_1N_1 - V_2N_2) - (V_3N_1 - V_4N_4)}{m}$ <p>Donde: P = contenido de proteínas en alimentos para animales, en porcentaje de masa. V<sub>1</sub> = volumen de la solución de ácido sulfúrico empleado para recoger el destilado de la muestra, en cm<sup>3</sup>. N<sub>1</sub> = normalidad de la solución de ácido sulfúrico. V<sub>2</sub> = volumen de la solución de hidróxido de sodio empleado en la titulación, en cm<sup>3</sup>. N<sub>2</sub> = normalidad de la solución de hidróxido de sodio. V<sub>3</sub> = volumen de la solución de ácido sulfúrico empleado para recoger el destilado del ensayo en blanco, en cm<sup>3</sup>. V<sub>4</sub> = volumen de la solución de hidróxido de sodio empleado en la titulación del ensayo en blanco, en cm<sup>3</sup>. m = masa de la muestra, en g.</p>



		<p>Oxido de mercurio o mercurio metálico, reactivo para análisis.</p> <p>Solución alcohólica de rojo de metilo.</p> <p>Granallas de zinc</p>	<p>tiosulfato de sodio) y agitar para precipitar el mercurio.</p> <p>Agregar granallas de zinc.</p> <p>Inclinar el matraz y verter por sus paredes, para formar dos capas, 75cm<sup>3</sup> de solución de hidróxido de sodio concentrado.</p> <p>Calentar el matraz Kjeldahl al condensador. El extremo del condensador debe estar sumergido en 50cm<sup>3</sup> de solución 0,5N o 0,1N de ácido sulfúrico contenido en el matraz Erlenmeyer, al cual se han agregado unas gotas de solución alcohólica de rojo de metilo.</p> <p>Agitar el Kjeldahl hasta mezclar su contenido y luego calentar.</p> <p>Destilar hasta que todo el amoniaco haya pasado a la solución acida del Erlenmeyer.</p> <p>Usando la solución 0,5N o 0,1N de hidróxido de sodio, titular el contenido en el matraz Erlenmeyer.</p> <p>Realizar un ensayo en blanco sin la muestra.</p>	
--	--	--	---	--

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0543. 1981

**Realizado por:** Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

### 3.2.3. Parte experimental

En esta etapa el investigador manipula las variables para establecer la relación que existen entre ellas, basándose en la metodología científica. En este proyecto el método experimental tendrá como fin obtener datos cuantitativos que permitan validar las modificaciones que se realicen al proceso.

#### 3.2.3.1. Muestreo

Se realizó el muestreo de la harina de sangre al momento de la descarga a las bandas transportadoras según la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0618:81 Alimentos para animales. Muestreo. Se tomaron 3 muestras elementales por cada sección en el Batch 1 que se realizó el día 20 de enero del 2018 a las 13:40 pm. Es decir, 3 tomadas en las secciones inicial, media y final del cooker.

**Tabla 7-3:** Planificación del Muestreo realizado

HORA	MUESTRAS	SECCIÓN	LUGAR
13:40-13:45	1	Inicial del cooker	COOKER
13:45-13:50	2		
13:50-13:55	3		
13:55-14:00	1	Intermedia del cooker	
14:00-14:05	2		
14:05-14:10	3		
14:10-14:15	1	Final del cooker	
14:15-14:20	2		
14:20-14:25	3		

**Realizado por:** Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

#### 3.2.3.2. Equipos, Materiales y Reactivos

Se utilizaron diferentes materiales y equipos cuando se realizó el muestreo, así como también para las mediciones de temperaturas y diferentes variables que se muestran a continuación:

**Tabla 8-3:** Muestreo y recolección de información

MATERIALES	EQUIPOS
✓ Guantes	✓ Pirómetro
✓ Mascarilla	✓ Anemómetro
✓ Cofia	
✓ Mandil	
✓ Fundas ziploc	
✓ Espátula	

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

**Tabla 9-3:** Materiales y equipos para el secado de la harina de sangre

MATERIALES	EQUIPOS
✓ Guantes	✓ Pirómetro
✓ Mascarilla	✓ Anemómetro
✓ Cofia	✓ Balanza
✓ Mandil	✓ Secador de bandejas a gas
✓ Papel aluminio	
✓ Espátula	

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

### 3.2.4. *Datos experimentales*

#### 3.2.4.1. *Datos de temperatura*

En la fábrica de harina de sangre la temperatura se tomó en diferentes puntos, así como también en diferentes tiempos, es decir, la temperatura ambiente al iniciar el proceso, después la temperatura del ambiente una vez finalizado el proceso. Además, se tomaron datos de temperatura a la sangre líquida y cuando ésta ya se había deshidratado.

#### 3.2.4.2. *Datos de humedad relativa*

La humedad relativa se pudo tomar de la misma manera que la temperatura en diferentes puntos de la fábrica para poder determinar un promedio aproximado de la humedad que se encuentra en el ambiente.

**Tabla 10-3:** Registro de datos de temperatura y humedad relativa

HORA	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
7:00	13,6°C	69%
10:00	20°C	76%
13:40	19,4°C	90%

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

Estos datos ayudarán a graficar balances de masa y energía en el evaporador, así como también en el secador para determinar las variables que se deben controlar. Se debe mencionar que los datos se obtuvieron una vez finalizado el proceso de deshidratación en el cooker, ya que el secado que es el siguiente proceso a realizarse para obtener el producto final no se realizó por no encontrarse el equipo en buen estado. El secado se lo realizó en el secador de bandejas a gas en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias-ESPOCH.

#### 3.2.4.3. Datos del proceso de secado

Se procedió a tomar datos necesarios para la realización de las curvas de secado, de esta manera se podrá determinar el tiempo en el cual la harina de sangre va a tener una humedad adecuada para obtener un producto de calidad.

**Tabla 11-3:** Peso de bandejas vacías

BANDEJA	1	2	3
PESO	1236	1246,5	1240

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

**Tabla 12-3:** Reporte de pesos

PESOS	BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	HORA	TIEMPO (min)
peso inicial	1836,0	1846,5	1840,0	10:15	0
peso 1	1764,0	1775,4	1772,0	11:00	45
peso 2	1736,0	1745,5	1749,0	11:30	75
peso 3	1701,5	1724,5	1725,3	12:00	105
peso 4	1676,5	1696,3	1698,7	12:30	135
peso 5	1657,0	1677,6	1684,5	13:00	165
peso 6	1627	1641	1658,7	13:30	195
peso 7	1613,5	1636,2	1654,8	14:00	225

peso 8	1611,6	1634,3	1659,5	14:30	255
peso 9	1608,6	1635,7	1660,7	15:00	285
peso 10	1609,1	1634,1	1658,3	15:30	315
peso 11	1606,6	1632	1657,7	16:00	345
peso 12	1607,3	1630,5	1657,6	16:30	375
Peso Final	1602,1	1624,7	1656,8	17:00	405

**Realizado por:** Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

#### 3.2.4.4. Datos de la caracterización físico-química y microbiológica de la harina de sangre

Para la realización de los análisis, las muestras de harina de sangre provinieron de un Batch que se realizó el día 20 de enero del 2018, fueron tomadas en un solo día ya que el proceso no se iba a volver a repetir. Las muestras se llevaron al laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH donde se realizaron sus respectivas caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas. Los datos obtenidos se compararon con la Norma Mexicana NMX-Y-012-SCFI-2006 (Alimentos para animales-Harina de sangre-Especificaciones (Cancela a la NMX-Y-0,12-SCFI-1999)) debido a que en el país no existen normas para este tipo de productos. Los resultados que se obtuvieron se indican a continuación:

**Tabla 13-3:** Comparación de la caracterización de la harina de sangre seca en el Camal con la norma mexicana

PARÁMETRO	MÉTODO	MUESTRA DE HARINA DE SANGRE	NORMA MEXICANA Lim. Max. Per
Humedad%	INEN 540	29,23	10,00
Proteína%	INEN 543	58,93	----
Grasa%	INEN 523	6,53	----
Nitrógeno total%	-	9,43	----
Cenizas%	INEN 544	<3,36	6,00
Hierro%	-	1478,81	----
Mohos y Levaduras UFC/g	INEN 1529-10	Ausencia	----

**Fuente:** Reporte de análisis. Laboratorio CESTTA, 2016

**Realizado por:** Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

La harina de sangre es una única ya que posee características propias por el lugar de procedencia, los parámetros de esta deben evaluarse en un laboratorio, por lo que, se aplica los siguientes parámetros:

**Tabla 14-3:** Valores permisibles en la harina de sangre según norma mexicana

PARÁMETRO	ESPECIFICACIONES		MÉTODO DE PRUEBA
	MÍNIMO %	MÁXIMO%	
Proteína cruda	80,00	-----	NMX-Y-118-A
Fibra cruda	-----	1,00	NMX-Y-094
Extracto etéreo	-----	2,00	NMX-Y-103
Humedad	-----	10,00	NMX-Y-098
Cenizas	-----	6,00	NMX-Y-093
Digestibilidad en pepsina al 0,2%	80,00	-----	NMX-Y-085
<b>NOTA:</b> El producto objeto de la aplicación de cumplir con las especificaciones sanitarias establecidas en las normas oficiales mexicanas NOM-113-SSA1 y NOM-114-SSA1			

Fuente: Norma Mexicana NMX-Y-012-SCFI. 2006

Se aplica esta normativa ya que en Ecuador no existen normas específicas para harina de sangre, por lo que estos datos nos ayudarán para los posteriores análisis que se realizarán en el producto que se obtenga.

#### 3.2.4.5. Determinación experimental de la velocidad de secado

**Tabla 15-3:** Velocidad de secado experimental de la muestra 1

Tiempo (horas)	Peso Neto (kg)	Humedad Neta (kg)	X	valor medio (Xm)	$\Delta x/\Delta \theta$	Velocidad de Secado (W)
0,000	0,6000	0,2372	0,6539			
0,750	0,5280	0,1652	0,4555	0,5547	0,2646	0,5085
1,250	0,5000	0,1372	0,3783	0,4169	0,1544	0,2966
1,750	0,4655	0,1027	0,2832	0,3307	0,1902	0,3655
2,250	0,4405	0,0777	0,2143	0,2487	0,1378	0,2648
2,750	0,4210	0,0582	0,1605	0,1874	0,1075	0,2066
3,250	0,3910	0,0282	0,0778	0,1192	0,1654	0,3178
3,750	0,3775	0,0147	0,0406	0,0592	0,0744	0,1430
4,250	0,3756	0,0128	0,0354	0,0380	0,0105	0,0201
4,750	0,3726	0,0098	0,0271	0,0312	0,0165	0,0318
5,250	0,3731	0,0103	0,0285	0,0278	-0,0028	-0,0053
5,750	0,3706	0,0078	0,0216	0,0250	0,0138	0,0265
6,250	0,3713	0,0085	0,0235	0,0226	-0,0039	-0,0074
6,750	0,3661	0,0033	0,0092	0,0164	0,0287	0,0551

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

**Tabla 16-3:** Velocidad de secado experimental de la muestra 2

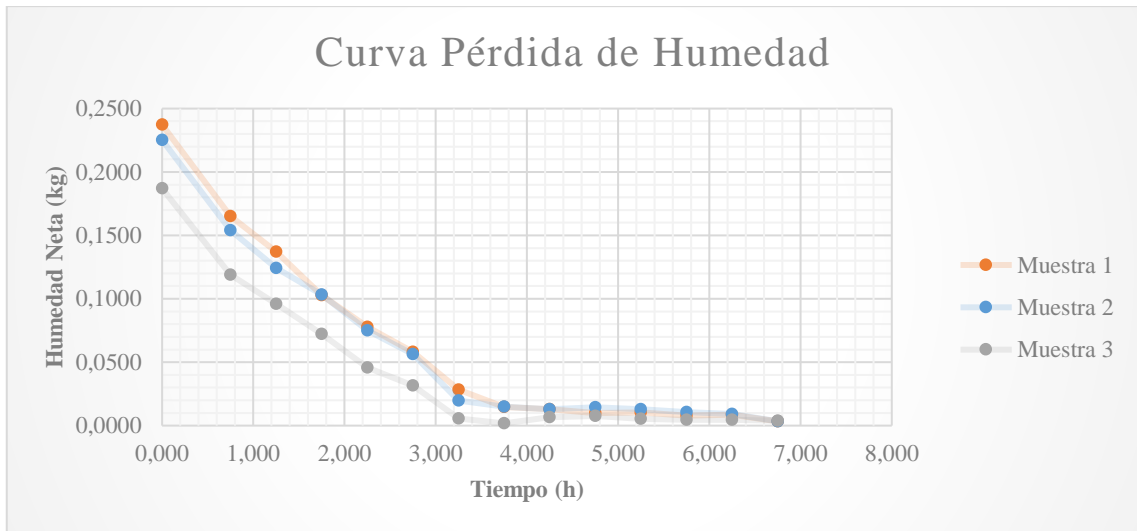
Tiempo (horas)	Peso Neto (kg)	Humedad Neta (kg)	X	valor medio (Xm)	$\Delta x/\Delta \theta$	Velocidad de Secado (W)
0,000	0,6000	0,2252	0,6010			
0,750	0,5289	0,1541	0,4113	0,5062	0,2530	0,5021
1,250	0,4990	0,1242	0,3315	0,3714	0,1596	0,3167
1,750	0,4780	0,1032	0,2755	0,3035	0,1121	0,2225
2,250	0,4498	0,0750	0,2002	0,2379	0,1505	0,2987
2,750	0,4311	0,0563	0,1503	0,1753	0,0998	0,1981
3,250	0,3945	0,0197	0,0527	0,1015	0,1953	0,3877
3,750	0,3897	0,0149	0,0399	0,0463	0,0256	0,0508
4,250	0,3878	0,0130	0,0348	0,0373	0,0101	0,0201
4,750	0,3892	0,0144	0,0385	0,0367	-0,0075	-0,0148
5,250	0,3876	0,0128	0,0343	0,0364	0,0085	0,0169
5,750	0,3855	0,0107	0,0287	0,0315	0,0112	0,0222
6,250	0,3840	0,0092	0,0247	0,0267	0,0080	0,0159
6,750	0,3782	0,0034	0,0092	0,0169	0,0310	0,0614

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

**Tabla 17-3:** Velocidad de secado experimental de la muestra 3

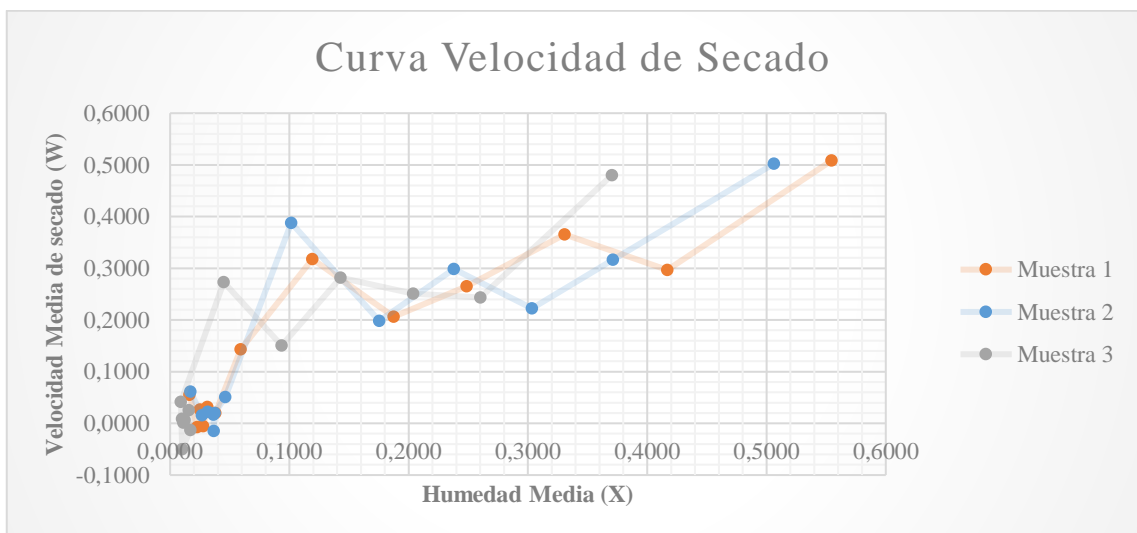
Tiempo (horas)	Peso Neto (kg)	Humedad Neta (kg)	X	Valor medio (Xm)	$\Delta x/\Delta \theta$	Velocidad de Secado (W)
0,000	0,6000	0,1870	0,4528			
0,750	0,5320	0,1190	0,2881	0,3704	0,2195	0,4802
1,250	0,5090	0,0960	0,2324	0,2603	0,1114	0,2436
1,750	0,4853	0,0723	0,1750	0,2037	0,1148	0,2511
2,250	0,4587	0,0457	0,1106	0,1428	0,1288	0,2818
2,750	0,4445	0,0315	0,0763	0,0934	0,0688	0,1504
3,250	0,4187	0,0057	0,0138	0,0450	0,1249	0,2733
3,750	0,4148	0,0018	0,0043	0,0091	0,0189	0,0413
4,250	0,4195	0,0065	0,0157	0,0100	-0,0228	-0,0498
4,750	0,4207	0,0077	0,0186	0,0172	-0,0058	-0,0127
5,250	0,4183	0,0053	0,0128	0,0157	0,0116	0,0254
5,750	0,4177	0,0047	0,0114	0,0121	0,0029	0,0064
6,250	0,4176	0,0046	0,0111	0,0112	0,0005	0,0011
6,750	0,4168	0,0038	0,0092	0,0102	0,0039	0,0085

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018



**Gráfico 1-3:** Curva de humedad en función del tiempo

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018



**Gráfico 2-3:** Curva de velocidad media de secado en función de la humedad media

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

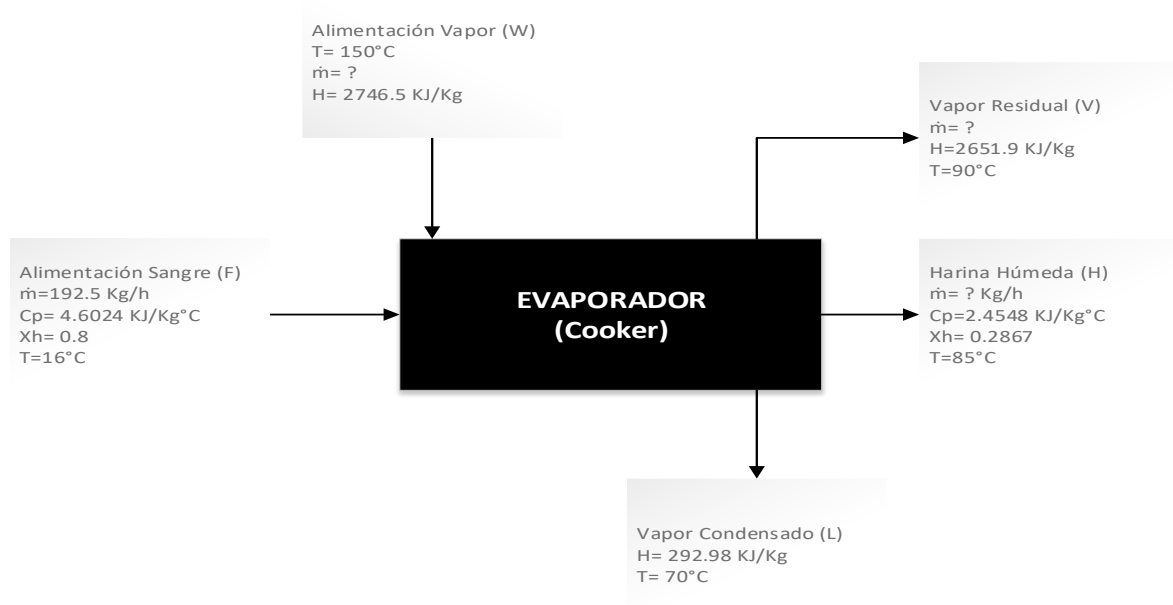
### 3.3. Cálculos

#### 3.3.1. Cálculos de la situación actual de la fábrica de harina de sangre

Para poder entender la situación actual en la que se encuentra la fábrica de harina de sangre es necesario realizar un balance masa y energía, esto nos permite abordar posibles soluciones a los problemas presentes.



## BALANCE DE MASA Y ENERGÍA EN EL EVAPORADOR (COOKER)



**Figura 2-3:** Diagrama de entradas y salidas de material

Realizado por: Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

### Balace de masa

- ✓ Balance general tomada de la Ecuación 1-3

$$F = V + S$$

$$192,5 \frac{Kg}{h} = V + 53,9745 \frac{Kg}{h}$$

$$V = (192,5 - 53,9745) \frac{Kg}{h}$$

$$V = 138,5255 \frac{Kg}{h}$$

- ✓ Calculo de la capacidad calorífica de la sangre tomada de la Ecuación 2-3

$$Cp_F = 1,2552 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} + (0,8 * 4,184) \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

$$Cp_F = 4,6024 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

- ✓ Calculo de la capacidad calorífica de la harina de sangre húmeda tomada de la Ecuación 2-3

$$Cp_S = 1,2552 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} + (0,2867 * 4,184) \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

$$Cp_S = 2,4548 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

- ✓ Calculo de la entalpia de la sangre tomada de la Ecuación 3-3

$$h_F = 4,6024 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * 16^{\circ}C$$

$$h_F = 73,6384 \frac{KJ}{Kg}$$

- ✓ Calculo de la entalpia de la harina de sangre húmeda tomada de la Ecuación 3-3

$$h_S = 2,4548 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * 85^{\circ}C$$

$$h_S = 208,654 \frac{KJ}{Kg}$$

### Balance de energía

- ✓ Balance global tomada de la Ecuación 4-3

$$Q_p = 0$$

$$Fh_F + WH_w = VH_V + Sh_S + Lh_L$$

$$W = L$$

$$Fh_F + WH_w = VH_V + Sh_S + Wh_w$$

$$W(H_w - h_w) = VH_V + Sh_S - Fh_F$$

$$W(2746,5 - 292,98) \frac{KJ}{Kg} = 138,5255(2660,1) \frac{KJ}{h} + 53,9745(208,654) \frac{KJ}{h} - 192,5(73,638) \frac{KJ}{h}$$

$$W \left( 2453,52 \frac{KJ}{Kg} \right) = (368491,683 + 11261,995 - 14175,315) \frac{KJ}{h}$$

$$W = \frac{65578,363 \text{ Kg}}{2453,52 \text{ h}}$$

$$W = 149,002 \frac{Kg}{h}$$

- ✓ Calculo de la economía del proceso tomada de la Ecuación 5-3

$$e = \frac{138,5255}{149,0016} * 100$$

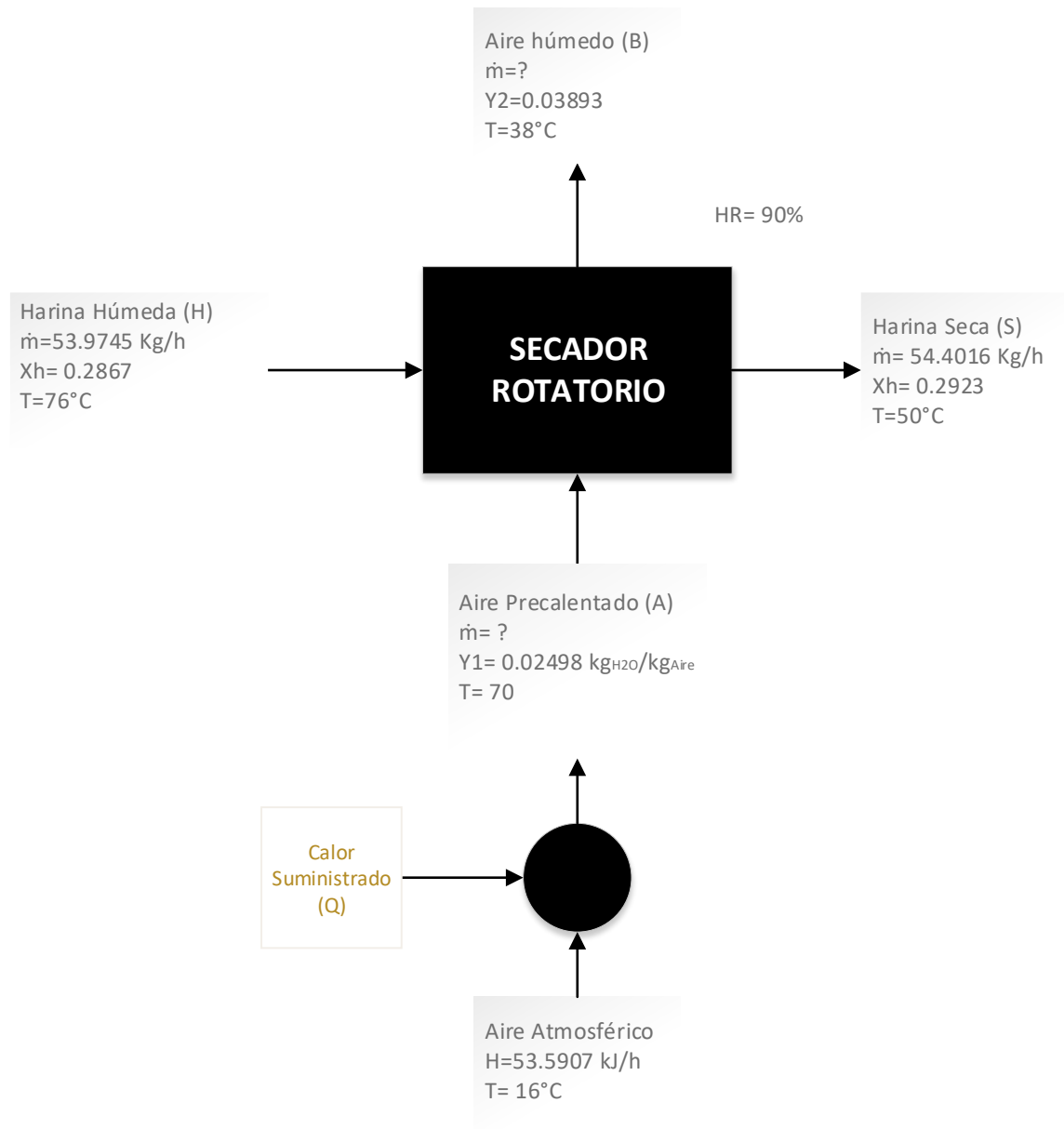
$$e = 92,97\%$$

- ✓ Calculo del flujo de calor requerido por el sistema tomada de la Ecuación 6-3

$$\dot{Q} = (192,5 - 53,9745) * 2453,52 \frac{kJ}{h} + 192,5 * 1,2552 * (95 - 16) \frac{kJ}{h}$$

$$\dot{Q} = 409866,12 \frac{kJ}{h}$$

### BALANCE DE MASA Y ENERGÍA EN EL SECADOR



**Figura 3-3:** Diagrama de entradas y salidas de material

Realizado por: Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

#### Balance de masa

- ✓ Balance general tomada de la Ecuación 7-3

$$A + H = B + S$$

Balance por componentes: componente sólido tomada de la Ecuación 7-3

$$S = \frac{HX_H}{X_S}$$

$$S = 53,9745 \frac{kg}{h} * \frac{0,7133}{0,7077}$$

$$S = 54,4016 \frac{kg}{h}$$

✓ Masa de aire seco tomada de la Ecuación 8-3

$$M_a = \frac{(53,9745 * 0,2867) - (54,4016 * 0,7077)}{0,038931 - 0,238437} \frac{kg_{aire\ seco}}{h}$$

$$M_a = 2,1408 \frac{kg_{aire}}{h}$$

✓ Flujo másico corriente de aire tomada de la Ecuación 9-3

$$m_i = M_a + M_a Y^i$$

Flujo másico corriente de aire A tomada de la Ecuación 9-3

$$A = M_a + M_a Y^A$$

$$A = 2,1408 \frac{kg_{aire}}{h} + (2,1408 * 0,238437) \frac{kg_{aire}}{h}$$

$$A = 2,6512 \frac{kg_{aire}}{h}$$

Flujo másico corriente B tomada de la Ecuación 9-3

$$B = M_a + M_a Y^B$$

$$B = 2,1408 \frac{kg_{aire}}{h} + (2,1408 * 0,038931) \frac{kg_{aire}}{h}$$

$$B = 2,2241 \frac{kg_{aire}}{h}$$

Balance por componentes: componente agua tomada de la Ecuación 7-3

$$HXh_H + M_a Y^A = SXh_S + M_a Y^B$$

✓ Volumen húmedo tomada de la Ecuación 10-3

$$Vh = 0,85 \frac{m^3}{kg} + \left( \frac{0,85 - 0,95}{0,045} \right) 0,038931 \frac{m^3}{kg}$$

$$Vh = 0,936513 \frac{m^3}{kg}$$

- ✓ Flujo volumétrico tomada de la Ecuación 11-3

$$Vi = 2,1408 \frac{kg}{h} * 0,936513 \frac{m^3}{kg}$$

$$Vi = 2,0049 \frac{m^3}{h}$$

### Balance de energía

- ✓ Calculo de entalpia: Harina húmeda tomada de la Ecuación 12-3

$$h_s = 2,4548 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * 76^{\circ}C$$

$$h_s = 186,5612 \frac{KJ}{Kg}$$

- ✓ Calculo de la capacidad calorífica de la harina de sangre húmeda tomada de la Ecuación 15-3

$$Cp_s = 1,2552 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} + (0,1008 * 4,184) \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

$$Cp_s = 1,6769 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

- ✓ Calculo de la entalpia de la harina de sangre seca tomada de la Ecuación 12-3

$$h_s = 1,6769 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * 50^{\circ}C$$

$$h_s = 83,8474 \frac{KJ}{Kg}$$

- ✓ Calculo de entalpía de aire a la salida del secador tomada de la Ecuación 13--3

$$h_B = \frac{(2,6512 * 697,239) \frac{kJ}{h} + (53,9745 * 186,5612) \frac{kJ}{h} - (54,4016 * 123,9092) \frac{kJ}{h}}{2,2241 \frac{kg}{h}}$$

$$h_B = 2327,7641 \frac{kJ}{kg}$$

- ✓ Calculo del flujo de calor a suministrar tomada de la Ecuación 14-3

$$\dot{Q} = 2,1408 \frac{kg_{aire\ seco}}{h} * (697,239 - 53,5907) \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q} = 1377,909 \frac{kJ}{kg}$$

✓ Cálculo de la eficiencia térmica del secador tomada de la Ecuación 16-3

$$\varepsilon_{TG} = \frac{70 - 38}{70 - 20} * 100$$

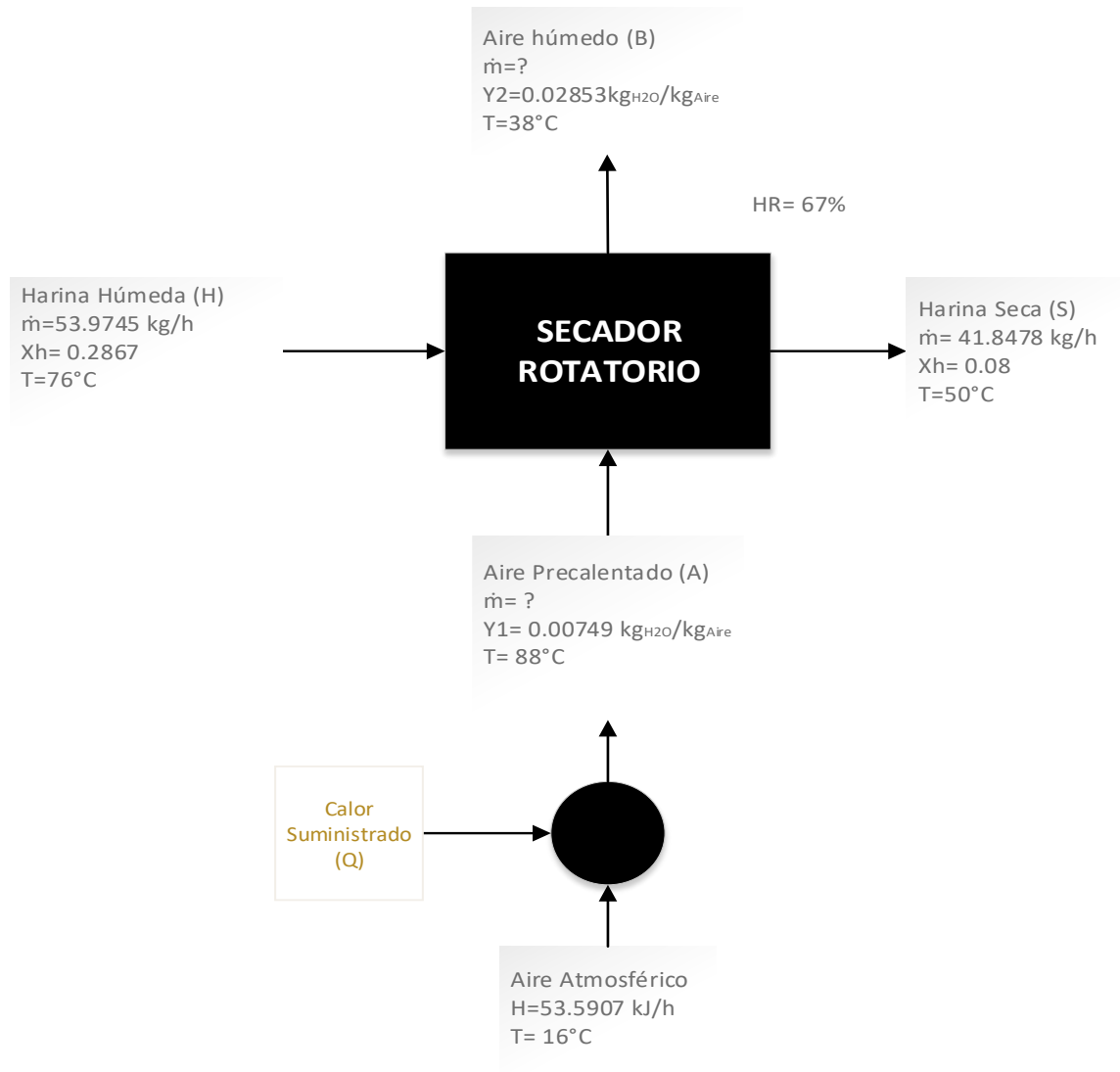
$$\varepsilon_{TG} = \frac{32}{50} * 100$$

$$\varepsilon_{TG} = 64\%$$

### 3.3.2. Cálculos para el rediseño de la planta de harina de sangre

Para la realización del rediseño de la fábrica de harina de sangre, se tomaron puntos específicos para desarrollar un planteamiento estratégico y que no genere un extremo gasto económico, por lo que el problema principal es el secador ya que cuando se hizo una comparación entre el secado de la fábrica y el secador del laboratorio de Operaciones Unitarias se puede concluir que se obtiene un producto de mejor calidad cuando se lo seca adecuadamente

### 3.3.2.1. Balance de masa y energía para el rediseño



**Figura 4-3:** Diagrama de entradas y salidas de material

Realizado por: Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

#### Balance de masa

✓ Balance general tomada de la Ecuación 7-3

$$A + H = B + S$$

Balance por componentes: Cálculo del componente sólido tomado de la Ecuación 7-3

$$S = \frac{HX_H}{X_S}$$

$$S = 53,9745 \frac{kg}{h} * \frac{0,7133}{0,92}$$

$$S = 41,8478 \frac{kg}{h}$$

- ✓ Masa de aire seco tomada de la Ecuación 8-3

$$M_a = \frac{(53,9745 * 0,2867) - (41,8478 * 0,1008) kg_{aire\ seco}}{0,038931 - 0,024982} \frac{kg_{aire\ seco}}{h}$$

$$M_a = 576,4443 \frac{kg_{aire}}{h}$$

- ✓ Flujo másico corriente de aire tomada de la Ecuación 9-3

Flujo másico corriente de aire A tomada de la Ecuación 9-3

$$A = M_a + M_a Y^A$$

$$A = 576,4443 \frac{kg_{aire}}{h} + (576,4443 * 0,024982) \frac{kg_{aire}}{h}$$

$$A = 580,7613 \frac{kg_{aire}}{h}$$

Flujo másico corriente B tomada de la Ecuación 9-3

$$B = M_a + M_a Y^B$$

$$B = 576,4443 \frac{kg_{aire}}{h} + (576,4443 * 0,038931) \frac{kg_{aire}}{h}$$

$$B = 592,8879 \frac{kg_{aire}}{h}$$

Balance por componentes: Componente agua tomada de la Ecuación 7-3

$$HXh_H + M_a Y^A = SXh_S + M_a Y^B$$

- ✓ Cálculo del volumen húmedo tomada de la Ecuación 10-3

$$Vh = 0,85 \frac{m^3}{kg} + \left( \frac{0,85 - 0,95}{0,045} \right) 0,028526 \frac{m^3}{kg}$$

$$Vh = 0,9134 \frac{m^3}{kg}$$

- ✓ Cálculo del flujo volumétrico tomada de la Ecuación 11-3



$$Vi = 576,4443 \frac{kg}{h} * 0,9134 \frac{m^3}{kg}$$

$$Vi = 526,5191 \frac{m^3}{h}$$

### Balance de energía

- ✓ Cálculo de entalpía: Harina húmeda tomada de la Ecuación 12-3

$$h_s = 2,4548 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * 76^{\circ}C$$

$$h_s = 186,5612 \frac{KJ}{Kg}$$

- ✓ Cálculo de la capacidad calorífica de la harina de sangre húmeda tomada de la Ecuación 15-3

$$Cp_s = 1,2552 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} + (0,08 * 4,184) \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

$$Cp_s = 1,5899 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

- ✓ Cálculo de la entalpía de la harina de sangre seca tomada de la Ecuación 12-3

$$h_s = 1,5899 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * 50^{\circ}C$$

$$h_s = 79,496 \frac{KJ}{Kg}$$

- ✓ Cálculo de la entalpía del aire a la salida del secador tomada de la Ecuación 13-3

$$h_B = \frac{(580,7613 * 1337,3349) \frac{kJ}{h} + (53,9745 * 186,5612) \frac{kJ}{h} - (41,8478 * 79,496) \frac{kJ}{h}}{592,8879 \frac{kg}{h}}$$

$$h_B = 1321,3545 \frac{kJ}{kg}$$

- ✓ Cálculo del flujo de calor a suministrar tomada de la ecuación 14-3

$$\dot{Q} = 576,4443 \frac{kg_{aire\ seco}}{h} * (1337,3349 - 35,2496) \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q} = 750579,65 \frac{kJ}{kg}$$

✓ Cálculo de la eficiencia térmica del secador tomada de la ecuación 16-3

$$\varepsilon_{TG} = \frac{88 - 38}{88 - 20} * 100$$

$$\varepsilon_{TG} = \frac{50}{68} * 100$$

$$\varepsilon_{TG} = 73,53\%$$

**Cálculo de X al 8% de humedad**

$$X = 0,1605 - \frac{(0,0971 - 0,08) * (0,1605 - 0,0778)}{0,0971 - 0,0471}$$

$$X = 0,1322$$

**Tiempo de secado a velocidad constante**

Con la velocidad experimental de secado en el punto crítico se calculó el tiempo necesario hasta alcanzar el 8% de humedad a velocidad constante.

$$\theta = \frac{0,3628}{0,1888} * \frac{0,6539 - 0,1322}{0,3179}$$

$$\theta = 3,153 \text{ h}$$

### 3.4. Resultados

#### 3.4.1. Resultados del dimensionamiento para el rediseño del sistema propuesto

Primero se tomó en cuenta que el proceso es semicontinuo ya que fábrica de harina de sangre opera dos días en la semana, es decir, recolecta en 3 o 4 días la sangre de bovinos y en dos días posteriores se procede a secar la sangre para obtener el producto que en este caso es la harina.

En las tablas a continuación se puede observar los resultados de los cálculos que se realizaron en el secador para que este pueda rendir y pueda brindar un producto de calidad.

**Tabla 18-3:** Resultado del balance del estado actual en el secador

	Corriente				
	Harina Húmeda (H)	Aire Fresco	Aire Caliente	Aire Húmedo	Harina Seca (S)
Temperatura (°C)	76	20	70	38	50
Flujo Másico (kg/h)	53,97	2,65	2,65	2,22	54,40
Fracción másica (Agua)	0,2867	0,2384	0,2384	0,0389	0,2923
Fracción másica (Solido)	0,7133	-	-	-	0,7077
Entalpia (kJ/kg)	186,56	53,59	697,24	2327,76	123,91

Realizado por: Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

**Tabla 19-3:** Resultado del balance esperados para el rediseño en el secador

	Corriente				
	Harina Húmeda (H)	Aire Fresco	Aire Caliente	Aire Húmedo	Harina Seca (S)
Temperatura (°C)	76	20	88	38	50
Flujo Másico (kg/h)	53,97	580,76	580,76	592,89	41,85
Fracción másica (Agua)	0,2867	0,007489	0,007489	0,028526	0,08
Fracción másica (Solido)	0,7133	-	-	-	0,92
Entalpia (kJ/kg)	186,56	35,25	1337,33	1321,35	79,50

Realizado por: Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

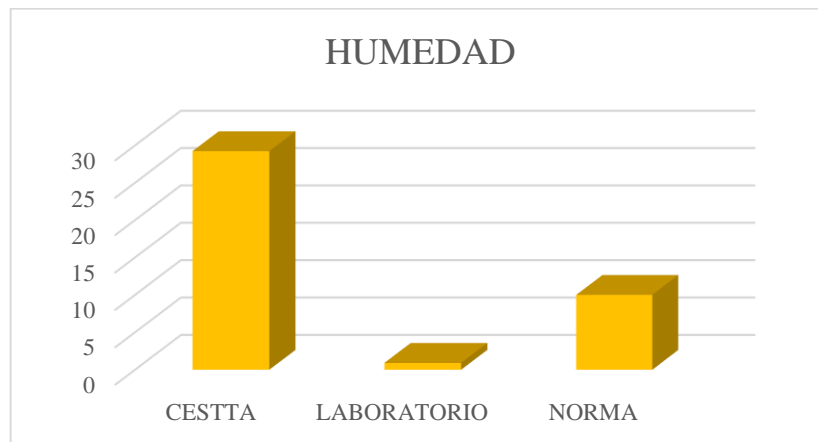
### 3.4.2. Comparación de los resultados actuales y los resultados que se obtendrán con el rediseño

**Tabla 20-3:** Comparación de resultados de la harina de sangre

PARÁMETRO	MÉTODO	MUESTRA DE HARINA DE SANGRE CAMAL	MUESTRA HARINA DE SANGRE LABORATORIO	NORMA MEXICANA Lim. Max. Per
Humedad%	INEN 540	29,23	0,91	10,00
Proteína%	INEN 543	58,93	87,02	----
Grasa%	INEN 523	6,53	6,31	----
Nitrógeno total%	-	9,43	13,90	----
Cenizas%	INEN 544	<3,36	3,67	6,00
Hierro%	-	1478,81	1,78	----

Mohos y Levaduras UFC/g	INEN 1529-10	-----	Ausencia	-----
-------------------------	--------------	-------	----------	-------

Realizado por: Jorge López-Yeslie Vargas, 2018



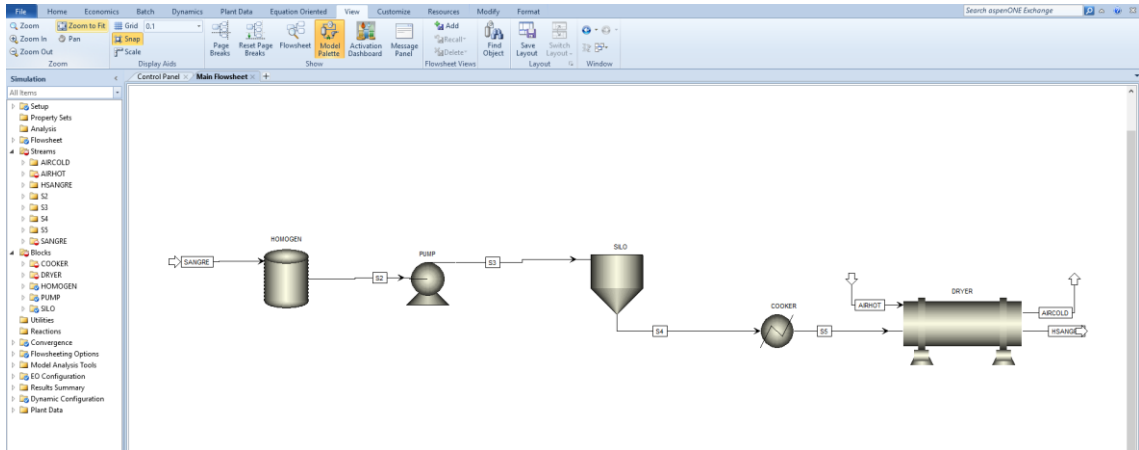
**Gráfico 3-3:** Comparación de harina de sangre en base a la humedad

Realizado por: Jorge López-Yeslie Vargas, 2018

En el gráfico se puede observar que la humedad disminuye en un 28,32%, por lo que, se puede determinar que si la muestra ingresa en un secador que contenga las especificaciones que se requiere el producto final será de mejor calidad, ya que el producto tendrá mayor duración y en cuanto al tiempo de secado también tuvo una mejora significativa ya que para alcanzar esta humedad se realizó en un tiempo de 7 horas y no de toda la noche como se realiza en el camal frigorífico, y el tiempo que se necesita para llegar a la humedad deseada que es de 8-10 % se necesita un tiempo de 3,153h.

### 3.5. Simulación del proceso

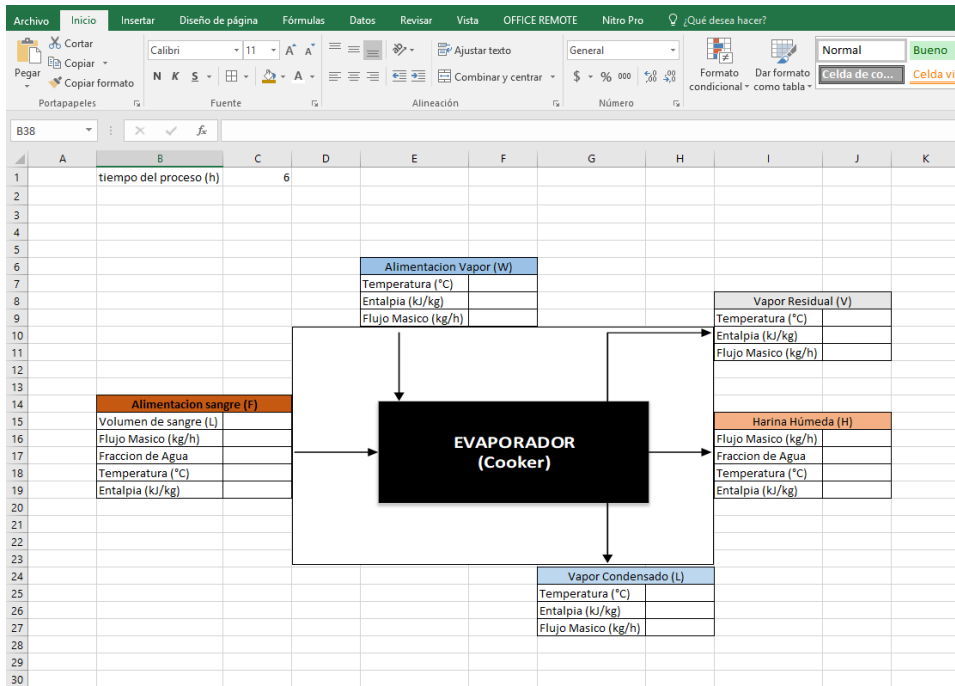
Para la etapa de simulación se procedió al uso de una simulación matemática usando como software de apoyo a Microsoft Excel. Para poder desarrollar la simulación es necesario que se diseñe un proceso simbólico lo más cercano a la realidad que otorgue una visión general del sistema.



**Figura 5-3:** Pantalla del diagrama de flujo del proceso

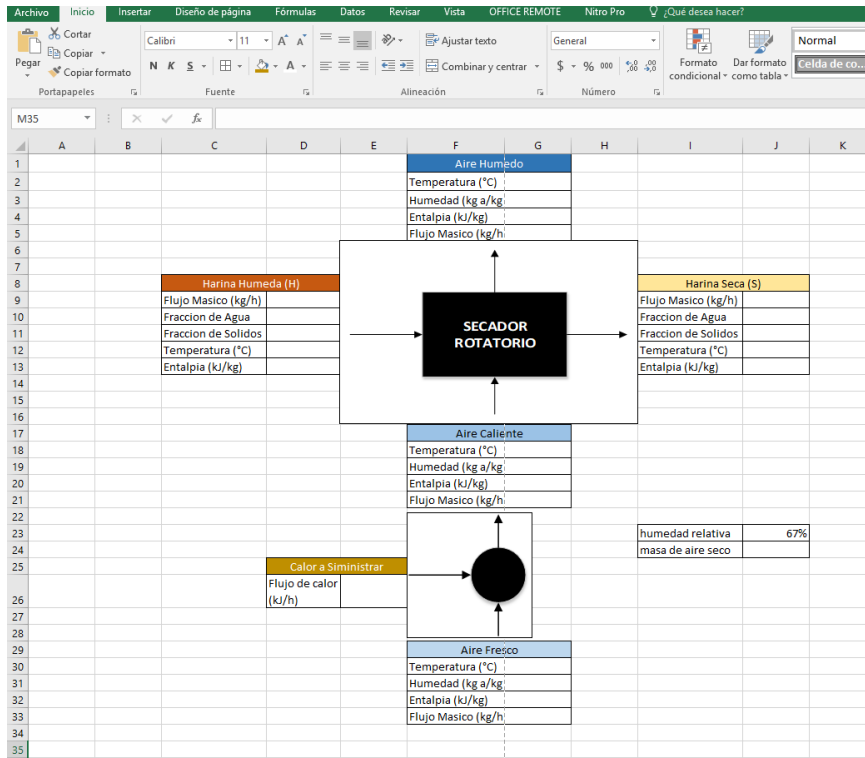
Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

Con el diagrama de flujo ya establecido, el siguiente paso corresponde al diseño matemático de cada uno de los equipos del proceso en Excel. Para ello se tomaron las ecuaciones usadas para el cálculo del rediseño y se las programo en una hoja de Excel.



**Figura 6-3:** Diseño matemático del cooker en MS Excel

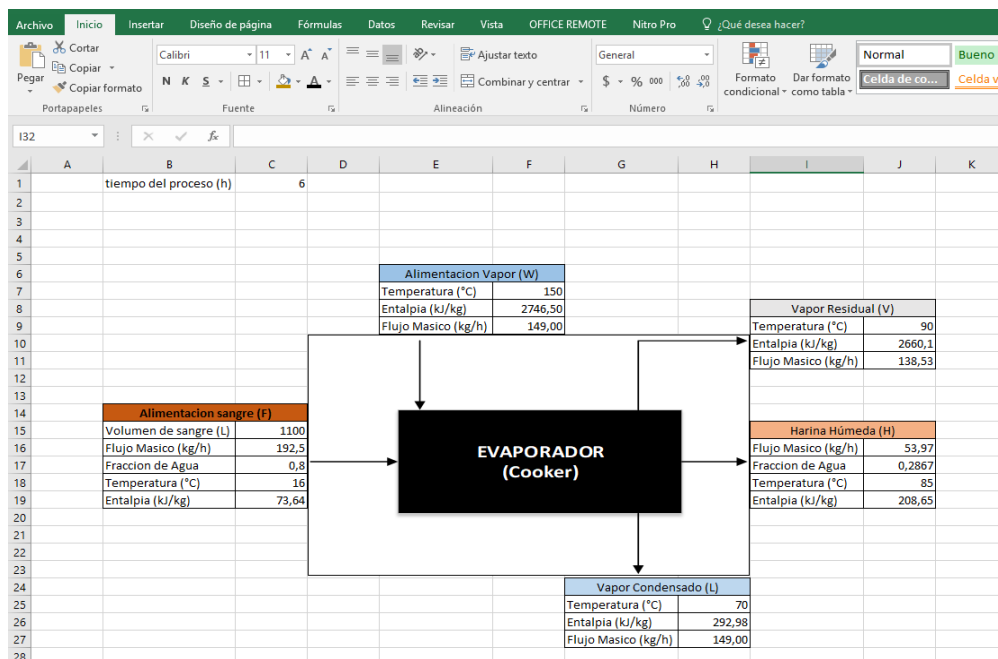
Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018



**Figura 7-3:** Diseño matemático del secador en MS Excel

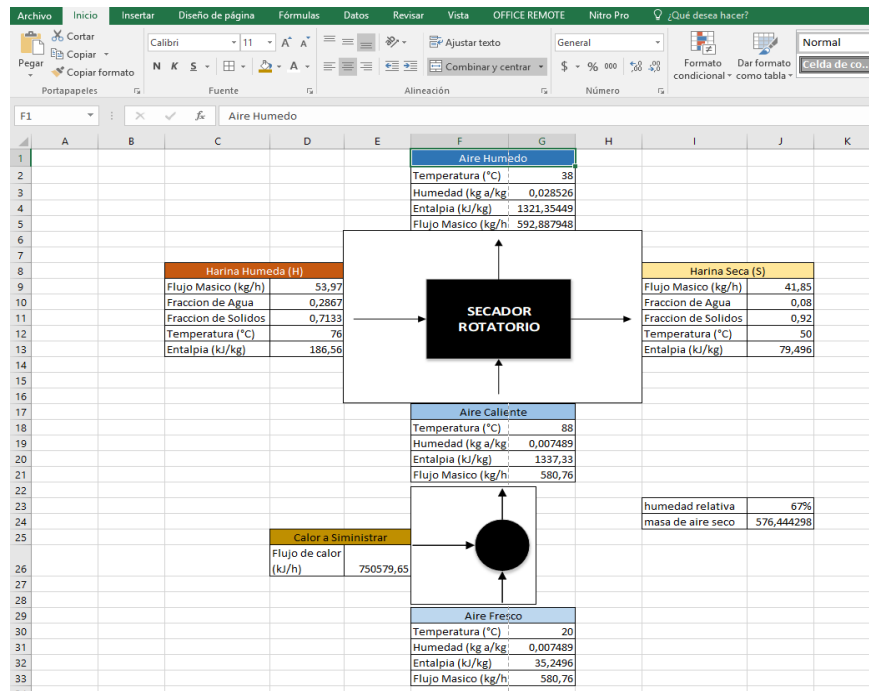
Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

Una vez establecidos los modelos matemáticos, se procedió a ingresar los datos recogidos experimentalmente y se comprobaron con los cálculos previamente realizados



**Figura 8-3:** Resultados de la simulación matemática del cooker

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018



**Figura 9-3:** Resultados de la simulación matemática del secador

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

Ya habiendo ingresado los datos de todos los equipos y de las corrientes de ingreso de materiales y del gas de secado, así como también los datos referentes a los equipos, se comprobaron que los datos obtenidos concuerden con los realizados en los cálculos de rediseño.

**Tabla 21-3:** Resultados de la simulación

Parámetro	Valor
Flujo másico de entrada (kg/h)	192,5
Flujo de calor del cooker (kJ/h)	409866,12
Flujo de calor suministrado en el secador (kJ/h)	750579,65
Flujo másico de salida (kg/h)	41,84
Cantidad de agua a la salida (kg)	3,34

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

### 3.6. Propuesta del rediseño de la fábrica de harina de sangre del Camal

Para lograr una buena optimización en la fábrica de harina se sangre se procedió a realizar ensayos de secado, en el equipo del Laboratorio de operaciones unitarias de la Facultad de Ciencias se

realizó el proceso de secado de la harina de sangre por lo que al finalizar el proceso se pudo notar que se obtuvieron las condiciones óptimas de secado dando un producto de mejor calidad.

Se realizaron las diferentes pruebas de la harina de sangre y se pudo notar que tanto humedad del producto había disminuido en un 21%, esto se debe al cambio de temperatura ya que el Camal utilizan una temperatura de 76°C y en la prueba se realizó a una temperatura de 88°C, también las condiciones en las que se realizó el proceso fueron las adecuadas ya que la humedad relativa no era elevada como en la fábrica actual. En cuanto al tiempo a obtener una humedad menor en poco tiempo también se pudo optimizar el proceso dando como propuesta: primero se debe colocar una niquelina más para que de esta manera se llegue al proceso y segundo se adaptará un sensor de temperatura al equipo el mismo que ayudará a mantener la temperatura deseada.

### 3.7. Análisis de costo/ beneficio del proyecto

El rediseño de la fábrica de harina de sangre del camal no solo se basa en mejorar aquellos parámetros que exigen las autoridades para expender un producto de calidad sino también un objetivo principal es disminuir el gasto de energía que se genera al dejar que la fábrica funcione toda la noche.

En los días que la fábrica trabaja el consumo energético es excesivo, es por esto con disminución del tiempo de secado se podrá resolver este problema tan grande que el gasto innecesario de electricidad. La implementación de este proyecto será decisión del Camal, pero se mostrará una estimación de costos detallada que se presenta a continuación.

**Tabla 22-3:** Costos de los materiales necesarios para el rediseño

RUBRO/DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO GLOBAL \$
<b>SECADOR ROTATORIO</b>				
Controlador de Temperatura Compacto Modelo: N-1030		1	53,20	53,20
Termorresistencia RTD Modelo: Pt-100		1	35,00	35,00
Resistencia eléctrica tubular lisa para aire Modelo: 2 vástagos 2000W		1	35,00	35,00



Controlador de tiempo (Temporizador Digital de riel) Modelo: LF85		1	20,00	20,00
---	--	---	-------	-------

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

Para los costos de consumo energético se hace la relación desde el costo por día hasta el costo que tendrá en un año

**Tabla 23-3:** Consumo energético anual con la configuración actual del secador

Equipo	Unidades	Potencia (Watts)	Consumo (KW/h)/unidad	Consumo total	horas/día	Total Consumo (KW/h)/día
Resistencia térmica	2	2000	1,5	3	12	36
Ventilador (Blower)	1	700	0,7	0,7	12	8,4
					Total	44,40
<b>Costo anual de electricidad (USD)</b>	596,52					

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

**Tabla 24-3:** Consumo energético anual previsto después del rediseño del secador

Equipo	Unidades	Potencia (Watts)	Consumo (KW/h)/unidad	Consumo total	horas/día	Total Consumo (KW/h)/día
Resistencia térmica	3	2000	1,5	4,5	4	18
Ventilador (Blower)	1	700	0,7	0,7	4	2,8
					Total	20,80
<b>Costo anual de electricidad (USD)</b>	279,45					

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

### 3.7.1. *Requerimiento de materiales y equipos para el rediseño del secador de la fábrica de harina de sangre*

Para que el secador funcione adecuadamente y en condiciones óptimas se debe rediseñar de la tal forma que permita que la humedad excesiva salga de alguna forma por lo que se colocará tuberías, una que permita el ingreso de aire del ambiente y otra que salga el aire húmedo que se queda

atrapado en el equipo. Por otro lado, también se necesita el aumento de una niquelina para que permita que la temperatura suba a los 88°C y la harina se seque en menos tiempo, para controlar esta temperatura se debe colocar un sensor de temperatura el mismo que va a indicar la temperatura para que el equipo funcione adecuadamente.

**Tabla 25-3:** Equipos para el rediseño del secador

<b>DISPOSITIVO</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Tubos para ventilación	PVC	Se utilizan las tuberías para la unidad de secado para que de esta manera pueda existir ingreso de aire y salida de aire húmedo al ambiente
Controlador de temperatura compacto	Policarbonato	Este dispositivo es un controlador PID cuya función será mantener la temperatura de la corriente de aire
Resistencias Eléctricas tubulares (lisas) para Aire	Acero al carbono / Acero inoxidable	Es un dispositivo cuya función es generar una corriente de aire a una determinada temperatura.
Termorresistencia RTD	Acero Inoxidable	Este sensor se utilizará para medir la temperatura en el secador permitiendo que llegue a la adecuada para obtener un producto de calidad.
Controlador de tiempo (Timer)	Acero al carbono / Policarbonato	Va a controlar el tiempo en el cual se va a desarrollar el secado de la harina de sangre.

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

### 3.7.2. Especificaciones de los dispositivos

**Tabla 26-3:** Especificaciones del controlador de temperatura

Tipo de controlador	PID y ON/OFF
Salidas	Dos salidas independientes disponibles
Compatibilidad con sensores	termopares J, K, T y termoresistencia Pt100
Unidades de indicación	°C o °F
Pantalla de indicación	Doble display de 4 dígitos en colores rojo y verde

Materiales de construcción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Panel frontal en PC (UI94)</li> <li>• Caja trasera en ABS + PC (UL94 V2)</li> <li>• Grado de protección IP65 para el frontal</li> </ul>
Dimensiones	48 x 48 x 35 mm
Voltaje de alimentación	100-240 Vca/Vcc (12-24 Vcc / 24 Vca opcional)

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

**Tabla 27-3:** Especificaciones del controlador de tiempo

Voltaje de alimentación	220-240V AC 50-60Hz
Consumo	<1W
Control de alimentación	25A ,250V AC ; 30A, 250VAC
Rango de tiempo	1seg~168horas
Memoria de apagado	≥2 años
Error de sincronización	≤0.5seg/24h 25°C
Batería interna	1.2V 40Ma(batería recargable)
Dimensiones	100×55×42mm

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

**Tabla 28-3:** Especificaciones de la resistencia eléctrica tubular lisa para aire

Material de la vaina	Acero al carbono / Acero Inoxidable
Diámetro de la vaina	6,3 – 8,2 – 10,3 – 15,4 mm
Terminal	De tornillo
Distancia entre los vástagos del calentador	mín. 8 – 12 mm (resistencias en U)
Tensión de alimentación	A partir de 24V
Longitud vaina para tubos	Variable en función del modelo de resistencia, del caudal del aire circulante dentro del conducto de aireación y de la densidad superficial (W/cm <sup>2</sup> )
Potencia	Variable en función de la densidad superficial(W/cm <sup>2</sup> )

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

**Tabla 29-3:** Especificaciones de la termorresistencia RTD

La temperatura de funcionamiento	Varía de acuerdo con el modelo en función del tipo de cable
Exactitud / precisión de la medición	Clase B ( $\pm 0.3^\circ \text{C}$ ), de acuerdo con las normas EN60751
Tipo de ejecución	Estándar
El tipo de modelo (escala de temperatura) / Tipo de cable	0/400°C, -40/+200°C, -50/+240°C, -20/+105°C
Número de elementos sensibles	Simple o Doble
Tipo de sensor	PT 100
Tipo de conexión	a 2-fili, a 3-fili
Diámetro del revestimiento (OG)	$\text{Ø } 4 - 6 - 8 \text{ mm}$
Material de la cubierta	AISI304, AISI316
Longitud de inmersión (LG)	30, 50, 100, 200
Longitud de la extensión (si existe) (LC)	que se especificarán en dm
Conexión roscada (si existe)	G. 1/8", 1/4", 3/8", 1/2"

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

### 3.7.3. Descripción de las áreas

- ✓ Área del desfibrinado: Aquí llega la sangre de la piscina en donde se la recolecta, la misma es transportada mediante tuberías de PVC, aquí la sangre es mezclada por medio de aspas para evitar la coagulación de la sangre.
- ✓ Área de almacenamiento: Por acción de una bomba la sangre es transportada por tuberías a un silo de almacenamiento en donde se acumula la cantidad de sangre necesaria para luego proceder a la deshidratación. (ver ANEXO 3)
- ✓ Área de cocción: En el cooker se deshidrata la sangre a cierta temperatura, es decir elimina la mayor cantidad de humedad de la sangre. (ver ANEXO 4)
- ✓ Área de transporte: Mediante barras transportadoras se pasa la sangre deshidratada hacia el secador (ver ANEXO 5)
- ✓ Área de secado: Se procede a realizar el proceso de secado hasta que la harina de sangre obtenga la humedad necesaria para que el producto sea de calidad (ver ANEXO 5)

### 3.8. Cronograma del proyecto

**Tabla 30-3:** Cronograma de actividades desarrolladas

TIEMPO ACTIVIDADES	MES																											
	1°				2°				3°				4°				5°				6°							
	SEMANAS																											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Recopilación de información	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Caracterización físico-química y microbiológica									■	■	■	■	■	■	■	■												
Realización de las pruebas de factibilidad									■	■	■	■	■	■	■	■												
Rediseño del proceso													■	■	■	■	■	■										
Simulación del proceso rediseñado													■	■	■	■	■	■										
Factibilidad técnica y económica del diseño														■	■	■	■	■	■									
Validación del rediseño (caracterización final física, química y microbiológica)																	■	■	■	■								
Elaboración y corrección de borradores																	■	■	■	■	■							
Redacción del trabajo final					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Empastado y presentación del trabajo final																					■	■						
Auditoría Académica																						■	■					
Defensa del trabajo																												■

Realizado por: Jorge López- Yeslie Vargas, 2018

### 3.9. Análisis y discusión de resultados

Con el diagnóstico del estado actual del proceso se observó que, de las operaciones unitarias tales como mezclado, evaporación y secado el problema principal se encuentra en el secador ya que, las variables tanto de humedad y proteína están fuera del límite permitido. El secador está funcionando a condiciones de 76°C de temperatura, humedad relativa del ambiente de 67% y un tiempo de secado de 12 horas, con estos datos iniciales se procedió a realizar los cálculos de ingeniería donde el flujo másico de ingreso al secador es de 53,97 kg/h y un flujo de salida de 54,40 kg/h, además el secador posee una eficiencia de 64%. A estas condiciones la harina de sangre posee una humedad de 29,23% y un porcentaje de proteína de 58,93%.

Para el rediseño del secador se realizaron pruebas piloto a nivel de laboratorio en donde se obtuvieron resultados factibles para que el producto final obtenga una humedad de 8%. El secador debe aumentar la temperatura a 88°C para que el tiempo de secado sea de 3,153 horas, en donde se puede estimar que al finalizar el secado el flujo másico del sólido sea de 41,85 kg/h y con una temperatura aproximada de 50°C y con ello transfiriéndose al ambiente 12,13 kg de vapor de agua, además de que la eficiencia es de 73,53%. Finalmente, a las muestras de harina de sangre tratadas en el laboratorio contienen un porcentaje de proteína de 87,02% y una humedad de 0,91%, pero por un periodo de tiempo de 7 horas.

Como se puede apreciar al someter la harina a un mayor periodo de tiempo de secado se puede lograr llegar hasta un máximo de 0,91% a 88°C, sin embargo, alcanzar esta humedad representa un gasto energético innecesario, ya que mantener la harina con valores de humedad inferiores a 6% provocan que la harina se recaliente e inicie un proceso de fermentación, por el contrario, si la humedad es superior al 10%, el color natural de la harina se perderá y comenzara a formar grumos.

Para alcanzar las condiciones de operación óptimas calculadas anteriormente, es necesario implementar una resistencia eléctrica de 2000 W, así como un sensor y un controlador PID de temperatura, además se sugiere añadir un controlador de tiempo (timer) para el apagado automático del equipo. Finalmente se espera que, con el rediseño, el producto final posea las características adecuadas para su expendio, además de lograr disminuir los gastos energéticos y de operación que existen actualmente

## CONCLUSIONES

- El rediseño logro reducir la humedad del producto hasta el 8%, lo cual se validó con la simulación.
- El diagnóstico inicial determino que la eficiencia del secador era del 64% y su funcionamiento era defectuoso.
- El proceso está regido a una variable principal, la humedad, que no debe ser mayor a 10% en el producto final.
- A través de la simulación matemática en Excel del proceso se validaron las modificaciones propuestas.
- Se planteó una alternativas técnica y económica, la implementación de dispositivos de control de temperatura y tiempo.

## RECOMENDACIONES

- Al Camal de Riobamba se recomienda aplicar el presente estudio de rediseño e implementar los equipos propuestos ya que de esta manera se obtendrá un producto de mejor calidad que pueda ser distribuido a nivel nacional para la elaboración de diferentes alimentos que sirven para los animales o para el uso como fertilizante.
- Se recomienda dar un mantenimiento adecuado a cada uno de los equipos que conforman el proceso, ya que si no se realiza una limpieza adecuada también se obtendrá un producto de baja calidad.
- La fábrica de implementar medidores de temperatura y presión en el cooker ya que de esta manera se podrá controlar de manera más efectiva esa operación que al igual que el secado también es importante en la elaboración de harina de sangre.
- En el desarrollo del proceso se observaron algunas falencias por lo que se recomienda implementar tuberías en la salida de vapor de agua del cooker y del condensador ya que el vapor que se genera también es un impedimento para que la harina se seque adecuadamente. Esta observación se realizó ya que la humedad relativa mientras transcurría el proceso era elevada y esta no permitía que la harina se seque adecuadamente.
- Se debe adecuar un plan de contingencia al rediseño propuesto para la elaboración de harina de sangre y de esta manera al dar el mantenimiento al equipo o al proceso no existan contratiempos negativos.
- Se recomienda realizar una investigación de seguimiento de la calidad físico química de la sangre a lo largo del proceso.



## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario de Ecuador.** Normativa de Control de Aplicación de Buenas Prácticas de Manufactura. *Resolución 0179*. [En línea] 27 de Junio de 2013. <https://goo.gl/xi0h52>.
- Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria de Ecuador.** Normativa técnica sanitaria sobre prácticas correctas de higiene para establecimientos procesadores de alimentos categorizados como artesanales y organizaciones del sistema de economía popular y solidaria. *RESOLUCIÓN ARCSA-DE-057-2015-GGG*. [En línea] 11 de Septiembre de 2015. <https://goo.gl/Roiz4W>.
- Aliaga, Liliana, y otros.** *Requisitos para habilitar establecimientos de elaboración de alimentos*. Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle. Alto Valle : Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2010.
- AspenTech.** Curso básico de simulación de procesos con Aspen HYSYS. [aut. libro] José Aguilar. *Tutorials and Applications*. s.l. : AspenTech, 2006.
- Beltrán, Catalina y Perdomo, William.** *Aprovechamiento de la sangre de bovino para la obtención de harina de sangre y plasma sanguíneo en el matadero Santa Cruz de Malambo Atlántico*. Bogotá : Universidad de La Salle, 2007.
- Bird, R. Byron, Stewart, Warren E. y Lightfoot, Edwin N.** *Fenómenos de transporte*. Barcelona : Reverté S.A., 1992. ISBN 84-291-7050-2.
- Boix, O., Saigi, M. y Zabaleta, F.** *Automatismos eléctricos programables*. Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2004. ISBN 84-988-0020-X.
- Brito, Hannibal.** *Diseño y construcción de un reactor batch prototipo para la obtención de compost*. Riobamba : s.n., 2017.
- Brito, Hannibal.** *Obtención De Compost A Partir De Residuos Sólidos Orgánicos Generados En El Mercado Mayorista Del Cantón Riobamba*. Riobamba : European Scientific Journal, 2016. Vol. 12. ISSN: 1857 - 7431.
- Brito, Hannibal.** *Texto Básico de Operaciones Unitarias III*. Riobamba : s.n., 2001. Vol. III.
- Cengel, Y. y Pérez, J.** *Transferencia de calor*. México D.F. : McGraw-Hill, 2004.
- Cevallos, Víctor.** *En Riobamba se procesa la sangre*. Riobamba : El Universo, 2004.

- Chano, Marco.** *Diseño y simulación de un digestor cooker para procesar residuos generados en el faenamiento de pollos.* Quito : Universidad Politécnica Salesiana, 2013. UPS-KT00064.
- Chuquín, Daniel.** *Diseño y simulación de una columna de destilación binaria de etanol-agua para la empresa Hetween.* Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2013. UDCTFC 96T00210.
- Comunidad Andina .** Normas para el registro, control, comercialización y uso de Productos Veterinarios . *Decisión 483* . [En línea] 8 de Junio de 2000. <https://goo.gl/uhGMY3>.
- Contreras, Luz María.** *Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos.* Cuba : Centro Universitario José Martí, 2010.
- Córdoba Nieto, Ernesto.** *Manufactura y Automatización.* Bogotá : SciELO, 2006. Vol. 26, 3. ISSN 0120-5609.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations.** Fichas Técnicas: Procesados de carnes. *IICA*. [En línea] <http://www.fao.org/3/a-au165s.pdf>.
- Geankoplis, C. J.** *Procesos de transporte y operaciones unitarias.* Mexico : Cecsca, 1998.
- Gutierrez, J, Iinfante, M A y Cordoba Nieto, E.** *Significado Económico - Social y Tecnico de Automatización.* 1994.
- Ibarra Mirón, Santiago.** Sistemas de planificación y control de la producción (SPCP). *Departamento de Ingeniería Industrial, UCLV.* [En línea] 01 de Marzo de 2005. <https://goo.gl/3vGKYO>.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos de Ecuador.** Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. *ESPAC 2015.* [En línea] 2015. <https://goo.gl/B4b80b>.
- Jara, Rosario y Orozco, Fernando.** Diseño y construcción de un deshidratador (equipo piloto) para sangre de bovinos. *Tesis de Ingeniero Químico.* Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2004. UDCTFC 96T00027.
- Kurlat, José.** *Producción de alimentos : recomendaciones para la producción de alimentos.* Tercera. San Martín : INTI, 2011. ISBN 978-950-532-160-5.
- Madrid, Antonio.** *Aprovechamiento de los subproductos cárnicos.* Madrid : Mundi-Prensa, 1999. ISBN 84-7114-775-0.
- MAVITEC.** Digestor Discontinuo. *Sección de Procesado.* [En línea] Grupo MAVITEC, 2017. [Citado el: 4 de Febrero de 2018.] <https://goo.gl/axac8t>.

- Maza, Libardo.** Harinas proteicas de origen animal y su importancia en la nutrición de rumiantes. *Investigaciones AZOOSUBOL*. [En línea] 2004. [Citado el: 18 de Enero de 2018.] <http://www.azoosubol.galeon.com/cvitae275734.html>.
- McCabe, W. L., Smith, J. C. y Harriott, P.** *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Cuarta. Mexico : McGraw-Hill, 1998.
- Monte Blue SRL.** Factores Ambientales que Intervienen en el Proceso de Secado. *Secado de Madera*. [En línea] Creando Web Consulting, 2014. [Citado el: 29 de Enero de 2018.] <https://goo.gl/UfDc5Z>.
- Moreta Sánchez, Marco.** *Diseño de un secador tipo túnel para la deshidratación de la harina de sangre en el camal frigorífico de Riobamba*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012. UDCTFC 96T00183.
- Mott, Robert L.** *Mecánica de Fluidos*. Sexta. México : Pearson Educación, 2006. ISBN 970-26-0805-8.
- NTE INEN 0540.** Alimentos para animales. *Determinación de la pérdida por calentamiento*. Quito : Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1981.
- NTE INEN 0541.** Alimento para animales. *Determinación de la materia grasa*. Quito : Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1981.
- NTE INEN 0543.** Alimento para animales. *Determinación de la proteína cruda*. Quito : Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1981.
- NTE INEN 0544.** Alimento para animales. *determinación de las cenizas*. Quito : Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1980.
- NTE INEN 0618.** Alimento para animales. *Muestreo*. Quito : Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1981.
- Ockerman, H. W. y Hansen, C. L.** *Industrialización de subproductos de origen animal*. Zaragoza : Acribia S.A., 1994. págs. 239-262. ISBN 84-200-0751-X.
- Ocon García, Joaquín y Tojo Barreiro, Gabriel.** *Problemas de Ingeniería Química*. Madrid : Aguilar, 1970. págs. 240-278. Vol. II.
- Parr, E.** *Programmable Controllers: An Engineer's Guide*. Londres : Elsevier Newnes, 2003.
- Patiño, Teobaldo y Villacís, Miguel.** *Diseño de un sistema de control automático para su implementación en el evaporador de simple efecto con serpentín del laboratorio de*

*Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015. UDCTFC 96T00312.

**Perez Grau, Samuel.** Diseño de Procesos Productivos. [En línea] 2010. <https://goo.gl/yLqjn7>.

**Perry, Robert H.** *Manual del Ingeniero Químico*. [ed.] Don W. Green. México : McGraw-Hill, 1995. Vol. I.

**Poalacin, Silvia y Huaraca, Jaime.** *Automatización del reactor para el proceso de elaboración de yogurt en el laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015. UDCTFIYE 108T0148.

**Redacción Ekos.** Prospectivas: Índice de actividad Económica. *Revista Ekos*. [En línea] 02 de Diciembre de 2016. <http://www.ekosnegocios.com/negocios/verArticuloContenido.aspx?idArt=8423>.

**Sánchez, Claudia.** Automatización en la industria automotriz: conceptos y procesos. Bogotá : COLINNOVACION, 2014. Vol. II, 3. ISSN 2322-8725.

**Secretaría de Economía de México.** Alimentos para animales. *Harina de Sangre: Especificaciones*. México D.F. : Dirección General de Normas, 2006. NMX-Y-012-SCFI-2006.

**Seguros Caracas.** Colores y Señales de seguridad. *Prevencion* . [En línea] 2001. <https://goo.gl/0vhory>.

**Tarifa, Enrique.** *Teorías de Modelos y Simulación*. San Salvador de Jujuy : Universidad Nacional de Jujuy, 2007.

**Terragrosa, Juan.** *Conceptos Básicos de Simulación de Procesos*. Valencia : Universitat Politècnica de València, 2008.

**Torres, Raquel.** Control de producción. [En línea] <https://goo.gl/1u8lf0>.

**Treybal, R.** *Operaciones de transferencia de masa*. Segunda. México : McGraw-Hill, 1980.

# ANEXOS

## ANEXO A: Reporte de análisis de la harina de sangre actual

	<b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b>	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE</b>
	<b>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</b> Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	<b>ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008</b>

**INFORME DE ENSAYO No:** 649  
**ST:** 24 - 16 ANÁLISIS DE ALIMENTOS  
**Nombre Peticionario:** GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO  
 MUNICIPAL DEL CANTÓN RIOBAMBA  
**Atn. Dirección:** Ing. Rosario Jara  
 5 de Junio y Veloz  
 Riobamba - Chimborazo  
 15 de Junio del 2016  
**FECHA:** 1  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 2016/06/03 – 10:25  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2016/06/03 – 07:48  
**FECHA DE MUESTREO:** 2016/06/03 – 2016/06/15  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 1  
**TIPO DE MUESTRA:** Harina de sangre  
**CÓDIGO CESTTA:** LAB-Alm 096-16  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** 1  
**PUNTO DE MUESTREO:** Parte baja del saco  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Físico-Químico  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Ing. Rosario Jara  
**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:** T máx.: 25.0 °C T mín.: 15.0 °C

### RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
*Humedad	PEE/CESTTA/201 AOAC 925.10	%	29,23	-	-
Proteína	PEE/CESTTA/202 AOAC 984.13A	%	58,93	±1,23%	-
Ceniza	PEE/CESTTA/204 AOAC 923.03	%	<3,36	±2,29%	-
*Grasa	PEE/CESTTA/203 AOAC 920.85	%	6,53	-	-
*Nitrógeno total	AOAC 984.13A	%	9,43	-	-
*Fosforo	Espectrofotométrico	mg/Kg	4026,58	-	-
*Hierro	Absorción Atómica	mg/Kg	1478,81	-	-

### OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE.

### RESPONSABLE DEL INFORME:

  
 Ing. Verónica Bravo  
 RESPONSABLE TÉCNICO





ANEXO B: Reporte de análisis de la harina de sangre del secador de bandejas



Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos  
en Aguas y Alimentos

EXAMEN BROMATOLOGICO DE ALIMENTOS

CÓDIGO 026-18

<b>CLIENTE:</b> Sr. Jorge López y Srta. Yeslie Vargas		
<b>DIRECCIÓN:</b> Orozco y Diego de Almagro		<b>TELÉFONO:</b>
<b>TIPO DE MUESTRA:</b> Harina de sangre seca		
<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 26 de enero del 2018		
<b>FECHA DE MUESTREO:</b> 26 de enero del 2018		
<b>EXAMEN FISICO</b>		
COLOR: Rojizo		
OLOR: Característico		
ASPECTO: Normal , libre de material extraño		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>RESULTADO</b>
Proteína %	INEN 543	87.02
Humedad %	INEN 540	0.91
Cenizas %	INEN 544	3.67
Grasa %	INEN 523	6.31
Nitrógeno total %	-	13.90
Hierro %	-	1.78
Mohos y levaduras UFC/g	INEN 1529-10	Ausencia
<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b> 26 de enero del 2018		 Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos
<b>FECHA DE ENTREGA :</b> 02 de febrero del 2018		
<b>RESPONSABLE:</b>		
		
<b>Dra. Gina Álvarez R.</b>		
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.		
*Las muestras son receptados en laboratorio.		

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes  
Contáctanos: 0998580374 - 032 942 322  
Riobamba - Ecuador

**ANEXO C: Inducción de la fábrica de harina de sangre**

A



B



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p><b>REALIZADO POR:</b></p> <p>JORGE DAVID LÓPEZ ALVARRASÍN          YESLIE ANDREI VARGAS TIERRAS</p>	EQUIPOS DE LA FÁBRICA DE HARINA DE SANGRE		
<p>a) Piscina de recolección de sangre</p> <p>b) Silo de almacenamiento de la sangre</p>	<p><input type="checkbox"/> CERTIFICADO</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> APROBADO</p> <p><input type="checkbox"/> POR APROBAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR CALIFICAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR VERIFICAR</p>		<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>	<b>LAMINA</b>
			1:1	16/12/2017	1

**ANEXO D:** Inducción fábrica harina de sangre

A



B

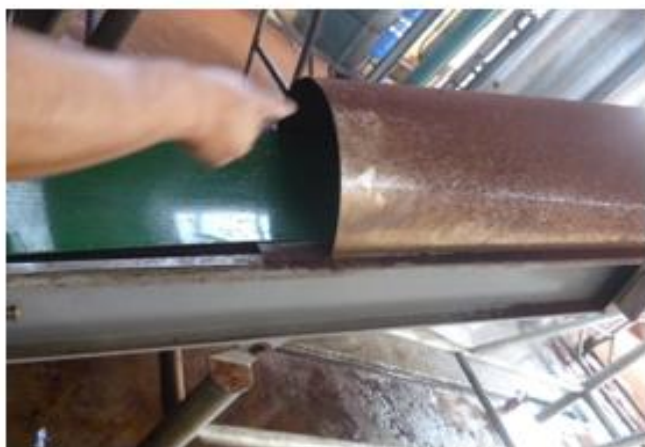


<b>NOTAS</b> a) Cooker de deshidratación de la sangre b) Extractor y condensador de olores	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b> <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  REALIZADO POR:  JORGE DAVID LOPEZ ALVARRASÍN YESLIE ANDREI VARGAS TIERRAS	EQUIPOS DE LA FÁBRICA DE HARINA DE SANGRE		
			<b>ESCALA</b> 1:1	<b>FECHA</b> 16/12/2017	<b>LAMINA</b> 2



**ANEXO E: Reconocimiento de los equipos**

A



B



<b>NOTAS</b> a. Banda transportadora de harina de sangre b. Secador rotatorio	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b> <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  REALIZADO POR:  JORGE DAVID LOPEZ ALVARRASÍN YESLIE ANDREI VARGAS TIERRAS	EQUIPOS DE LA FÁBRICA DE HARINA DE SANGRE		
			<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>	<b>LAMINA</b>
			1:1	16/12/2017	3

**ANEXO F: Reconocimiento de la fábrica de harina de sangre**

A



B



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>				
c. Armario de tamices	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  <b>REALIZADO POR:</b>  JORGE DAVID LÓPEZ ALVARRASÍN YESLIE ANDREI VARGAS TIERRAS	<b>EQUIPOS DE LA FÁBRICA DE HARINA DE SANGRE</b>		
d. Vista de la fábrica de harina de sangre					
		1:1	16/12/2017	4	

**ANEXO G: Pruebas de secado**

A



B



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	SECADO DE LA HARINA DE SANGRE		
a) MUESTRA DE HARINA EN LA BANDEJA b) SECADOR DE BANDEJAS A GAS	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	<b>REALIZADO POR:</b>  JORGE DAVID LÓPEZ ALVARRASÍN YESLIE ANDREI VARGAS TIERRAS	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			1:1	24/01/2018	5

**ANEXO H:** Análisis de la humedad de la harina de sangre

A



B



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  <b>REALIZADO POR:</b> JORGE DAVID LÓPEZ ALVARRASÍN YESLIE ANDREI VARGAS TIERRAS	<b>ANÁLISIS DE HUMEDAD</b>											
a) PESAJE DE LA HARINA DE SANGRE b) HARINA DE SANGRE EN LA ESTUFA PARA CÁLCULO DE LA HUMEDAD	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR VERIFICAR</td> </tr> </table>					<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO													
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO													
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR													
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR													
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR													
		1:1	25/01/2018	6										

**ANEXO I:** Análisis de grasa de la harina de sangre

A



**NOTAS**

a) ANALISIS DE GRASA EN LA HARINA DE SANGRE

**CATEGORIA DEL DIAGRAMA**

- CERTIFICADO
- APROBADO
- POR APROBAR
- POR CALIFICAR
- POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

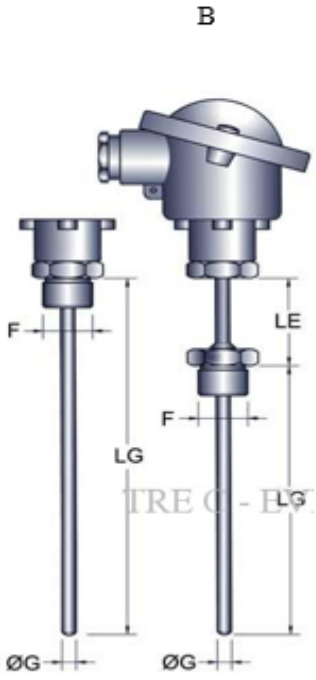
**REALIZADO POR:**

JORGE DAVID LOPEZ ALVARRASIN  
YESLIE ANDREI VARGAS TIERRAS

**ANÁLISIS DE GRASA**

ESCALA	FECHA	LAMINA
1:1	26/01/2018	7

**ANEXO J:** Sensor de temperatura para el secador



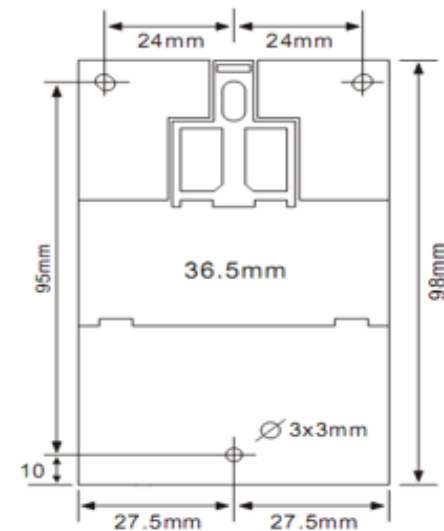
<p><b>NOTAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Control de temperatura compacto N1030</li> <li>b. Resistencias de platino PT100</li> </ul>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p> <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>POR VERIFICAR</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO          FACULTAD DE CIENCIAS          ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p><b>REALIZADO POR:</b></p> <p>JORGE DAVID LÓPEZ ALVARRASÍN          YESLIE ANDREI VARGAS TIERRAS</p>	<p>SENSOR PARA EL REDISEÑO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> <th>LÁMINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1:1</td> <td>12/03/2018</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>			ESCALA	FECHA	LÁMINA	1:1	12/03/2018	8
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO																				
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO																				
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR																				
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR																				
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR																				
ESCALA	FECHA	LÁMINA																			
1:1	12/03/2018	8																			

**ANEXO K:** Temporizador para el secador

A



B



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  REALIZADO POR:  JORGE DAVID LÓPEZ ALVARRASÍN YESLIE ANDREI VARGAS TIERRAS	TEMPORIZADOR PARA EL REDISEÑO											
a. Controlador del tiempo b. Dimensiones del controlador	<table border="1"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>POR VERIFICAR</td> </tr> </table>		<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO													
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO													
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR													
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR													
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR													
		1:1	12/03/2018	9										

**ANEXO L: Planos de la fábrica de harina de sangre rediseñada**

- ✓ Anexo 12-1: Secador rediseñado
- ✓ Anexo 12-2: Distribución de la planta
- ✓ Anexo 12-3: Plano con el rediseño

