

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

---

**TEMA:** “SEPARACIÓN POR MÉTODOS MECÁNICOS DE LA HEMOGLOBINA DE LA SANGRE DE POLLOS DE LA AVÍCOLA SAN AGUSTÍN MEDIANTE CENTRIFUGACIÓN Y SECADO PARA DISMINUIR EL VOLUMEN DE DESECHOS LÍQUIDOS DE LA SANGRE EN EL FAENAMIENTO”

---

Trabajo estructurado de manera independiente previa a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico

**Autor:** Álvaro Javier Muñoz Ojeda

**Tutor:** Ing. Mg. Jorge Guamanquispe

Ambato-Ecuador

2014

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe, Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, con CI:180203948-5, en mi calidad de Tutor del trabajo de investigación bajo el tema:“SEPARACIÓN POR MÉTODOS MECÁNICOS DE LA HEMOGLOBINA DE LA SANGRE DE POLLOS DE LA AVÍCOLA SAN AGUSTÍN MEDIANTE CENTRIFUGACIÓN Y SECADO PARA DISMINUIR EL VOLUMEN DE DESECHOS LÍQUIDOS DE LA SANGRE EN EL FAENAMIENTO” realizado por el Sr. Álvaro Javier Muñoz Ojeda, Egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica, tengo a bien informar lo siguiente:

El trabajo de investigación en mención está ajustado en su estructura tanto en el problema, marco teórico, metodología, análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones y la propuesta del trabajo de investigación, el mismo que es APROBADO para el trámite correspondiente.

Ambato, 20 de mayo del 2014

EL TUTOR

.....  
Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa

## **AUTORÍA**

Yo, Álvaro Javier Muñoz Ojeda, portador de cédula de ciudadanía N° 180428876-7, tengo a bien indicar que el trabajo de investigación con el tema: “SEPARACIÓN POR MÉTODOS MECÁNICOS DE LA HEMOGLOBINA DE LA SANGRE DE POLLOS DE LA AVÍCOLA SAN AGUSTÍN MEDIANTE CENTRIFUGACIÓN Y SECADO PARA DISMINUIR EL VOLUMEN DE DESECHOS LÍQUIDOS DE LA SANGRE EN EL FAENAMIENTO”, así como los conceptos, ideas y resultados son de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor de este trabajo investigativo.

Ambato, 20 de mayo del 2014

EI AUTOR

.....

Álvaro Javier Muñoz Ojeda

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico principalmente a Dios por haberme dado la vida y permitirme luchar para ver cumplido un sueño más de mi vida.

A mi querida madre por su cariño y comprensión gracias por sus sabios consejos que me permitieron salir adelante y comprender que con esfuerzo y dedicación podemos llegar a cumplir nuestras metas.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres por haberme apoyado para llevar a cabo mi carrera, gracias por haber depositado su confianza en mí y saber guiarme en el transcurso de mi vida.

Igualmente agradezco a mis queridos hermanos Maricela, Gabi y Maykel porque compartieron junto a mí en los momentos felices y tristes de mi existencia, gracias por todo su apoyo incondicional.

También agradezco a familiares y amigos que me permitieron compartir mis vivencias en el profundo cambio del tiempo.

## ÍNDICE GENERAL

|   |     |
|---|-----|
| Página de Portada .....                 | i   |
| Página de aprobación del tutor .....    | ii  |
| Página de autoría.....                  | iii |
| Página de dedicatoria .....             | iv  |
| Página de agradecimiento .....          | v   |
| Índice de contenidos .....              | vi  |
| Resumen ejecutivo .....                 | xvi |
| CAPÍTULO I.....                         | 1   |
| EL PROBLEMA.....                        | 1   |
| 1.1 TEMA:.....                          | 1   |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....     | 1   |
| 1.2.1 Contextualización.....            | 1   |
| 1.2.2 Análisis crítico .....            | 2   |
| 1.2.3 Prognosis .....                   | 3   |
| 1.2.4 Formulación del problema.....     | 4   |
| 1.2.5 Preguntas Directrices.....        | 4   |
| 1.2.6 Delimitación del problema.....    | 4   |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN .....                 | 4   |
| 1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... | 5   |
| 1.4.1 Objetivo general.....             | 5   |
| 1.4.2 Objetivos Específicos.....        | 6   |
| CAPÍTULO II.....                        | 7   |
| MARCO TEÓRICO .....                     | 7   |
| 2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....   | 7   |

|  |    |
|--|----|
| 2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....   | 8  |
| 2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....  | 8  |
| 2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....  | 9  |
| 2.4.1 Procesos Químicos.....   | 9  |
| 2.4.2 Operaciones unitarias.....   | 9  |
| 2.4.3 Separación por métodos mecánicos de la hemoglobina de la sangre..... | 17 |
| 2.4.4 Métodos de centrifugado.....   | 20 |
| 2.4.5 Tipos de secadores mecánicos.....                                    | 22 |
| 2.4.6 Métodos de secado de sangre.....                                     | 27 |
| 2.4.7 Gestión Ambiental.....   | 30 |
| 2.4.8 Contaminación Ambiental.....   | 30 |
| 2.4.9 Disminución del volumen de desechos líquidos de la sangre.....       | 37 |
| 2.5 HIPÓTESIS.....   | 43 |
| 2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....                         | 43 |
| 2.6.1 Variable Independiente.....  | 43 |
| 2.6.2 Variable Dependiente.....  | 43 |
| CAPÍTULO III.....  | 44 |
| METODOLOGÍA.....   | 44 |
| 3.1 ENFOQUE.....   | 44 |
| 3.1.1 Enfoque cuali-cuantitativo.....                                      | 44 |
| 3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....                              | 44 |
| 3.2.1 Investigación de campo.....  | 44 |
| 3.2.2 Investigación bibliográfica.....                                     | 44 |
| 3.2.3 Investigación experimental o de laboratorio.....                     | 45 |
| 3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....                                     | 45 |

|   |    |
|---|----|
| 3.3.1 Exploratoria.....   | 45 |
| 3.3.2 Descriptivo .....   | 45 |
| 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA .....   | 45 |
| 3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....  | 46 |
| 3.6 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....   | 48 |
| 3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS .....  | 48 |
| 3.7.1 Procesamiento de la información.....  | 48 |
| 3.7.2 Análisis de la investigación .....  | 49 |
| CAPÍTULO IV.....  | 50 |
| ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....  | 50 |
| 4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....  | 50 |
| 4.1.1 Evaluación de la generación de desechos líquidos de sangre.....                                       | 50 |
| 4.1.2 Análisis de métodos mecánicos de centrifugación y secado .....  | 52 |
| 4.1.3 Proceso propuesto para el análisis de los resultados .....  | 57 |
| 4.1.4 Separación de la hemoglobina mediante sedimentación<br>discontinua.....                               | 59 |
| 4.1.5 Separación de la hemoglobina mediante sedimentación continua .  | 67 |
| 4.1.6 Análisis del volumen de desecho de sangre .....   | 69 |
| 4.1.7 Análisis de la factibilidad de recuperación de la sangre.....   | 71 |
| 4.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....  | 72 |
| 4.2.1 Interpretación de la separación de la hemoglobina mediante<br>sedimentación discontinua.....          | 72 |
| 4.2.2 Interpretación de los datos de separación de la hemoglobina<br>mediante centrifugación continua ..... | 76 |
| 4.2.3 Interpretación del volumen de desechos líquidos de sangre .....                                       | 77 |
| 4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS .....   | 79 |
| 4.3.1 Método del Chi-cuadrado para comprobación de hipótesis .....  | 79 |

|  |     |
|--|-----|
| CAPÍTULO V.....                                | 82  |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....            | 82  |
| 5.1 CONCLUSIONES.....                          | 82  |
| 5.2 RECOMENDACIONES.....                       | 83  |
| CAPÍTULO VI.....                               | 85  |
| PROPUESTA.....                                 | 85  |
| 6.1 DATOS INFORMATIVOS.....                    | 85  |
| 6.2 ANTECEDENTES A LA PROPUESTA.....           | 85  |
| 6.3 JUSTIFICACIÓN.....                         | 86  |
| 6.4 OBJETIVOS.....                             | 86  |
| 6.4.1 Objetivo General.....                    | 86  |
| 6.4.2 Objetivos Específicos.....               | 86  |
| 6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....              | 86  |
| 6.6 FUNDAMENTACIÓN.....                        | 87  |
| 6.6.1 Secado.....                              | 87  |
| 6.6.2 Secador rotatorio.....                   | 91  |
| 6.7 METODOLOGÍA.....                           | 134 |
| 6.7.1 Paletas.....                             | 135 |
| 6.7.2 Cilindro.....                            | 135 |
| 6.7.3 Casco.....                               | 136 |
| 6.7.4 Tapa principal.....                      | 136 |
| 6.7.5 Tapa posterior.....                      | 137 |
| 6.7.6 Silleta.....                             | 138 |
| 6.7.7 Poleas.....                              | 138 |
| 6.8 ADMINISTRACIÓN.....                        | 139 |
| 6.8.1 Costos de materiales y mano de obra..... | 139 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN ..... | 140 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                    | 141 |
| ANEXOS.....                          | 143 |
| ANEXO A.....                         | 144 |
| Análisis de laboratorio.....         | 144 |
| ANEXO B.....                         | 146 |
| Formatos.....                        | 146 |
| ANEXO C.....                         | 150 |
| Tablas.....                          | 150 |
| ANEXO D.....                         | 163 |
| Figuras.....                         | 163 |
| ANEXO E.....                         | 168 |
| Fotos.....                           | 168 |
| ANEXO F.....                         | 169 |
| Planos.....                          | 169 |

## TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 2.1 .- Composición de la sangre .....   | 18 |
| Tabla 2.2 .- Densidad de la sangre de algunos animales .....                            | 18 |
| Tabla 2.3 .- Contenido de sangre respecto al peso vivo de diversos animales .....       | 19 |
| Tabla 2.4 .- Análisis de Sangre entera, Plasma y Hemoglobina secada por Spray .....     | 29 |
| Tabla 2.5 .- Coeficiente de digestibilidad de algunas sustancias .....                  | 42 |
| Tabla 4.1.- Cantidad de aves faenadas en la Avícola San Agustín .....                   | 50 |
| Tabla 4.2 .- Cantidad estimada de sangre de aves en la Avícola San Agustín .....        | 51 |
| Tabla 4.3 .- Datos técnicos de la centrífuga .....                                      | 59 |
| Tabla 4.4 .- Volumen de separación de la sangre a 4 minutos .....                       | 60 |
| Tabla 4.5 .- Volumen de separación de la sangre a 6 minutos .....                       | 61 |
| Tabla 4.6 .- Volumen de separación de la sangre a 8 minutos .....                       | 62 |
| Tabla 4.7 .- Volumen de separación de la sangre a 10 minutos .....                      | 62 |
| Tabla 4.8.- Volumen de separación de la sangre a 12 minutos .....                       | 63 |
| Tabla 4.9 .- Datos técnicos de estufa .....   | 64 |
| Tabla 4.10 .- Variación del tiempo de secado a 70°C .....                               | 64 |
| Tabla 4.11 .- Variación del tiempo de secado a 80°C .....                               | 65 |
| Tabla 4.12 .- Variación del tiempo de secado a 90°C .....                               | 66 |
| Tabla 4.13 .- Especificaciones técnicas de la centrífuga.....                           | 68 |
| Tabla 4.14 .- Resultados obtenidos mediante centrifugación continua .....               | 68 |
| Tabla 4.15 .- Resultados del secado de la hemoglobina.....                              | 69 |
| Tabla 4.16 .- Parámetros de contaminación .....   | 70 |
| Tabla 4.17 .- Proyección de la recuperación de la hemoglobina de la sangre de pollo ... | 71 |
| Tabla 4.18 .- Proyección de la obtención de la hemoglobina .....                        | 72 |
| Tabla 4.19 .- Ocurrencia de eventos.....  | 79 |
| Tabla 4.20 .- Resultados obtenidos en los ensayos de centrifugación .....               | 80 |
| Tabla 6.1 .- Resistencia a la corrosión.....  | 87 |
| Tabla 6.2 .- Registro de faenamiento máximo de aves en la Avícola San Agustín.....      | 87 |
| Tabla 6.3 .- Composición química de la harina de sangre utilizando un digestor .....    | 88 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 6.4 .- Temperaturas empleadas para el tratamiento de la sangre.....               | 89  |
| Tabla 6.5 .- Rendimientos y calidades de la harina de sangre por diversos sistemas..... | 89  |
| Tabla 6.6 .- Ventajas y desventajas de secadores .....                                  | 90  |
| Tabla 6.7 .- Selección de alternativa.....  | 91  |
| Tabla 6.8 .- Selección de alternativas.....   | 91  |
| Tabla 6.9 .- Cargas consideradas para los sosportes .....                               | 122 |
| Tabla 6.10 .- Valores de la constante $K_{11}$ .....                                    | 124 |
| Tabla 6.11 .- Características técnicas del secador rotatorio.....                       | 134 |
| Tabla 6.12 .- Costo de la materiales de secador .....                                   | 139 |
| Tabla 6.13 .- Costo por mano de obra .....  | 140 |
| Tabla 6.14 .- Costos totales .....  | 140 |

## FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 .- Categorías Fundamentales .....                              | 9  |
| Figura 2.2 .- Tipos de operaciones unitarias .....                        | 10 |
| Figura 2.3 .- Mecanismos de transferencia de calor.....                   | 11 |
| Figura 2.4 .- Métodos de separación de componentes de la sangre .....     | 13 |
| Figura 2.5 .- Fuerza centrífuga .....                                     | 14 |
| Figura 2.6 .- Diagrama de presiones en el proceso de centrifugado.....    | 14 |
| Figura 2.7 .- Principio de la centrifugadora .....                        | 15 |
| Figura 2.8 .- Tipos de centrifugas .....                                  | 20 |
| Figura 2.9 .- Separación de un líquido ligero del pesado. ....            | 21 |
| Figura 2.10.- Principio de un filtro centrífugo .....                     | 21 |
| Figura 2.11 . Tipos de secadores .....                                    | 22 |
| Figura 2.12 .- Secador directo por cargas .....                           | 23 |
| Figura 2.13 .- Esquema de secaderos de túnel.....                         | 24 |
| Figura 2.14.-Esquema de una instalación de secado por atomización .....   | 25 |
| Figura 2.15 .- Principio de funcionamiento de un secador de rodillos..... | 27 |
| Figura 2.16 .- Diagrama de flujo de una línea del faenado de aves .....   | 31 |
| Figura 2.17 .- Subproductos generados en el faenado de aves.....          | 33 |
| Figura 2.18 .- Alternativas de aprovechamiento de la sangre .....         | 38 |
| Figura 2.19 .-Separación de la sangre animal por centrifugación .....     | 39 |
| Figura 4.1 .- Fuerzas que intervienen en la sedimentación libre .....     | 52 |
| Figura 4.2 .- Coeficientes de sedimentación .....                         | 54 |
| Figura 4.3 .- Velocidad de secado de productos .....                      | 56 |
| Figura 4.4.- Proceso para centrifugación de la sangre de aves .....       | 57 |
| Figura 4.5 .- Proceso para el secado de hemoglobina .....                 | 58 |
| Figura 4.6.- Glóbulos rojos sedimentados .....                            | 61 |
| Figura 4.7 .- Hemoglobina sometida a deshidratación incompleta.....       | 65 |
| Figura 4.8 .- Hemoglobina deshidratada .....                              | 66 |
| Figura 4.9 .- Hemoglobina secada a 90°C.....                              | 67 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.10 .- Centrifuga para sangre.....                              | 67  |
| Figura 4.11 .- Desangrado de aves .....                                 | 70  |
| Figura 4.12 .- Curva de tendencia de datos separación a 4 minutos ..... | 73  |
| Figura 4.13 .- Tendencia de datos de separación a 6 minutos .....       | 73  |
| Figura 4.14 .- Tendencia de datos de separación a 8 minutos .....       | 74  |
| Figura 4.15 .- Tendencia de datos separación a 10 minutos .....         | 74  |
| Figura 4.16 .- Tendencia de datos de separación a 12 minutos .....      | 75  |
| Figura 4.17 .- Curva de secado de la hemoglobina.....                   | 76  |
| Figura 4.18 .- Volumen de separación mediante centrifugación .....      | 76  |
| Figura 4.19 .- Secado de la hemoglobina.....                            | 77  |
| Figura 4.20 .- Secado de la hemoglobina.....                            | 77  |
| Figura 4.21 .- Recuperación de la sangre .....                          | 78  |
| Figura 4.22 .- Proyección de la recuperación diaria de la sangre .....  | 78  |
| Figura 6.1 .- Partes del secador.....                                   | 92  |
| Figura 6.2 .- Cilindro.....   | 93  |
| Figura 6.3 .- Circuito térmico del secador.....                         | 99  |
| Figura 6.4 .- Catálogo de quemadores .....                              | 105 |
| Figura 6.5 .- Paletas.....  | 112 |
| Figura 6.6 .- Diagrama de cuerpo libre de la paleta .....               | 114 |
| Figura 6.7 .- Diagrama de fuerza cortante y momento flector .....       | 114 |
| Figura 6.8 .- Momentos torsores producidos en el eje .....              | 117 |
| Figura 6.9 .- Diagrama de cuerpo libre .....                            | 117 |
| Figura 6.10 .- Diagrama de fuerza cortante.....                         | 118 |
| Figura 6.11 .- Diagrama de fuerza cortante y momento flector .....      | 119 |
| Figura 6.12 .- Silleta soporte.....                                     | 122 |
| Figura 6.13 .- Geometría de soporte.....                                | 123 |
| Figura 6.14 .- Dimensionamiento de chavetero.....                       | 127 |
| Figura 6.15 .- Chavetero en el eje y la excéntrica .....                | 127 |
| Figura 6.16 .- Soldadura sometida e tensión.....                        | 128 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 6.17 .- Dimensiones de materiales ..... | 133 |
| Figura 6.18 .- Paletas .....                   | 135 |
| Figura 6.19 .- Cilindro.....                   | 136 |
| Figura 6.20 .- Casco externo .....             | 136 |
| Figura 6.21 .- Tapa principal .....            | 137 |
| Figura 6.22 .- Tapa posterior .....            | 137 |
| Figura 6.23 .- Silleta soporte.....            | 138 |
| Figura 6.24 .- Polea trapecial.....            | 138 |

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

**SEPARACIÓN POR MÉTODOS MECÁNICOS DE LA HEMOGLOBINA  
DE LA SANGRE DE POLLOS DE LA AVÍCOLA SAN AGUSTÍN  
MEDIANTE CENTRIFUGACIÓN Y SECADO PARA DISMINUIR EL  
VOLUMEN DE DESECHOS LÍQUIDOS DE LA SANGRE EN EL  
FAENAMIENTO**

**RESUMEN EJECUTIVO**

En el presente trabajo investigativo se estudio la separación de la hemoglobina de sangre de pollos de la Avícola San Agustín, para disminuir el volumen de desechos líquidos en el faenamiento. El análisis se desarrolló por métodos mecánicos de centrifugación y secado mediante procedimientos revisados bibliográficamente. Para la separación de la hemoglobina es imprescindible la adición de anticoagulante en la sangre obtenida por desangrado, luego es centrifugada separando en sus componentes plasma y hemoglobina, y posteriormente secada.

En los ensayos de centrifugado se observó los porcentajes máximos recuperables mediante el secado de la hemoglobina la cual puede emplearse para diversos fines gracias al contenido proteico de este subproducto del faenamiento en la Avícola San Agustín.

Finalmente se determinó un equipo de secado adecuado para el tratamiento de la sangre con fines de obtención de harina de sangre, para lo cual se calculó los requerimientos energéticos y se diseño de manera detallada cada uno de los componentes del equipo.

## **CAPÍTULO I**

### **1 EL PROBLEMA**

#### **1.1 TEMA:**

“SEPARACIÓN POR MÉTODOS MECÁNICOS DE LA HEMOGLOBINA DE LA SANGRE DE POLLOS DE LA AVÍCOLA SAN AGUSTÍN MEDIANTE CENTRIFUGACIÓN Y SECADO PARA DISMINUIR EL VOLUMEN DE DESECHOS LÍQUIDOS DE LA SANGRE EN EL FAENAMIENTO”

#### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.2.1 Contextualización**

Mundialmente el crecimiento de la industria avícola ha sido notable por su acogida en el consumo humano de sus productos. Los beneficios nutricionales han hecho un factor primordial para la ingesta de su carne y huevos. Los avances de esta industria han permitido controlar la propagación de enfermedades, mejoramientos de procesos, reducción de la contaminación, y la optimización de los recursos. Las cuales han implementado procesos para el tratamiento de subproductos como sangre, plumas, gallinaza y vísceras; para la utilización de abonos, productos químicos, alimentación animal, etc.

En países como Suecia, Dinamarca y Estados Unidos la sangre, las grasa, los huesos, las tripas, las glándulas y otros son hoy objeto de total utilización mientras en otros se desperdician casi totalmente. En países como Suecia el valor de los productos recuperados e industrializados

compensa los gastos de distribución, y transporte del matadero a la carnicería y todos los gastos del sacrificio.

En nuestro país la mayoría de mataderos no cuentan con infraestructura adecuada, ni con equipos técnicos requeridos para el tratamiento de los subproductos del faenamiento existiendo riesgos de contaminación de los productos comestibles. El principal inconveniente se debe al desconocimiento de técnicas para el aprovechamiento de subproductos y el recurso económico para la adquisición de maquinaria adecuada.

En la provincia de Tungurahua en las zonas de temperatura tropical como los valles se ha desarrollado favorablemente la industria avícola; dedicada principalmente a la producción de pollos y de huevos. Así también encontramos empresas afines para la producción de balanceado, procesamiento y comercialización; las cuales han tenido que ir implementando procesos y tecnología competitiva en el mercado nacional. El procesamiento de aves es una actividad que más subproductos genera, como la sangre, vísceras y plumas. Las cuales producen impactos ambientales considerables al no ser tratadas adecuadamente.

En la Avícola San Agustín el tratamiento de los subproductos como vísceras, plumas y sangre es nulo ocasionando residuos sólidos y desechos líquidos. Los despojos generados en el faenamiento como el corazón, pulmón, molleja e hígado son los únicos subproductos que se aprovechan. Con el fin de evitar la contaminación, la avícola en mención busca dar un tratamiento a los subproductos del faenamiento de pollos.

### **1.2.2 Análisis crítico**

La problemática se produce en el procesamiento de pollos desde el sacrificio donde aparecen los subproductos, considerándose a la materia prima de las aves que no son aprovechadas como canal y despojos. Los principales subproductos originados son la sangre, las plumas, vísceras y

grasas; que no cuentan con tratamientos adecuados para minimizar la contaminación.

La generación de desechos líquidos de sangre se produce por el desangrado del ave durante el faenado, la cantidad obtenida es recolectada para luego ser desechada constituyéndose en constantes focos de contaminación.

La contaminación de desechos líquidos es ocasionada por grasas, restos de eses y sangre. Los desechos al contener materia orgánica hacen rápida la proliferación de microorganismos produciéndose malos olores, propagación de virus, presencia de moscas, otros. Estos inconvenientes se traducen a problemas sanitarios y ambientales para esta avícola.

El manejo inadecuado de la sangre se da principalmente por falta de conocimiento de sus usos y de procedimientos que permitan ser tratada para las diferentes aplicaciones. Y al no contar con procedimientos y técnicas que permitan aprovechar los desechos imposibilita los trabajos para reducir la contaminación que se producen en esta micro-empresa avícola.

### **1.2.3 Prognosis**

Al no realizarse este estudio se continuará con el desecho de la sangre generando problemas ambientales desfavorables a esta micro-empresa avícola, como el incumplimiento a las ordenanzas municipales referentes a impactos ambientales.

También no podrá aprovecharse las proteínas contenidas en la sangre que está siendo desechada y al no tratarse seguirá afectando al ambiente, mediante la contaminación directa al agua, aire, y suelo. En el agua al ser desalojada la sangre se produce la proliferación de bacterias dañinas, que suelen ser desembocadas en quebradas, fuentes naturales, agua de regadío, otros.; la afectación del aire se da por la presencia malos olores contaminantes.

#### **1.2.4 Formulación del problema**

¿Es posible obtener hemoglobina por métodos mecánicos mediante centrifugación y secado para disminuir el volumen de desechos líquidos de sangre en el faenamiento de pollos de la avícola San Agustín?

#### **1.2.5 Preguntas Directrices**

- ¿Cuál es el volumen de faenamiento diario de la sangre de pollos de la avícola San Agustín?
- ¿Cuáles son los factores o mecanismos que influyen en la separación de la hemoglobina de sangre de pollos de la avícola San Agustín?
- ¿Cómo son los procedimientos mecánicos para la separación de la hemoglobina de sangre de pollos de la avícola San Agustín?
- ¿Cuál es el método adecuado para la separación de la hemoglobina de la sangre de pollos de la avícola San Agustín?

#### **1.2.6 Delimitación del problema**

##### **1.2.6.1 Delimitación espacial**

Esta investigación se realizó en las instalaciones de la avícola San Agustín del Cantón Patate, Provincia de Tungurahua y en la Universidad Técnica de Ambato.

##### **1.2.6.2 Delimitación temporal**

Este proyecto de investigación se desarrolló, en el periodo comprendido entre mayo del 2013- mayo del 2014.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La realización de esta investigación es de vital importancia en el ámbito ambiental e ingenieril, en la cual mediante la utilización adecuada de métodos mecánicos de centrifugación y secado permite reducir el

volumen de desechos líquidos de la sangre que se genera en la avícola San Agustín. La aplicación de técnicas para el tratamiento de la sangre producida en el faenamiento de pollos contribuye a la optimización de los recursos y la reducción de la contaminación.

La separación de la hemoglobina de la sangre se realizó mediante una investigación técnica-experimental en la cual se analiza los parámetros mecánicos, para la separación de los componentes de la sangre y posteriormente el secado. En el desarrollo de la investigación se propone un tratamiento adecuado para la separación de la hemoglobina y su posterior uso dentro de la industria.

El aprovechamiento de los subproductos como la sangre tiene diferentes utilidades por su alto contenido proteico. La recuperación de la hemoglobina y plasma mediante métodos mecánicos permite aplicar en diferentes industrias como la alimenticia, agroindustria, etc.

La reducción del volumen de desechos líquidos de la sangre, permite disminuir significativamente el impacto ambiental que provoca los subproductos del faenamiento de pollos en la avícola San Agustín.

Finalmente una razón más por la que se llevó a cabo esta investigación es mostrar a empresas similares de faenamiento una alternativa para el tratamiento de la sangre que contribuya a la reducción de la contaminación.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Obtener hemoglobina por métodos mecánicos mediante centrifugación y secado para disminuir el volumen de desechos líquidos de sangre en el faenamiento de pollos de la avícola San Agustín.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el volumen de faenamiento diario de la sangre de pollos de la avícola San Agustín.
- Determinar los factores o mecanismos que influyen en la separación de la hemoglobina de sangre de pollos de la avícola San Agustín.
- Analizar los procedimientos mecánicos de separación de la hemoglobina de sangre de pollos de la avícola San Agustín.
- Determinar el método adecuado para la separación de la hemoglobina de la sangre de pollos de la avícola San Agustín.

## **CAPÍTULO II**

### **2 MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

Previa a una investigación realizada en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se puede manifestar que no existe un proyecto con el mismo fin.

El primer dispositivo de centrifugación continuo fue un separador de nata manual inventado por el Dr. Carl Gustav Patrik De Laval en 1877 y posteriormente patentado en los Estados Unidos, desde entonces se han utilizado en múltiples aplicaciones como separador de sangre, industria petrolera, industria nuclear y muchas aplicaciones (De Laval CGP, Inventor, US Patent 247, 804, 1881)

La ultracentrifugación fue ideada en 1923 por el bioquímico sueco Svedberg, en la que desarrollo una ultracentrífuga que podía alcanzar velocidades tan elevadas como 100.000 rpm, de modo que genera campos centrífugos que superan 800.000 g. Desde entonces la centrifugación se ha convertido en una herramienta indispensable para el aislamiento de proteínas, ácidos nucleídos y partículas sub-celulares (Asimov Issac, 1995).

Catalina Beltrán Fernández y William Fernando Perdomo Robayo de la Facultad de Alimentos de la Universidad de la Salle de Bogotá propone la investigación “Aprovechamiento de la sangre de bovino para la obtención de harina de sangre y plasma sanguíneo en el matadero santa Cruz de Malambo atlántico” en la cual se dieron a conocer y se desarrollaron dos alternativas muy importantes en el manejo y aprovechamiento de los residuos líquidos generados en este Matadero.

Gustavo Adolfo Guerrero Marín de la Facultad de ingeniería Química y Agroindustria de la Escuela Politécnica Nacional en su trabajo de grado “Diseño de ingeniería básica de una planta para la elaboración de sangre deshidratada para alimentos balanceados” realizó un estudio para la implantación de un sistema de secado de sangre mediante Spray, mediante una evaluación financiera desde la recogida de sangre, su tratamiento mediante la maquinaria adecuada, hasta la obtención de un producto final.

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

Esta investigación se fundamenta en el paradigma crítico propositivo, crítico por cuanto se estudia la aplicación de sistemas mecánicos para la separación de la hemoglobina de sangre de pollos de la avícola San Agustín, mediante centrifugación y secado. También es propositivo por que se busca reducir el volumen de desechos líquidos mediante un proceso adecuado para la obtención de la hemoglobina que posteriormente puede ser aprovechada en múltiples aplicaciones.

## **2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). Anexo I del libro IV, establece los límites permisibles del agua residual antes de ser vertidos a un cauce natural, además recomienda que las aguas residuales deben ser analizadas mediante un laboratorio para determinar los niveles de afectación, dar su debido tratamiento a las agua para que no altere el ecosistema y garantice un equilibrio de vida.

La ley de Gestión Ambiental (2004-019) en el Capítulo II “De la Autoridad Ambiental”, en el Art 9 establece que le corresponde al Ministerio del Ramo a coordinar con los organismos competentes sistemas de control, para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes.

## 2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

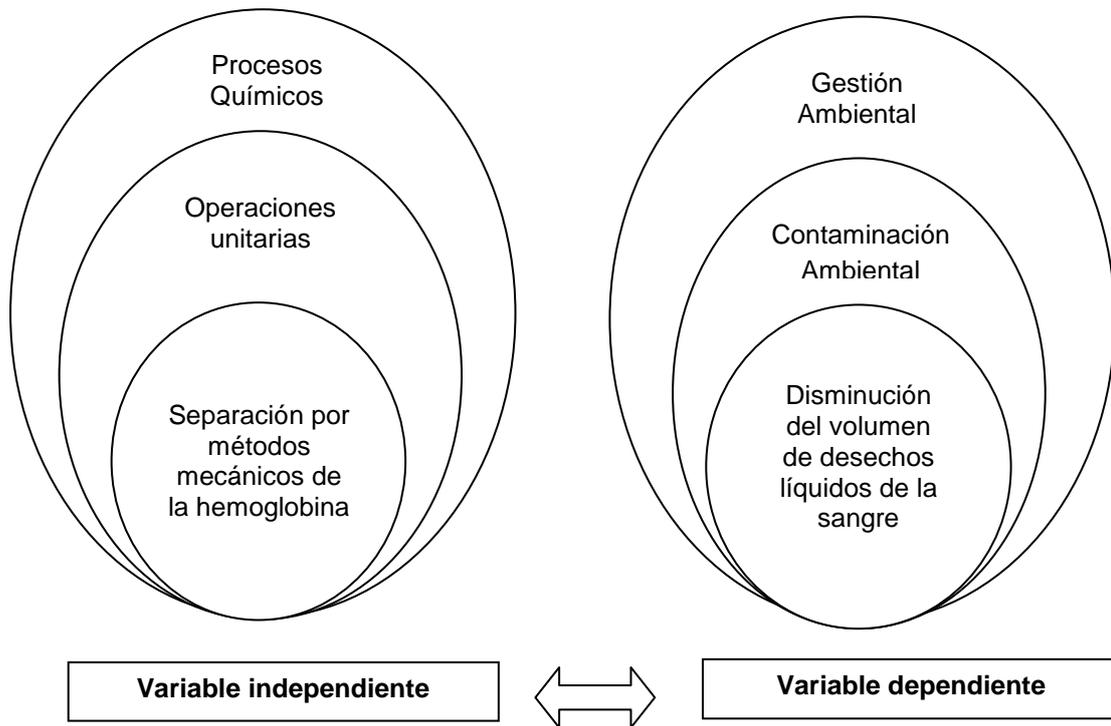


Figura 2.1 .- Categorías Fundamentales

Fuente: El autor

### 2.4.1 Procesos Químicos

El proceso dentro de la ingeniería química es el conjunto de etapas que impliquen modificación en su composición o ciertos cambios físicos en el material.

Para el diseño de un proceso, cada etapa se estudia de forma individual las cuales consisten en reacciones químicas, mientras que otras son cambios físicos. El ingeniero de proceso debe especificar las condiciones de cada etapa y a medida que avanza el proceso el trabajo del ingeniero químico se complementa con el ingeniero mecánico y el ingeniero civil.

### 2.4.2 Operaciones unitarias

En cada operación unitaria se cambian las condiciones de materia de diversas formas:

- Modificando su masa.
- Modificando el nivel o calidad de energía.
- Modificando las condiciones de movimiento.

Las operaciones unitarias básicas no son muchas y generalmente pocas participan en un proceso. La complejidad se origina debido a las condiciones de temperatura, presión, etc.

En la figura 2.2 se muestran los principales tipos de operaciones unitarias.

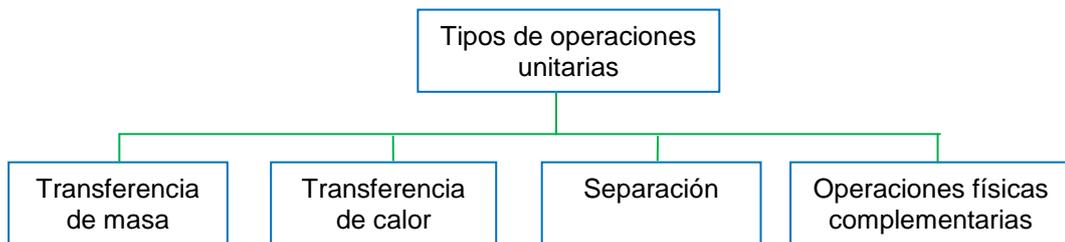


Figura 2.2 .- Tipos de operaciones unitarias

Fuente: El autor

#### **2.4.2.1 Transferencia de masa**

La transferencia de masa se da entre dos regiones con composiciones químicas diferentes mediante el movimiento de especies químicas de mayor concentración hacia una de menor concentración. Cuando estas dos fases permanecen en contacto durante un tiempo, alcanzaran un punto de equilibrio en el cual ya no habrá transferencia en los componentes. (Foust & Wenzel, 2006, pág. 29)

La transferencia de masa puede darse en líquidos, en sólidos y en gases.

#### **2.4.2.2 Transferencia de calor**

La transferencia de calor abarca una amplia gama de fenómenos físicos que hay que comprender antes de proceder a desarrollar la metodología que conduzca al diseño térmico de los sistemas correspondientes.

El secado se puede realizar de diferentes métodos de secado natural o mecánico. El secado natural se realiza al contar con las condiciones climáticas adecuadas de humedad y temperatura, mientras que para el secado mecánico requiere de equipos especialmente diseñados.

La transferencia de calor puede ocurrir por:



Figura 2.3 .- Mecanismos de transferencia de calor

Fuente: El autor

**Conducción:** La conducción es una transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como el resultado de las interacciones. La conducción puede ocurrir en sólidos, líquidos o gases; en estos dos últimos se da por las colisiones de las moléculas durante su movimiento aleatorio.

La ecuación que obedece a la transferencia de calor por conducción está dada por:(Yunus & Çengel, 2006)

$$q = -k \cdot A \frac{dt}{dx} \qquad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde,

k: coeficiente de transferencia [W/m°K].

dt: gradiente de temperatura [°K].

A: área de transferencia por conducción [m<sup>2</sup>].

**Convección:** La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y un líquido o gas adyacente que está en movimiento, y tiene que ver con los efectos combinados de conducción y movimiento del fluido: mientras más rápido se esté mayor es la

transferencia por convección. La transferencia de calor mediante convección se calcula mediante:

$$q = h_c(T_s - T_\infty) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde,

$h_c$ : coeficiente de transferencia de calor por convección.

$T_s$ : temperatura de la superficie.

$T_\infty$ : temperatura de la corriente libre.

Existen dos tipos de convección la convección libre o natural y convección forzada

- **Convección natural:** el movimiento del fluido es debido a causas naturales. Las fuerzas de empuje son inducidas por la diferencia de densidad debida a la variación de temperatura en ese fluido.
- **Convección Forzada:** el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios artificiales (ventiladores, bombas, etc.)

**Radiación:** La forma radiactiva de la transmisión del calor se caracteriza porque la energía se transporta en forma de ondas electromagnéticas, que se propagan a la velocidad de la luz. El transporte de energía por radiación se puede realizar entre superficies separadas por el vacío; así por ejemplo, el Sol transmite energía a la Tierra por radiación a través del espacio que, una vez interceptada por la Tierra, se transforma en otras fuentes de energía.

**Liofilización:** La liofilización es un proceso de conservación mediante sublimación utilizado con el fin de reducir las pérdidas de los componentes, el cual consta de tres fases: sobre congelación, desecación primaria y desecación secundaria. Este es un proceso adecuado para preservar derivados sanguíneos, frutas, vegetales, carnes, peces y alimentos en general.

### 2.4.2.3 Procesos mecánicos de separación

Muchos métodos de separación mecánicos se basan en la sedimentación de partículas sólidas impulsadas por la fuerza de gravedad o por medio de la fuerza centrífuga.

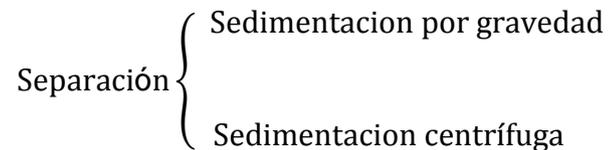


Figura 2.4 .- Métodos de separación de componentes de la sangre

Fuente: El autor

#### a) Procesos de separación mediante gravedad

Muchos de los equipos utilizados en procesos químicos separan las partículas por tamaños mediante la acción de la fuerza de gravedad. Las partículas más pesadas que el fluido en la cual están suspendidos pueden separarse en un tanque de sedimentación, donde la velocidad del fluido es baja.

Un sedimentador que separa las partículas de un líquido se conoce como clarificador mientras que cuando existe una separación en fracciones se denomina clasificadores.

#### b) Sedimentación centrífuga

La centrifugación es una operación de separación sólido-líquido, o líquido-líquido, usada para separar sólidos o líquidos que se encuentren en suspensión, mediante la aplicación de una fuerza centrífuga que acelera la sedimentación de las partículas.

**Fuerza centrífuga:** esta fuerza tiende a desplazarlas partículas más densas hacia fuera del centro de rotación.

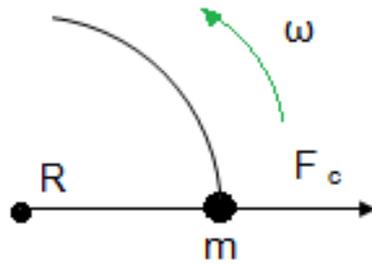


Figura 2.5 .- Fuerza centrífuga

Fuente: El autor

La fuerza centrífuga ejercida sobre una partícula se calcula mediante:

$$F_c = m \cdot a_{cf} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

La centrifugación es un procedimiento de separación mecánico en el cual actúa la fuerza centrífuga y separa sustancias de diferentes densidades.

Como consecuencia del proceso de rotación, de una columna de líquido, se obtiene una diferencia de presiones tal como se indica en la figura 2.6.

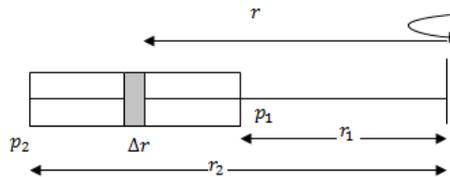


Figura 2.6 .- Diagrama de presiones en el proceso de centrifugado

Fuente: I. Martín, R. Salcedo, Mecánica de Fluidos, 2011

La diferencia de presión hidrostática entre la superficie superior y la superficie inferior, se puede calcular de la siguiente forma:

Para una capa de espesor  $\Delta r$ , se cumple que:

$$dp = \rho \cdot \omega^2 \cdot r \cdot dr \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Cuando en una solución mayor es la diferencia de densidades es fácil la migración de sus componentes, pero cuando las diferencias son mínimas es necesario recurrir a la aplicación de fuerzas centrífugas superiores a la gravedad.

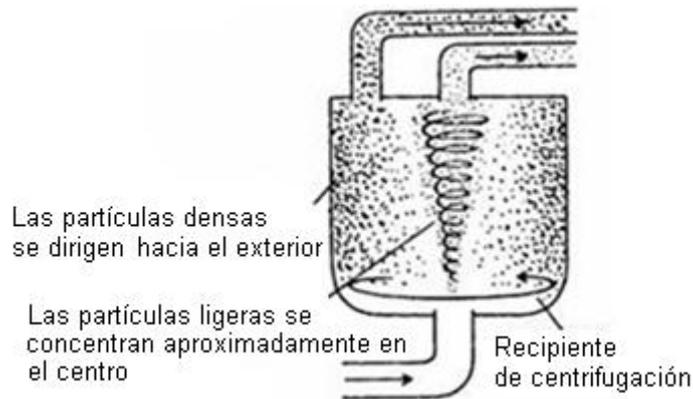


Figura 2.7 .- Principio de la centrifugadora

Fuente: Asimov Isaac, Introducción a la ciencia, 1965

Este procedimiento separa fundamentalmente las partículas de acuerdo con su masa y su forma, cuando la fuerza centrífuga es más intensa que la gravedad terrestre, las partículas se van separándose del centro a gran velocidad.

**Sedimentación:** es la medición de la velocidad de separación de las partículas de una solución, que dependen de un coeficiente de sedimentación **S**. Este coeficiente es reflejo del tamaño y forma de la partícula o molécula y de él depende la velocidad con que ésta sedimenta.

La fuerza **F** necesaria para la sedimentación de una partícula de masa **m** está dada por la fuerza centrífuga menos la fuerza de flotación ejercida por la disolución, así:

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r - V_p \cdot \rho \cdot \omega^2 r \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde,

$\omega$ : Velocidad angular [rad • s].

r: radio de centro a la partícula [m].

$V_p$ : volumen de la partícula [m<sup>3</sup>].

$\rho$ : densidad de la solución [Kg/m<sup>3</sup>].

En este campo, una partícula se desplaza a una velocidad constante cuando la fuerza centrífuga es igual a la resistencia viscosa.

$$F_c = v \cdot f \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde,  $f$  es coeficiente de fricción y  $v$  es velocidad de migración de la partícula

Igualando la ecuación la fuerza centrífuga de la ecuación 2.2 con la resistencia viscosa, tenemos:

$$f \cdot v = m \cdot \omega^2 \cdot r - V_p \cdot \rho \cdot \omega^2 r \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Por consiguiente, la velocidad de migración de la partícula es:

$$v = \frac{m(1-V_p) \omega^2 r}{f} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

El coeficiente de sedimentación  $S$ , está definido como la velocidad dividida por el campo centrífugo:

$$S = \frac{v}{\omega^2 r} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Conocido el valor del coeficiente de sedimentación puede determinarse la velocidad de sedimentación, mediante la ecuación:

$$V = S \cdot \omega^2 r \quad \text{Ecuación 2.10}$$

El coeficiente de sedimentación de una partícula se expresa generalmente en unidades de  $10^{-13}$  segundos, conocidas como Svedbergs (S).

#### **2.4.2.4 Operaciones físicas complementarias**

Las operaciones físicas complementarias se basan en la reducción del tamaño de partícula y la separación mediante procedimientos como:

- Trituración
- Molienda

- Tamizado
- Almacenaje de materiales

### **2.4.3 Separación por métodos mecánicos de la hemoglobina de la sangre**

#### **2.4.3.1 Sangre animal**

La sangre es un líquido viscoso, formado por componentes celulares los cuales se encuentran suspendidos en un medio coloidal denominado plasma. Su coloración es opaca debido al gran número de células que se encuentran en ella y roja por la hemoglobina contenida en los glóbulos rojos (eritrocitos).

**Plasma:** Es un líquido claro y amarillento; su componente principal es aproximadamente 92% de agua. También contiene proteínas plasmáticas, sustancias inorgánicas, azúcares, hormonas, enzimas, lípidos, aminoácidos y productos de degradación como urea y creatinina. Todas estas sustancias aparecen en pequeñas cantidades. (Madrid, 1999)

**Hemoglobina:** Es el componente principal de los eritrocitos; su concentración en ellos es de alrededor de 34 g/dL. Es un pigmento rojo con un peso molecular de 68. 000 Daltons y actúa como vehículo para el transporte de oxígeno en el organismo.

Las funciones generales que lleva a cabo a sangre en el organismo es:

- Llevar oxígeno a todos los tejidos del cuerpo, además de nutrientes y sustancias hormonales.
- Extrae de los tejidos el bióxido de carbono y materiales de desecho producidos en el metabolismo celular.
- También ayuda a regular el contenido de agua en los tejidos del cuerpo.
- Regula el Ph manteniéndole dentro de los límites normales
- Regula la temperatura corporal.

La sangre principalmente se compone de un 80% de humedad y un 20% sólidos como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 .- Composición de la sangre

| Composición                   | Porcentajes |
|-------------------------------|-------------|
| Humedad                       | 80%         |
| Glóbulos sanguíneos           | 12%         |
| Albumina                      | 6,1%        |
| Fibrina                       | 0,5%        |
| Grasa                         | 0,2%        |
| Extractos de otras sustancias | 0,03%       |
| Cenizas                       | 0,9%        |

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

### 2.4.3.2 Propiedades físicas de la sangre

**Color:** El color de la sangre se debe al pigmento de la hemoglobina contenida en los eritrocitos, el color rojo varía de acuerdo a la cantidad de oxígeno presente en la misma.

**Sabor y olor:** Debido a su contenido en sales y a la presencia de hierro en la sangre, tiene un sabor salado y ligeramente metálico. Debido a la escasa presencia de ácidos grasos no tiene un olor definido.

**Densidad:** Por su alto contenido de agua presenta una densidad muy similar a este líquido. En la tabla 2.2 se presenta la densidad de la sangre para diversas especies animales.

Tabla 2.2 .- Densidad de la sangre de algunos animales

| Especie        | Componente     | Densidad (Kg/dm <sup>3</sup> ) |
|----------------|----------------|--------------------------------|
| Vacuno         | Sangre entera  | 1,052                          |
|                | Glóbulos rojos | 1,084                          |
|                | Plasma         | 1,029                          |
| Ovino          | Sangre entera  | 1,052                          |
|                | Glóbulos rojos | 1,098                          |
|                | Plasma         | 1,028                          |
| Aves de corral | Sangre entera  | 1,056                          |
|                | Plasma         | 1,019                          |

Fuente: Larrotta & Chacantá, Investigación en Ingeniería, 2007

La sangre tiene aproximadamente una densidad de 1,05 kg/dm<sup>3</sup>. La densidad del plasma es 1,03 kg/dm<sup>3</sup> y 1,09 kg/dm<sup>3</sup> de los glóbulos rojos. Gracias a esta diferencia es posible la separación mediante centrifugación.

**Ph:** El ph de la sangre de los animales está entre 7,35 y 7,45.

**Coagulación:** Una de las propiedades de la sangre es la capacidad de formación de coágulos o coagular cuando se extrae del cuerpo. La sangre una vez extraída del cuerpo por cualquier (corte, desgarro, traumatismo permanente) se encuentra en estado líquido, poco después adquiere un aspecto viscoso y más tarde en una masa gelatinosa.

#### 2.4.3.3 Contenido de sangre

El contenido máximo por desangrado que se obtiene oscila entre el 40 y el 60% del volumen total que posee en vida; quedando el resto de la sangre sin obtenerse en vísceras y en la canal (músculos, grasa, huesos, etc.) (López & Casp, 2008).

La cantidad de sangre contenida en el organismo de un ave puede llegar hasta un 10% del peso en vivo. En la tabla 2.3 se muestran los porcentajes aproximados de sangre contenida en diversos animales, con referencia al peso vivo de los mismos.

Tabla 2.3 .- Contenido de sangre respecto al peso vivo de diversos animales

| Animales | Contenido en sangre (% respecto al peso vivo) |
|----------|---|
| Vacas    | 3– 4%   |
| Cerdos   | 3-4%  |
| Ovejas   | 4-4,5%  |
| Aves     | 9-10%   |

Fuente: López Vázquez, Rafael, Tecnología de mataderos, 2008

La sangre residual queda retenida principalmente en las vísceras. En la carne, la sangre retenida es de 2 a 9 ml/kg de músculo. El grado de desangramiento se pone de manifiesto en el examen post mortem

observando el color de los músculos y de la grasa, la repleción de los vasos del tejido conjuntivo subcutáneo y de los espacios intercostales.

La cantidad de sangre obtenida en un matadero se puede calcular de la siguiente manera:

$$\text{Cantidad de sangre} = n^{\circ} \text{ animales} \times \% \text{ sangre} \times \text{peso vivo} \times \text{factor de obtenida} \times \text{factor de dilución} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

#### 2.4.4 Métodos de centrifugado

Para la separación de macromoléculas con muy pocos diferencias en tamaño y densidad mediante centrifugación puede realizarse mediante centrifugas de sedimentación o filtrantes, como se muestra en la figura.



Figura 2.8 .- Tipos de centrifugas

Fuente: El autor

##### 2.4.4.1 Centrifugas de Sedimentación

Una partícula que sedimenta por la acción de la gravedad a velocidad constante puede incrementarse la velocidad de sedimentación mediante la sustitución de la fuerza centrífuga.

Las centrifugas de sedimentación contienen un cilindro o un cono de pared sólida que gira alrededor de un eje, formando dos capas. La capa anular externa contiene la fase más densa mientras la ligera se ubica en el centro como se muestra en la figura.

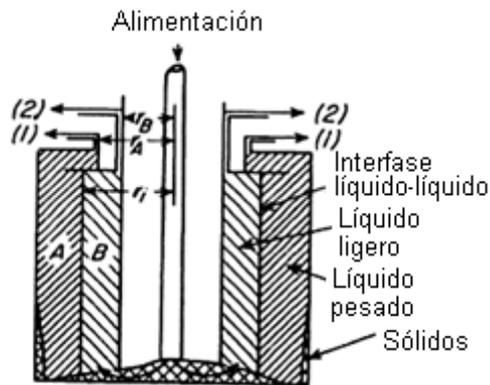


Figura 2.9 .- Separación de un líquido ligero del pesado.

Fuente: Warren L., McCabe; Operaciones básicas de ingeniería química, volumen 1.

#### 2.4.4.2 Centrifugas De Filtro

Estas centrifugas constan de una canasta cubierta con un medio filtrante que gira a altas velocidades, los sólidos son depositados sobre el medio filtrante mientras el líquido claro es expulsado al exterior como se muestra en la figura.

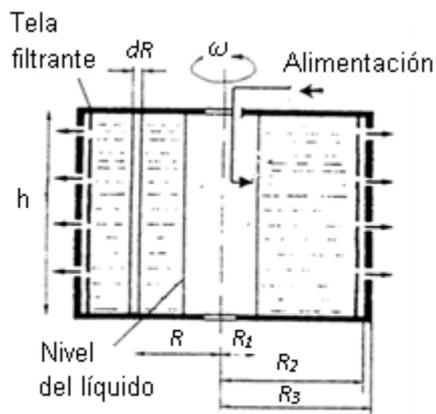


Figura 2.10.- Principio de un filtro centrífugo

Fuente: Molina Rafael, Teoría de la clarificación de mostos y vinos, 2000.

La cantidad de líquido que se adhiere a los sólidos después que éstos se han centrifugado depende también de la fuerza centrífuga aplicada; en general, el líquido retenido es considerablemente menor que el que queda en la torta que producen otros tipos de filtros.

## 2.4.5 Tipos de secadores mecánicos

Para la obtención de productos de alta calidad es necesario usar sistemas de secado que permitan realizar esta operación en corto tiempo y bajo condiciones de estricto control de temperatura.

Los secaderos pueden dividirse por el método de operación como se muestra en la figura.

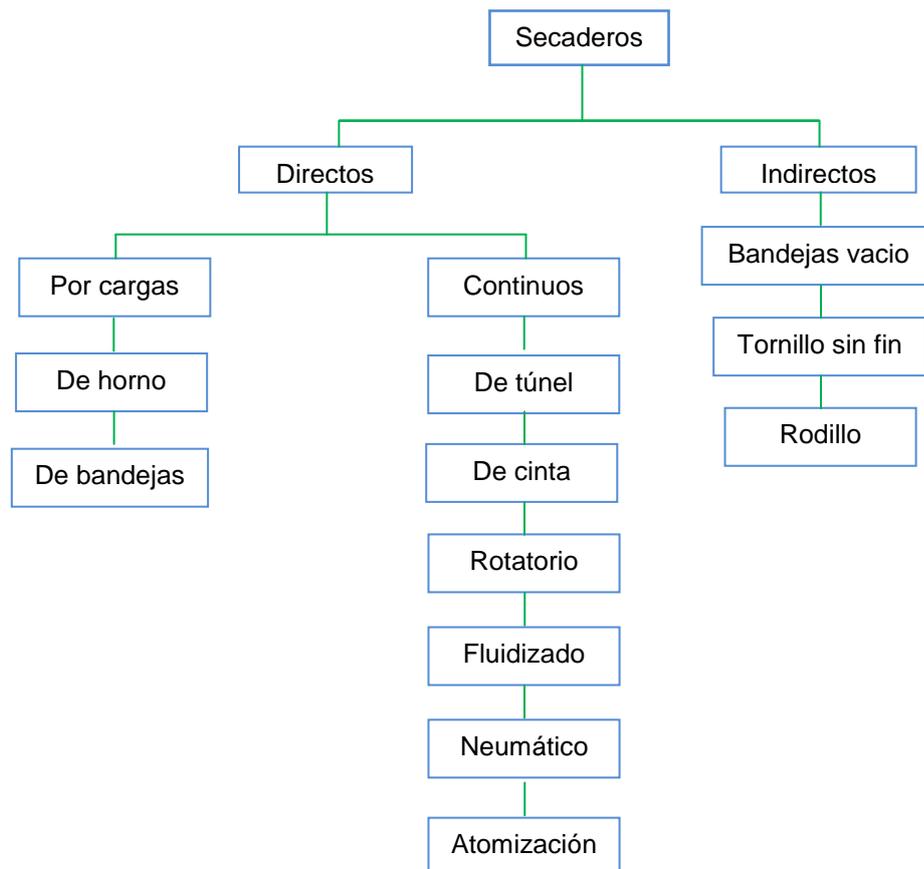


Figura 2.11 . Tipos de secadores

Fuente: El autor

### 2.4.5.1 Secadores directos por cargas

- **Secaderos de horno:** es un pequeño recinto de dos pisos, en el piso inferior se instala el quemador encargado de calentar el aire que atraviesa por convección natural o forzada. Su utilización en la industria es muy reducida limitada al secado de manzanas, lúpulo y forrajes verdes.

- **Secadero de bandejas:** el secador de bandejas está conformado por una cámara metálica rectangular provista de bastidores móviles cada uno con cierto número de bandejas. En la parte superior se localiza un ventilador que hace circular el aire por los calentadores. El calentador esta constituidos de un haz de tubos por los cuales circulan vapor de agua.

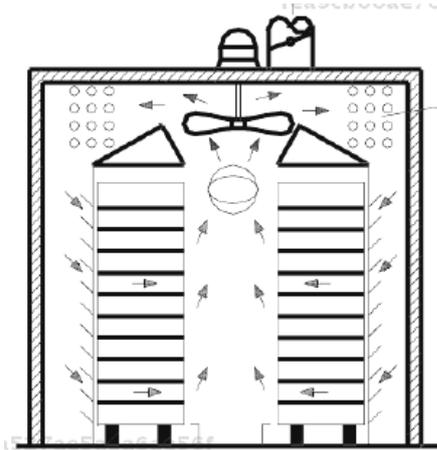


Figura 2.12 .- Secador directo por cargas

Fuente: Casp Vanaclocha, Procesos de conservación de alimentos, 2008

Estos secaderos son utilizados a pequeña escala como laboratorios y plantas piloto. Son utilizados con buenos resultados para deshidratar zanahorias, espinacas, ajo, frutas, carnes y sus productos, etc.

#### 2.4.5.2 Secadores directos continuos

- **Secaderos de túnel:** el funcionamiento de los secaderos de túnel es semi-continuo, en la cual el producto se va colocando en bandejas transportadas por carretillas desde el un extremo hasta salir por el otro con el producto seco. El aire caliente es introducido por un extremo del túnel y circula por el interior a través de las bandejas que contiene el producto. En la figura 2.13 se muestra un esquema de secaderos de túnel mediante flujo paralelo.

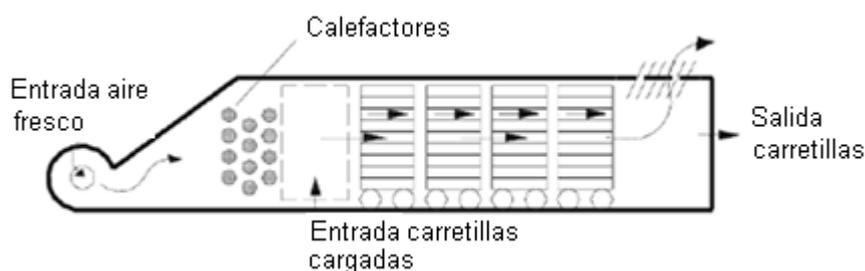


Figura 2.13 .- Esquema de secaderos de túnel

Fuente: Casp Vanaclocha, Procesos de conservación de alimentos, 2008

Los secaderos de túnel son más simples y versátiles que otros dispositivos de secado, debido a su versatilidad son muy utilizados a gran escala para varios tipos de alimentos.

- **Secaderos de cinta transportadora:** este tipo de secaderos son continuos con circulación de aire a través del material que se transporta mediante una cinta perforada. El calentamiento del aire se consigue mediante vapor que se condensa en el interior de un haz de tubos, aunque también pueden utilizarse gases de combustión. Los secaderos de cinta transportadora son utilizados a gran escala de un solo producto.
- **Secaderos rotatorios:** los secaderos rotatorios tienen funcionamiento continuo que constan de una carcasa cilíndrica giratoria ligeramente inclinada. La longitud del cilindro varía entre 4 y 10 veces el diámetro (0,3 y 3 m). Los secaderos rotatorios son utilizados para secar sólidos granulares; también se emplean para materiales finos que no presente arrate de polvo excesivo.
- **Secaderos de lecho fluidizado:** mediante la fluidización se minimiza la superficie de secado con un espacio total pequeño. Los coeficientes volumétricos de transferencia de calor en un lecho fluidizado es cuatro veces mayor comparado con secador rotatorio. Los secaderos de este tipo son muy útiles para leche, suero, cacao, café, hojas de té, etc.
- **Secaderos de arrastre neumático:** este tipo son secaderos continuos de calentamiento directo, el secado se realiza dispersando el producto en

una corriente de gases calientes que lo transportan a altas velocidades. Los secaderos neumáticos resultan adecuados para productos granulados o muy divididos como forrajes, almidones, harinas, gránulos de patata.

• **Secado por atomización:** el secado por atomización es una técnica de secado directo, en la cual genera una alta capacidad de evaporación mediante una corriente de aire caliente que deshidrata casi en forma instantánea la solución.

Ventajas:

- Alto rendimiento y rápido.
- Proceso continuo.
- No se afectan las cualidades del producto.
- Homogeneidad de la producción.

En la figura 2.14 puede observarse un esquema de una instalación de secado por atomización.

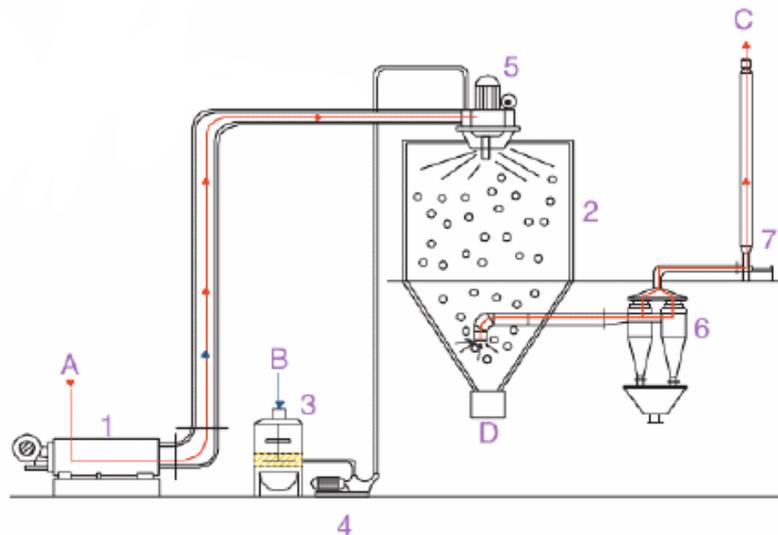


Figura 2.14.-Esquema de una instalación de secado por atomización

Fuente: López Vázquez, Rafael; Tecnología de mataderos. 2008

La instalación de secado por atomización consta de los siguientes componentes:

- (1) Generador.
- (2) Torre de desecación.
- (3) Deposito.
- (4) Bomba dosificadora.
- (5) Turbina de aspersión.
- (6) Ciclones separadores.
- (7) Ventilador principal.

Los equipos de secado por atomización son destinados a la deshidratación de leche, derivados lácteos, deshidratación de café, secado de sangre, etc.

#### **2.4.5.3 Secadores indirectos**

- **Secaderos de bandejas a vacío:** los secaderos de bandejas a vacío constan de una cámara hermética cerrada, provista de bandejas en su interior. Las temperaturas usadas para secar el producto están entre 35 y 60 °C. Los secaderos de bandejas a vacío se emplean para tratar productos sensibles a la temperatura o fácilmente oxidables.
- **Secaderos de tornillo sin fin:** este tipo de secador es de calentamiento continuo e indirecto, conformado principalmente por un transportador de tornillo sin fin horizontal. El producto se alimenta por un extremo y es transportado lentamente por la zona de calentamiento hasta ser descargado por el otro extremo. Este tipo de secadores son aptos trabajar con sólidos muy finos o demasiado pegajosos para ser tratados en secadores rotatorios.
- **Secaderos de rodillos:** el secado del producto se produce sobre la superficie de un rodillo giratorio calentado interiormente. El producto a secarse se extiende en forma de capa fina sobre la superficie horizontal del cilindro que gira lentamente, el secado se produce aproximadamente en 300° de revolución.

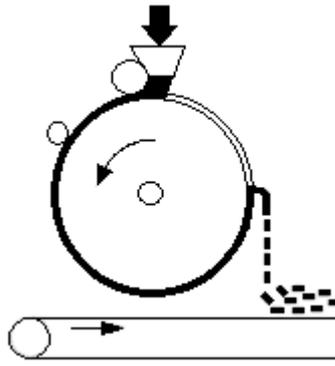


Figura 2.15 .- Principio de funcionamiento de un secador de rodillos

Fuente: Casp Vanaclocha, Procesos de conservación de alimentos, 2008

## 2.4.6 Métodos de secado de sangre

El secado de la sangre consiste en exponer a una corriente de aire caliente que no debe exceder los 75°C, siendo esta la adecuada para evitar la desnaturalización de proteínas que existen dentro de la sangre vacuna.

### 2.4.6.1 Secado convencional

Este secado convencional consiste en someter la sangre cruda a un secado en un digestor, el secado se produce por calentamiento continuo hasta llegar a una humedad de 5,0 a 10,0%.

Desventajas:

- Largos tiempos de secado.
- Mala calidad de producto final.
- Formación de incrustaciones solidas en las paredes, con el tiempo incide en vida del secador.

### 2.4.6.2 Coagulado, prensado y secado de sangre

Este método consiste en implementar un depósito intermedio para la coagulación de la sangre antes del secado. Una vez coagulada la sangre se procede al prensado con la finalidad de separar cierta cantidad de

agua. Al final al igual que el secado tradicional se deshidrata hasta obtener la humedad requerida.

#### **2.4.6.3 Coagulado, centrifugado y secado**

En este procedimiento la sangre se envía al coagulador de régimen continuo por inyección de vapor. En su interior está equipado con un tornillo transportador de baja frecuencia para distribuir óptimamente el vapor caliente de 90°C. La sangre coagulada y caliente pasa a una centrífuga de tipo decantador centrífugo horizontal en el cual se elimina hasta el 75% de un suero con menos del 1,5% de sólidos. La sangre coagulada y centrifugada rica en sólidos (45-50%) pasa al secado final por un flujo de aire caliente a través de un túnel.

Ventajas:

- Se reduce la cantidad de vapor usado.
- Producto de elevada calidad.

#### **2.4.6.4 Plasma secado por spray**

El aspecto es de un polvo muy fino, soluble en agua, de color claro a beis o rosado. Su aspecto es parecido a la hemoglobina pero de color crema. La proteína plasmática también puede encontrarse de forma granulada, formada por partículas más o menos gruesas de color blanquecino amarillento.

#### **2.4.6.5 Glóbulos rojos secados por spray**

Su aspecto es muy parecido al de la harina de sangre secada por atomizador o por spray. Tiene un aspecto muy fino, muy homogéneo y constituye un polvo de color rojo a marrón muy oscuro (Sala & Barroeta, Manual de microscopia de piensos).

#### 2.4.6.6 Proteínas químicas y nutricionales de la sangre

La sangre contiene el 82% de agua y el 18% de sólidos, de los cuales, la gran mayoría son proteínas. De cada 1000 g de sangre, 185 g son proteínas. Por ello al secarla hasta dejarla con un 8 ó 10% de humedad, el contenido de proteínas es del orden del 75 – 85%.

Cuando las proteínas de la sangre, se someten a temperaturas altas (100°C a 105°C) durante periodos largos (más de 2 horas) se queman y disminuye la calidad (Ricci, 2012, Avicultutra).

Tabla 2.4 .- Análisis de Sangre entera, Plasma y Hemoglobina secada por Spray

|               | % Proteínas | % Cenizas | % Humedad |
|---------------|-------------|-----------|-----------|
| Sangre entera | 80 a 82     | 3 a 4     | 5 a 8     |
| Plasma        | 70 a 72     | 8 a 10    | 5 a 6     |
| Hemoglobina   | 90 a 92     | 2 a 6     | 6 a 7     |

Fuente: <http://www.galaxie.com>

##### a) Contenido de humedad

En el proceso de secado es importante definir y conocer algunos términos para expresar la cantidad de agua que contiene la sangre y la cantidad a eliminarse por secado.

El contenido de humedad en un alimento puede expresarse con base en el producto húmedo o con base en el producto seco.

**Contenido en base húmeda:** es la cantidad de agua que contiene un sólido referido al sólido húmedo.

$$w = \frac{m_w}{m_w + m_s} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Donde,

$m_w$ : masa de agua contenida en el producto [Kg].

$m_s$ : masa del producto seco [Kg].

**Contenido de humedad en base seca:** es la cantidad de agua referida al sólido seco.

$$w_s = \frac{m_w}{m_s} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

#### **2.4.7 Gestión Ambiental**

Es el conjunto de acciones necesarias para la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente. La gestión ambiental se sujeta a principios de filosofía de ahorro y aprovechamiento sostenible de recursos.

Los organismos de control evalúan los posibles impactos ambientales de los medios de afectación:

- Físico (agua, aire, suelo y clima).
- Biótico (flora, fauna y sus hábitat).
- Socio-cultural (arqueología, organización socio-económica).
- Salud pública.

Dentro de las acciones se establecen requisitos, obligaciones, y condiciones; para prevenir, evitar, corregir y mitigar los impactos ambientales.

#### **2.4.8 Contaminación Ambiental**

La contaminación es la afectación del aire, agua o el suelo con productos que afectan a la salud del hombre, la calidad de vida o el funcionamiento natural de los ecosistemas.

Las principales causas que inciden en la contaminación en la industria avícola son la generación de gallinaza, pollos muertos, plumas, vísceras, sangre, etc.

Los residuos industriales de la producción de la faena de pollos (pollos muertos por estrés, plumas, vísceras) son en muchas zonas dispuestas

en rellenos sanitarios no habilitados favoreciendo vectores de contaminación graves.

#### 2.4.8.1 Proceso de faenado

En el faenamiento se llevan a cabo una serie de actividades para la separar las partes comestibles y los subproductos.

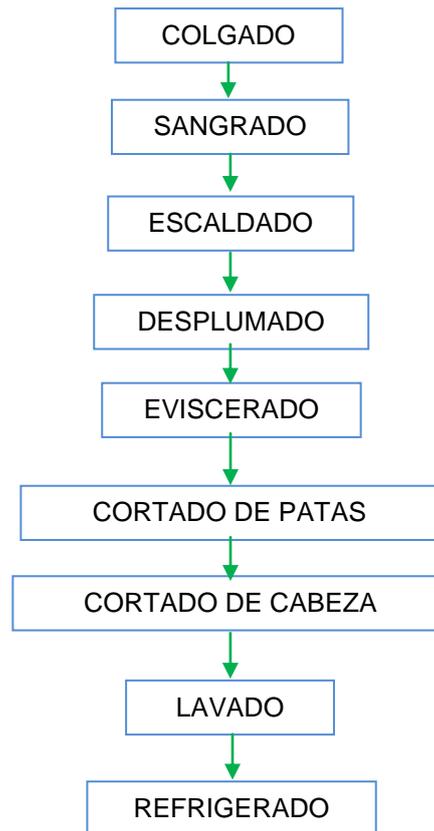


Figura 2.16 .- Diagrama de flujo de una línea del faenado de aves

Fuente: Avícola San Agustín

- **Colgado:** La extracción de las aves de la jaulas y el colgado se debe realizarse con mucho cuidado a fin de evitar traumatismos (contusiones, hematomas, y heridas en los miembros) para evitar daños en la calidad del canal.
- **Sangrado:** Para la muerte del ave por sangrado se realiza un corte en el cuello de manera que se vean afectadas las arterias caróticas y las venas

yugulares. Una vez que se ha producido el corte en el cuello del ave se produce el sangrado hasta su muerte.

- **Escaldado:** este proceso consiste en sumergir el ave en agua caliente para poder facilitar el desplumado. La temperatura y duración del escaldado son factores determinantes para el desplumado y tiene repercusiones sobre la calidad del producto final.

- **Desplumado:** es la separación del plumaje del ave mediante maquinaria adecuada para facilitar el trabajo.

- **Eviscerado:** para la separación de vísceras se realiza las siguientes operaciones:

- a) Corte de cloaca.

- b) Apertura abdominal.

- c) Extracción de vísceras (corazón, pulmones, hígado, tripas, etc).

- d) Lavado.

- **Corte de patas y cabeza:** se lo realiza por varias razones como: posteriores cortes del canal, para la separación de menudencias, o presentación final.

- **Lavado:** tras cada una de estas sub-etapas se realiza un lavado con agua.

- **Refrigeración:** es la conservación a bajas temperaturas hasta su venta al consumidor final.

#### **2.4.8.2 Subproductos del faenamiento**

Los subproductos son aquellas materias primas que no están comprendidas en canal y despojo, mostrados en la figura 2.17.

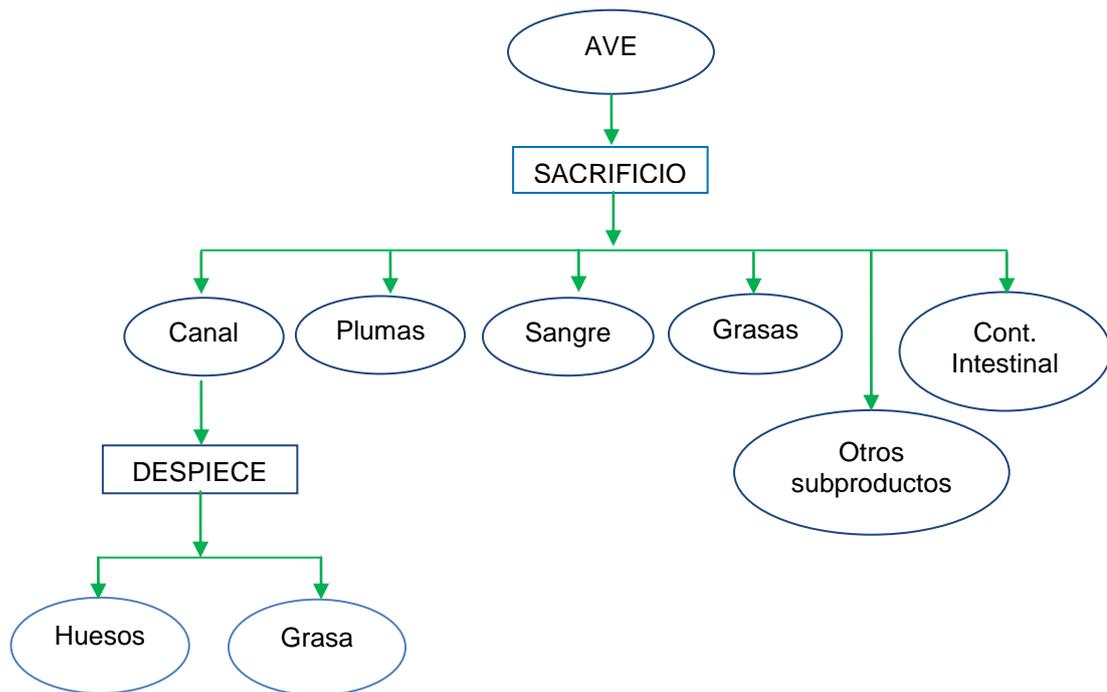


Figura 2.17 .- Subproductos generados en el faenado de aves

Fuente: Autor

- **Plumas:** Una vez que se produce el desplumado el ave es despojada totalmente de todo el plumaje y almacenándose en recipiente para su posterior tratamiento.
- **Sangre:** La sangre se obtiene por desangramiento del ave la cual es conducida por medio de canaletas hacia los recipientes de recolección.
- **Grasas:** La generación de grasa se produce por separación en el despiece del canal y por el lavado final del ave.
- **Contenido intestinal:** tiene una estructura similar a lo largo de su extensión, aunque varía el diámetro y grosor de las paredes.

### 2.4.8.3 Características de aguas residuales del faenamiento de aves

#### a) Aguas residuales

Los efluentes de la industria avícola son portadores de materia orgánica, inorgánica y microbiana, estas sustancias pueden sedimentar en las

proximidades del punto de vertido. Las sustancias orgánicas presentes pueden dar lugar a putrefacciones de importancia y aumentar la demanda de oxígeno del agua.

Las normas de calidad para el usos del agua incluyen: concentración de oxígeno disuelto (OD, mg/l), DBO, DQO, pH, color, turbidez, dureza (mg/l), sólidos disueltos totales (STD, mg/l), sólidos en suspensión (SS, mg/l), concentración de productos tóxicos (mg/l), olor, temperatura. (Jiménez & Sette, 1996)

### **b) Demanda biológica de oxígeno (DBO)**

Es el indicador de la capacidad de oxígeno necesario para la descomposición de la carga residual. Los efluentes de mataderos de la industria avícola producen altos valores de DBO, y en consecuencia producir anoxia por grandes cantidades de materia orgánica presente en sus vertidos.

### **c) DQO**

Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO<sub>5</sub> porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente.

### **d) Otros problemas**

Entre los problemas de mayor incidencia tenemos:

- Atracción de ratas y aves de carroña.
- Presencia de moscas y malos olores.
- Acumulación de coágulos en canales de aguas servidas.
- Propagación de virus.

#### **2.4.8.4 Medidas de control del impacto ambiental**

##### **a) Tratamiento de aguas residuales**

El grado de tratamiento requerido para aguas residuales depende principalmente de los límites de vertido para el efluente. Las tres fases de tratamiento de aguas residuales son la primaria, secundaria y la terciaria. En la primaria se elimina gran porcentaje de sólidos en suspensión y materia orgánica; en la secundaria se elimina gran parte del contenido de materia orgánica acelerando los procesos biológicos naturales; y en la terciaria se emplea cuando el agua va a ser reutilizada, para emplea procesos químicos que garanticen que el agua está libre de impurezas.

En el tratamiento primario de aguas residuales cuenta con sus principales procesos de:

- Cribado o desbrozo.
- Sedimentación.
- Floculación.
- Separación de aceites.
- Homogenización y neutralización.

##### **b) Incineración**

La incineración consiste en la reducción a cenizas de una sustancia orgánica por medio de la acción de calor. La operación de este proceso se desarrolla en dos fases:

- Evaporación del agua contenida en tejidos
- Combustión de tejidos y calcinación de los restos óseos y similares.

##### **c) Elaboración de compost**

El estiércol obtenido en el sacrificio de las aves de abasto puede ser utilizado en la aplicación directa en labores agrícolas y compostaje. El compostaje es el proceso biológico aeróbico, mediante el cual los

microorganismos actúan sobre la materia orgánica permitiendo obtener compost, abono muy valorado en la agricultura.

#### **d) Tratamiento de los subproductos**

El aprovechamiento de los subproductos de matadero se emplea en la obtención de harinas para la fabricación de piensos. Entre los principales productos que pueden obtenerse, están: la harina de plumas, harina de vísceras y la harina de sangre, etc.

Mediante la mejora de la tecnología y de la higiene en el manejo de subproductos, es posible obtener productos finales con alto valor económico, por lo que el aprovechamiento y transformación los subproductos se han convertido en una actividad muy rentable.

El tratamiento de subproductos pueden tener ciertas ventajas, como:

- Ingresos adicionales para la empresa como resultado de la comercialización de las harinas obtenidas.
- Prevenir la contaminación producida por los desechos orgánicos (plumas, vísceras, sangre) a corrientes de agua o su concentración en rellenos sanitarios, cuando no se les realiza ningún tipo de procesamiento.

#### **2.4.8.5 Medidas internas de control de la contaminación**

##### **a) Sistema de drenaje de aguas residuales**

Es fundamental que el establecimiento disponga de desagües y canaletas, las que deben estar provistas de rejillas que sean fácilmente desmontables para realizar la limpieza.

Las canaletas o sistema de drenaje deben limpiarse frecuentemente con agua a chorro y de manera profunda al terminar cada jornada de trabajo. Los drenajes del área donde se desarrolla la actividad de faenado debe estar conectada a una red interna de alcantarillado independiente de la red de los servicios higiénicos.

Por la naturaleza de los procesos de esta actividad existe la posibilidad que las aguas residuales pueden contener sólidos y/o grasas, siendo para ello necesario la instalación de trampas de grasas para impedir que sean descargadas al sistema de alcantarillado.

#### **b) Clasificación de residuos sólidos**

Implementar un sistema de disposición de residuos (plumas, vísceras), mediante el uso de recipientes que permita la eliminación de sus residuos líquidos, de manera que estos sean fácilmente removibles del establecimiento de faenado y almacenadas en áreas alejadas del mismo.

#### **c) Limpieza y desinfección**

La planta debe disponer de un programa de limpieza y desinfección que será objeto de revisión y comprobación durante la inspección realizada por la autoridad competente.

Deben tomarse las precauciones necesarias para impedir que el producto final sea contaminado cuando las áreas, equipo y utensilios se limpien y desinfecten.

Después de cada proceso de limpieza es necesario desinfectar con la finalidad de reducir el número de microorganismos a un nivel que no cause contaminación del producto.

#### **2.4.9 Disminución del volumen de desechos líquidos de la sangre**

Existen diferentes técnicas de proceso y utilización de los desechos comestibles como la sangre con muy buenos resultados. Los centros de faenamiento más avanzados procesan sus propios desechos, mientras que otros venden sus desechos a las plantas de subproductos o simplemente son arrojados en arroyos y ríos.

La sangre es un producto muy rico en proteínas que generalmente no es aprovechado convenientemente. En la figura 2.18 podemos apreciar las alternativas de aprovechamiento de la sangre en diferentes campos.

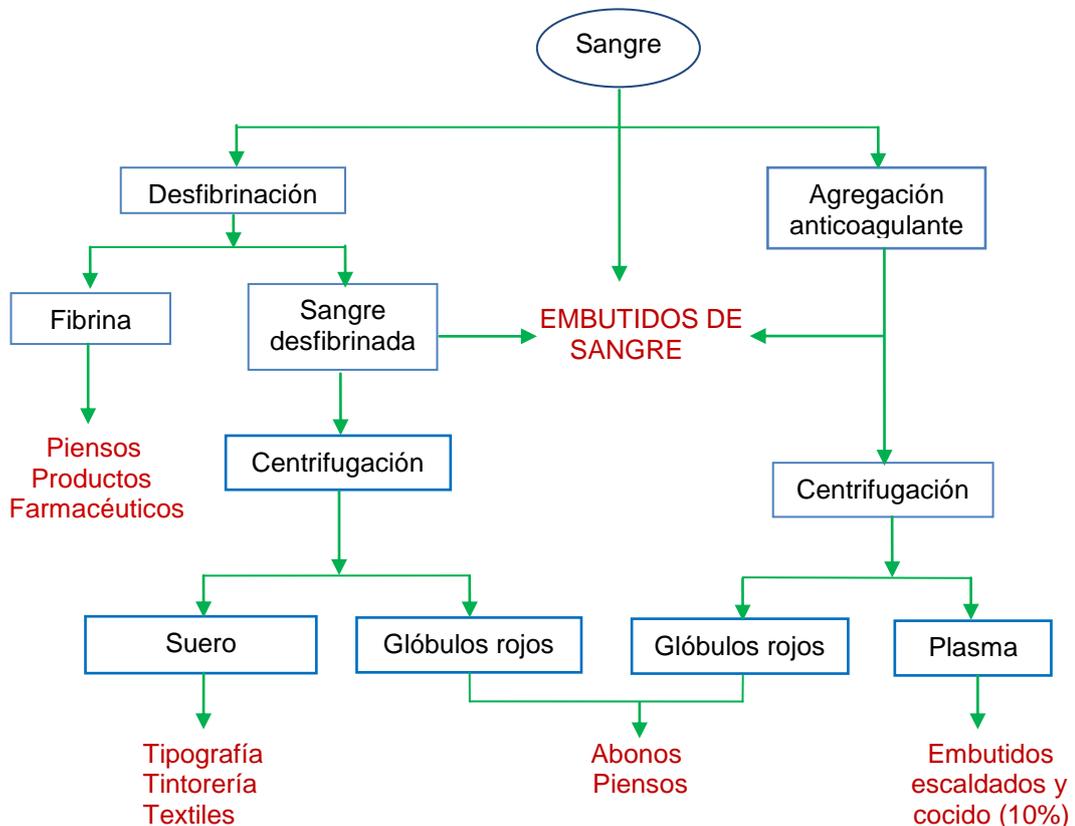


Figura 2.18 .- Alternativas de aprovechamiento de la sangre

Fuente: López Vázquez, Rafael; Tecnología de mataderos, 2008

El aprovechamiento de subproductos como la sangre es de vital importancia en la industria cárnica y puede ser utilizado para la elaboración de morcillas, harina, alimento animal, albúmina, preparación de cueros, clarificantes, plasma sanguíneo, plastificantes, pinturas, barnices, aglutinantes, embutidos y sueros biológicos.

En la gran parte de mataderos, tradicionalmente se ha aprovechado una mínima parte obtenida para la fabricación de morcillas, destinando la mayor parte para la producción de harinas para la alimentación animal.

### 2.4.9.1 Desfibrinación

La desfibrinación consiste en agitar la sangre por medio de unos utensilios adecuados, de forma que se formen filamentos de fibrina por coagulación en torno a los útiles agitadores, separándose así de la sangre. La sangre una vez desfibrinada, se puede emplear como tal en la fabricación de morcillas, o bien se puede destinar para la obtención de suero sanguíneo mediante centrifugación, el cual puede emplearse en múltiples aplicaciones.

### 2.4.9.2 Obtención de glóbulos rojos y plasma sanguíneo

A partir de la sangre con sustancia anticoagulante se obtiene plasma sanguíneo, mediante centrifugación. El plasma resultante contiene elementos celulares con fibrógeno, que lo hace diferente del suero.

En la centrifugación de la sangre se obtiene dos fracciones la una corresponde a plasma y la otra a glóbulos rojos. La sangre entera contiene 18% de sólidos. Esta sangre entera separada, da 60% de plasma con 8% de sólidos y 40% de hemoglobina con 35% de sólidos, como se muestra en la figura.

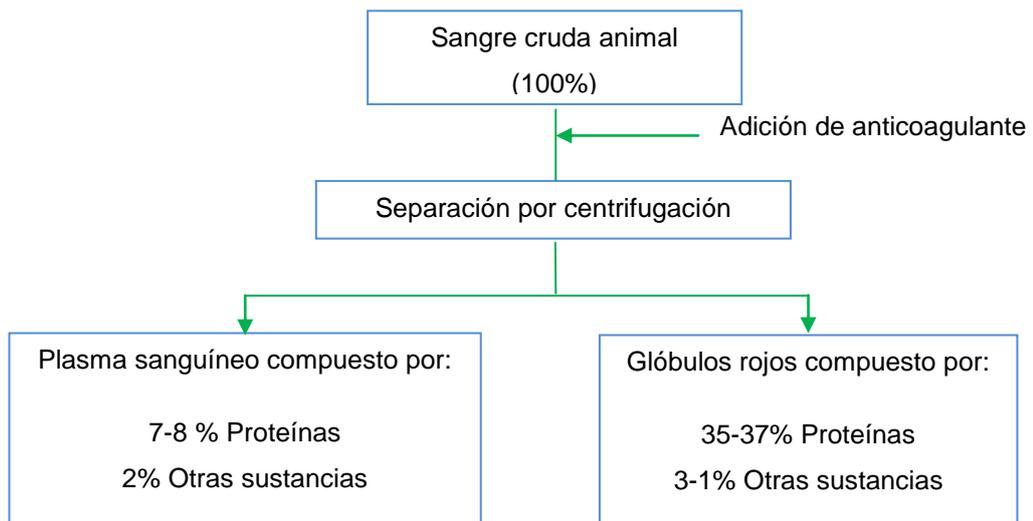


Figura 2.19 .-Separación de la sangre animal por centrifugación

Fuente: Madrid Antonio, Aprovechamiento de los subproductos cárnicos, 1999

**Adición de anticoagulante:** para producir harina de sangre entera, de plasma o de glóbulos rojos, o como aditivos para productos cárnicos, inmediatamente de la recogida la sangre de las aves, se mezcla con anticoagulante y se almacena en depósitos para su posterior tratamiento.

Los anticoagulantes evitan la formación de coágulos de fibrina, pero cada uno actúa de diversas maneras. Hay sustancias que eliminan iones calcio del medio, como el citrato sódico o los oxalatos, o bien utilizando EDTA como quelante del calcio. El anticoagulante más usado es el citrato trisódico, básicamente usado como antioxidante y regulador de la acidez.

La proporción de solución anticoagulante, depende de las condiciones climáticas y de la aplicación final de la sangre, aunque generalmente en la industria se usa bajas concentraciones tales como 0,29% (0,01 moles/kg de mezcla) hasta 5,90% (0,20 moles/kg) (López & Casp, 2004).

Según Paredes la concentración de citrato de sodio como anticoagulante es 0,7% para la producción de plasma y globina a partir de la sangre a animales de abasto (Paredes, 2003).

#### **a) Glóbulos rojos**

Los glóbulos rojos separados por centrifugación pueden secarse mediante procedimiento Spray, obteniéndose un polvo oscuro de alto valor biológico por su alta palatabilidad y capacidad de absorción de agua. El contenido proteico es superior al 90%, siendo rico en lisina y vilina. Aunque el producto final es pobre en calcio y fósforo, tiene elevados niveles de hierro fácilmente absorbible.

#### **b) Plasma**

Para el caso del plasma seco es necesario centrifugarla antes de la evaporación y atomización. Para usos alimenticios es necesaria una serie de requisitos sanitarios adicionales para evitar cualquier tipo de contaminación en el proceso. Para la recolección ya sea directamente del animal o por sistemas higiénicos de recogida mediante embudos de acero

inoxidable, se añade anticoagulante y se refrigera para evitar hemolisis y la degradación proteica.

### **2.4.9.3 Aplicaciones**

El empleo de plasma y hemoglobina es variado, y que al ser estos un concentrado de proteínas y contar con propiedades gelatificantes, emulsionantes, de absorción de agua y formación de espumas además de gran solubilidad, es apto para la aplicación en variadas industrias.

#### **a) Aplicaciones del plasma sanguíneo**

Al plasma se lo puede secar, para su utilización en alimentos por secadores de túnel, de tambor rotativo o de armario. El plasma desecado es de color beige, inodoro y contiene un 70-80% de proteínas (dependiendo del proceso de fabricación) (Quiminet, 2007).

Las principales aplicaciones del plasma en polvo son las siguientes:

- Fuente de proteínas funcionales para la industria cárnica.
- Fuente de inmunoproteínas como suplemento nutricional.
- Fuente de hidrolizados para la obtención de saborizante.
- Como sustituto de la clara de huevo en productos de panadería.
- Para fortificar bebidas rehidratantes o galletas proteicas.

**Plasma líquido:** se lo emplea en la elaboración de diversos tipos de productos cárnicos, como sustituto parcial de la carne, sin afectar la cantidad de proteínas para mantener el valor nutritivo de los productos (Andújar, Guerra & Santos, 2000).

El plasma posee propiedades funcionales favorables para su utilización en la industria de alimentos, tales como solubilidad, gelificación, emulsificación, así como también alta capacidad de retención de agua. En la industria cárnica algunas de estas características son aprovechadas para aumentar el porcentaje de rendimiento y estabilidad del producto final (Benítez, Archile, Rangel, Bracho, Hernández, Márquez, 2002).

## **b) Aplicaciones de la hemoglobina**

La hemoglobina es un subproducto de la industria de la sangre que se extrae mediante la separación del plasma. El secado generalmente se realiza a bajas temperaturas mediante Spray.

La hemoglobina posee un alto valor proteico la composición de aminoácidos es similar a la harina de pescado y superior a las harinas de origen vegetal incluyendo la harina de soja, tiene una energía de 3989 Kcal/Kg (Abiossa, óleos vegetais, Hemoglobina en polvo).

Es muchos países este producto es ampliamente usado como materia prima para acuicultura, aves de corral, cerdos, etc.

## **c) Harina de sangre**

La harina de sangre es un alimento valioso, por excelencia la mejor fuente de proteína de origen animal por su alto contenido proteico y la alta composición de aminoácidos.

Una ventaja de la harina de sangre, es su alto coeficiente de digestibilidad (99%), en la tabla 2.5 se muestran los coeficientes con respecto a otros productos.

Tabla 2.5 .- Coeficiente de digestibilidad de algunas sustancias

| Substancia               | Coeficiente de digestibilidad |
|--------------------------|-------------------------------|
| Harina de sangre         | 0,99                          |
| Harina de pescado        | 0,96-0,97                     |
| Harina de carne y huesos | 0,87-0,89                     |
| Harina de plumas         | 0,53-0,55                     |

Fuente: Madrid Antonio, Aprovechamiento de los subproductos cárnicos, 1999

También se utiliza como fertilizante, o para balanceados para mono gástricos, esta harina se obtiene por secado de la sangre.

## **2.5 HIPÓTESIS**

¿La separación de hemoglobina por métodos mecánicos mediante centrifugación y secado permitirá disminuir el volumen de desechos líquidos de sangre en el faenamiento de pollos de la avícola San Agustín?

## **2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.6.1 Variable Independiente**

Separación por métodos mecánicos de hemoglobina de sangre de pollos mediante centrifugación y secado.

### **2.6.2 Variable Dependiente**

Disminución del volumen de desechos líquidos de sangre en el faenamiento.

## **CAPÍTULO III**

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE**

##### **3.1.1 Enfoque cuali-cuantitativo**

El enfoque de esta investigación es de carácter cuantitativo ya que mediante la separación de la hemoglobina de la sangre de pollos se pudo reducir el volumen de desechos líquidos de sangre que se genera en la avícola San Agustín. Tiene también un enfoque cualitativo ya que en el trabajo investigativo se realiza métodos y técnicas que permitan obtener una disminución de los desechos líquidos y contribuir con la reducción de la contaminación.

#### **3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.2.1 Investigación de campo**

La investigación de campo es necesaria ya que el estudio se realizó en lugar donde ocurre el problema para lo cual se recolectó información de suma importancia dentro del proceso investigativo.

##### **3.2.2 Investigación bibliográfica**

La investigación bibliográfica se utilizó para recopilar información procedente de libros, tesis, internet; que servirá de sustento para poder comprender e interpretar los resultados alcanzados durante el proceso investigativo.

### 3.2.3 Investigación experimental o de laboratorio

La investigación experimental es de vital importancia ya que se evaluó la veracidad del proceso investigativo. Para la parte experimental se utilizará equipos de centrifugación y posteriormente de secado.

## 3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

### 3.3.1 Exploratoria

El tipo de investigación es exploratorio ya que se pretende aprovechar los desechos líquidos de la sangre de pollos con la utilización de la hemoglobina que se obtuvo mediante métodos mecánicos.

### 3.3.2 Descriptivo

También es descriptiva porque se analizó la obtención de la hemoglobina utilizando métodos mecánicos mediante centrifugación y secado. El análisis se observó los efectos de velocidad, tiempo y temperatura en la obtención de la hemoglobina de la sangre de pollos.

## 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población que será objeto de estudio es una media de 300 aves que se faena diariamente en la avícola San Agustín.

$$n = \frac{p \times q \times N}{(N - 1) \times \frac{E^2}{K^2} + p \times q}$$

N: tamaño de la población = 300

p: probabilidad de ocurrencia del fenómeno = 0,95 (p + q = 1)

E: error admisible = 5% = 0,05

K: constante de error = 2

$$n = 60,8$$

Entonces nuestra muestra será 61 aves.

### 3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Variable Independiente:** Separación por métodos mecánicos de hemoglobina de sangre de pollos mediante centrifugación y secado.

46

| Contextualización  | Dimensión                    | Indicadores                        | Ítems               | Técnicas e Instrumentos                             |
|--|------------------------------|------------------------------------|---------------------|---|
| La separación de plasma y la hemoglobina de la sangre se realiza por centrifugación mediante la sedimentación de los componentes. La hemoglobina obtenida es secada destinada a la elaboración de harina empleada en la industria alimenticia. | Sedimentación                | Svedbergs<br>Velocidad             | $10^{-13}$ s<br>RPM | Bibliográfica                                       |
|  | Separación de la hemoglobina | Porcentaje de plasma y hemoglobina | litros, ml          | Ensayos de centrifugado<br>Ficha para toma de datos |
|  | Secado                       | Temperatura<br>Tiempo<br>Humedad   | °C<br>min/h<br>%    | Ensayos de secado<br>Ficha para toma de datos       |

**Variable Dependiente:** Disminución del volumen de desechos líquidos de sangre en el faenamiento.

| Contextualización  | Dimensión                   | Indicadores   | Ítems  | Técnicas e Instrumentos |
|--|-----------------------------|---|--------|-------------------------|
| El volumen de desechos líquidos de sangre se genera por la faena de animales causando graves inconvenientes al ambiente, al no ser tratada adecuadamente. Estos desechos son portadores de materia orgánica y microbiana que pueden sedimentar en las proximidades del punto de vertido. | Desechos líquidos de sangre | • Volumen   | litros | Tabla de toma de datos  |
|  | Materia orgánica, acidez.   | • Ph, DBO <sub>5</sub> (Demanda biológica de oxígeno) | mg/l   | Ensayos de laboratorio  |
|  | Puntos de vertido           | • Descarga de efluentes                               | litros | Entrevista              |

### **3.6 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

En el desarrollo de trabajo de investigación se realizó mediante la técnica de observación. En la cual se recolecto información mediante los formatos mostrados en el anexo B para registrar información necesaria para el análisis de resultados.

Los instrumentos de medición utilizados son equipos y materiales de los cuales se detallan a continuación.

Equipos:

- Centrifuga preparativa y de discos.
- Estufa.
- Balanza analítica.

Materiales:

- Anticoagulante (citrato de sodio).
- Tubos de ensayo.
- Capsulas de cerámica.
- Pipeta.
- Espátula.
- Desecador.
- Probeta.

También se recetara información verbal por parte del propietario de la microempresa Avícola San Agustín, para evaluar la generación de desechos líquidos de sangre.

### **3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

#### **3.7.1 Procesamiento de la información**

Los datos que se obtuvieron en los ensayos de centrifugado y secado de la sangre de pollo se procesaron de la siguiente manera:

- Revisión bibliográfica acerca de los equipos y materiales necesarios para dichos ensayos.
- Toma de muestras de desechos líquidos de sangre durante el faenamiento de aves en la Avícola San Agustín.
- Ensayos de centrifugación de las muestras de sangre obtenidas.
- Registro de datos de centrifugado mediante los instrumentos de recolección de información.
- Ensayos de secado de la hemoglobina separada por centrifugación.
- Registro de datos de secado de la hemoglobina obtenida.

### **3.7.2 Análisis de la investigación**

El análisis e interpretación de los resultados se realizó de la siguiente manera:

- Representación de los resultados a través de graficas estadísticas de dispersión y diagramas de barras.
- Análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de centrifugación y secado mediante un análisis estadístico.
- Interpretación de los resultados obtenidos y conclusiones encontradas.

## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

##### 4.1.1 Evaluación de la generación de desechos líquidos de sangre

La generación de sangre en la Avícola San Agustín durante el faenamiento de aves se lo realiza diariamente de lunes a sábado durante todo el año. En la tabla 4.1 se muestra el número de aves faenadas mensualmente durante el año 2013 mediante la información brindada por el Sr. William López propietario de dicha empresa.

Tabla 4.1.- Cantidad de aves faenadas en la Avícola San Agustín

| Meses (2013) | Número de aves |
|--------------|----------------|
| enero        | 8000           |
| febrero      | 8150           |
| marzo        | 8100           |
| abril        | 8150           |
| mayo         | 8000           |
| junio        | 8100           |
| julio        | 8050           |
| agosto       | 8140           |
| septiembre   | 8200           |
| octubre      | 8210           |
| noviembre    | 8220           |
| diciembre    | 8100           |
| Total        | 97420          |

Fuente: Avícola San Agustín

#### 4.1.1.1 Volumen de sangre obtenida

El volumen de sangre depende fundamentalmente de la cantidad obtenida por desangrado. La cantidad de sangre obtenida en un matadero se puede calcular mediante la ecuación 2.1, así:

$$\text{Cantidad de sangre} = n^{\circ} \text{ animales} \times \% \text{ sangrex peso vivo} \\ \times \text{factor de obtenida} \times \text{factor de dilución}$$

Donde, el número de animales es 300 aves en promedio, el porcentaje de sangre que posee el ave es 9,5% respecto al peso en vivo (peso en vivo 2,27 Kg) del cual se puede extraerse por desangrado de 40-60%. El factor de dilución se refiere a efectos de lavado.

$$\text{Cantidad de sangre} = 300 \times 0,095 \times 2,27 \times 0,5 \times 1 = 32,3475 \text{ litros/día}$$

La cantidad de 32,3475 litros de sangre que se obtiene diariamente es desechada sin previo tratamiento. En la tabla 4.2 se muestra la cantidad aproximada que se obtiene en el faenamiento de aves en el año 2013.

Tabla 4.2 .- Cantidad estimada de sangre de aves en la Avícola San Agustín

| Mes        | Número de aves | Peso en vivo (kg) | Sangre obtenida (litros) |
|------------|----------------|-------------------|--------------------------|
| enero      | 8000           | 18160             | 1035,12                  |
| febrero    | 8150           | 18500,5           | 1054,53                  |
| marzo      | 8100           | 18387             | 1048,06                  |
| abril      | 8150           | 18500,5           | 1054,53                  |
| mayo       | 8000           | 18160             | 1035,12                  |
| junio      | 8100           | 18387             | 1048,06                  |
| julio      | 8050           | 18273,5           | 1041,59                  |
| agosto     | 8140           | 18477,8           | 1053,23                  |
| septiembre | 8200           | 18614             | 1061,00                  |
| octubre    | 8210           | 18636,7           | 1062,29                  |
| noviembre  | 8220           | 18659,4           | 1063,59                  |
| diciembre  | 8100           | 18387             | 1048,06                  |
| Total      | 97420          | 221143            | 12605,17                 |

Fuente: El autor

## 4.1.2 Análisis de métodos mecánicos de centrifugación y secado

### 4.1.2.1 Análisis de centrifugación

La base física de la separación es la acción de la fuerza centrífuga sobre las partículas en rotación y la velocidad de rotación.

#### a) Fuerza Centrífuga

Esta fuerza tiende a separar de su eje de rotación una partícula sometida a un giro, calculada mediante la ecuación 2.3:

$$F_c = m \cdot a_{cf}$$

La aceleración alcanzada se puede calcular mediante la ecuación.

$$a_{cf} = \omega^2 \cdot r \quad \text{Ecuación 4.1}$$

En donde  $\omega$  es la velocidad de rotación y  $r$  es el radio de giro.

Mediante la aplicación de un campo centrífugo las partículas densas sedimentan primero, seguida de las partículas más ligeras.

#### b) Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación libre de una partícula inmisible en un líquido, puede determinarse analizando las fuerzas que actúan sobre una partícula como se muestra en la figura 4.1.

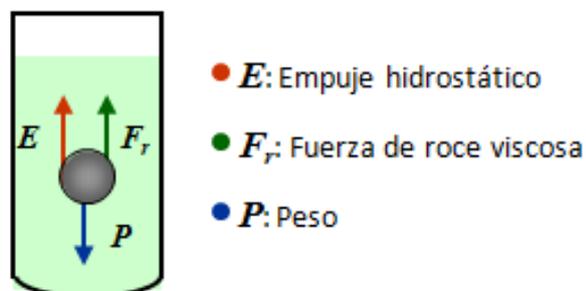


Figura 4.1 .- Fuerzas que intervienen en la sedimentación libre

Fuente: El autor

Fuerza de aceleración = Fuerza de empuje + Fuerza de arrastre

$$\frac{\pi \cdot d_p^3 \cdot \rho_p \cdot g}{6} = \frac{\pi \cdot d_p^3 \cdot \rho_L \cdot g}{6} + 3\pi \cdot d_p \cdot \mu \cdot V_g \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Resolviendo y despejando  $V_\infty$ :

$$V_g = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho_L) g}{18\mu} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Donde

$d_p$ : diámetro de la partícula [m].

$\rho_p$ : densidad de la partícula [ $\text{Kg/m}^3$ ].

$\rho_L$ : densidad del líquido [ $\text{Kg/m}^3$ ].

$g$ : gravedad [ $\text{m/s}^2$ ].

$\mu$ : viscosidad dinámica [ $\text{Ns/m}^2$ ].

Reemplazando el valor de la aceleración de la gravedad por el campo centrífugo generado mediante centrifugación obtenemos:

$$V_s = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho_L) \omega^2 \cdot r}{18\mu} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

La velocidad de sedimentación de las partículas en un fluido será mucho mayor en un campo centrífugo que en un campo gravitacional.

Sedimentación Libre < Velocidad de Sedimentación por centrifugación

$$V_g = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho_L) g}{18\mu} < V_s = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho_L) \omega^2 r}{18\mu}$$

### c) Coeficiente de sedimentación

El coeficiente de sedimentación es un parámetro útil para caracterizar una partícula y se puede determinar mediante la ecuación 2.8:

$$S = \frac{v}{\omega^2 r}$$

En la figura 4.2 se muestran algunos coeficientes de sedimentación de partículas celulares.

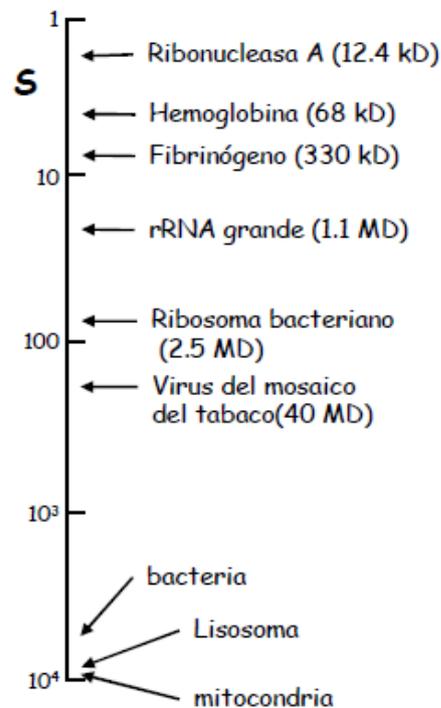


Figura 4.2.- Coeficientes de sedimentación

Fuente: Stryer Lubert, Bioquímica, 1993.

Mediante el coeficiente de sedimentación se puede calcular la velocidad terminal mediante la ecuación 2.9:

$$v = \omega^2 r \cdot S$$

#### d) Equipos de centrifugación

Para la separación de los componentes de la sangre se empleó equipos de sedimentación continua y discontinua.

Para la centrifugación discontinua se utilizó una centrífuga preparativa de velocidad y tiempo regulable. En cambio para la sedimentación continua se utilizó un centrífuga de discos.

#### 4.1.2.2 Análisis de secado

##### a) Balance de materia

En el proceso de secado la disminución de agua en el producto es igual al aumento de agua en el aire.

$$m_w = m_s \Delta W_s = m_a \Delta X \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Donde,

$m_w$ : cantidad de agua [Kg].

$m_s$ : masa del producto seco [Kg].

$m_a$ : masa del aire seco [Kg].

$\Delta W_s$ : humedad perdida por el producto en base seca [%].

$\Delta X$ : humedad ganado por cada Kg de aire seco [%].

##### b) Contenido de humedad

La presencia de agua en los productos contribuye al deterioro de los mismos, por eso conviene reducir el contenido de humedad.

Entre las ventajas de la reducción del contenido de agua tenemos:

- Prolongación de la vida útil.
- Disminución considerablemente del peso.

Sin embargo la reducción del contenido de agua presenta dos inconvenientes:

- Riesgo de alteración de la calidad nutricional.
- Consumo notable de energía.

El contenido de humedad de un producto puede expresarse en base húmeda o base seca.

### c) Velocidad de secado

Es la cantidad de agua eliminada por unidad de tiempo, la cual se puede calcular mediante la ecuación:

$$m_{iw} = m_{ia}\Delta X = m_{is}\Delta W_s \quad \text{Ecuación 4.6}$$

El proceso de secado está dividido en tres fases: una fase inicial de pretratamiento, seguido de otra de velocidad de secado constante y una fase de velocidad decreciente como se muestra en la figura 4.3

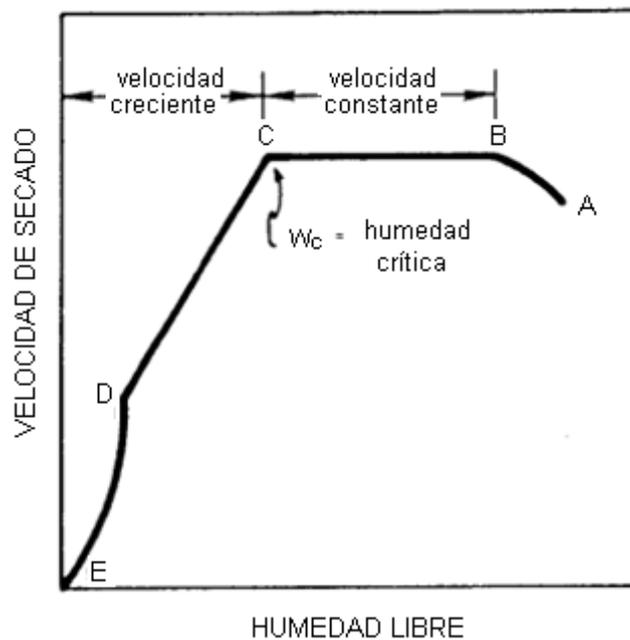


Figura 4.3 .- Velocidad de secado de productos

Fuente: El autor

### d) Equipos de secado

Para el secado de la hemoglobina obtenida centrifugación se utilizó una estufa de temperatura regulable.

Con la utilización de este equipo de secado podemos controlar el contenido de humedad de la hemoglobina mediante una adecuada temperatura y tiempo de secado.

### 4.1.3 Proceso propuesto para el análisis de los resultados

#### 4.1.3.1 Separación de la hemoglobina de la sangre

Como materia prima principal se utilizó la sangre procedente de pollos de la Avícola San Agustín incluidos machos y hembras de 4 semanas de edad. Además se empleó citrato de sodio como anticoagulante en bajas concentraciones de 0,7% con respecto al volumen de la sangre.

Para la separación de plasma y hemoglobina de la sangre mediante centrifugación se realizó el proceso mostrado en la figura 4.4, considerando las óptimas condiciones desde la recolección hasta la toma de datos de centrifugación.

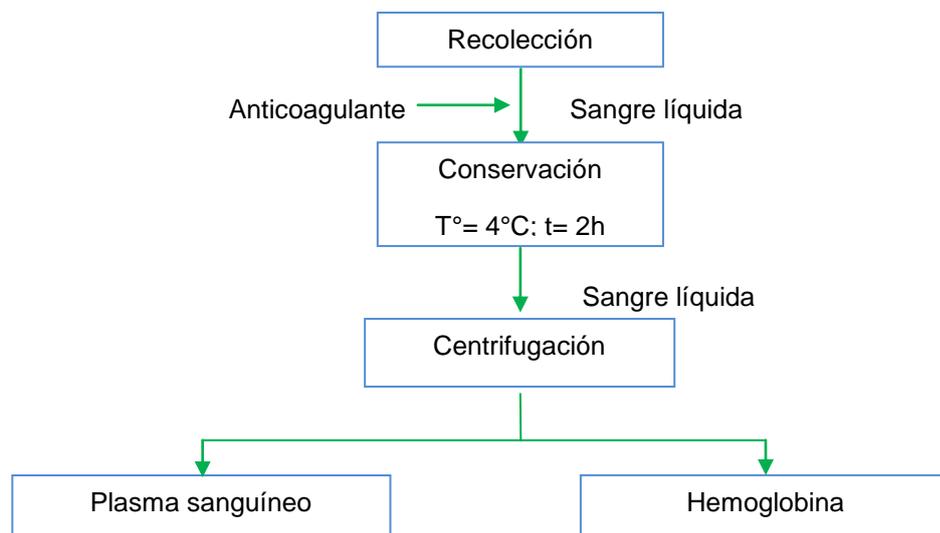


Figura 4.4.- Proceso para centrifugación de la sangre de aves

Fuente: El autor

#### a) Recolección

La recolección de la sangre se efectuó en las instalaciones de la Avícola San Agustín durante el faenamiento de las aves. La sangre se recolectó en recipientes plásticos marcados con un volumen referencial para realizar los diferentes ensayos. Luego de la recolección se adicionó anticoagulante para evitar la coagulación homogenizando suavemente.

## b) Conservación

La conservación en la sangre en este caso fue necesaria por el transporte de las muestras al laboratorio de análisis. Para garantizar los resultados se utilizó una temperatura de nevera de 4°C aproximadamente hasta realizar los ensayos de centrifugación.

## c) Centrifugación

Una vez que la sangre ha sido conservada en forma líquida se procede a centrifugarla para separar el plasma y glóbulos rojos mediante la acción de la fuerza centrífuga.

### 4.1.3.2 Secado de la hemoglobina

Una vez que se obtiene el plasma y hemoglobina separamos en recipientes estériles para proceder a secar. El procedimiento que se efectuó para el secado de la hemoglobina se muestra en la siguiente figura.

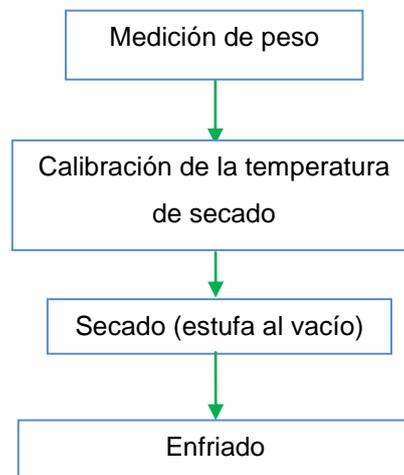


Figura 4.5 .- Proceso para el secado de hemoglobina

Fuente: El autor

## a) Medición de peso inicial

Una vez que se ha obtenido la hemoglobina separada por centrifugación determinamos el peso inicial de cada muestra antes de ser secada.

## **b) Calibración de la temperatura de secado**

La calibración de la temperatura en el equipo empleado para el secado se lo realizó durante un tiempo de 15 minutos hasta que la temperatura se eleve a la fijada.

## **c) Secado**

El secado se lo realizó con temperaturas inferiores a los 100° C para conservar el contenido proteico según revisión bibliográfica.

## **d) Enfriado**

Al finalizar el proceso de secado se realizó un enfriamiento del producto hasta que la temperatura llegue a los 20°C, posteriormente medimos el peso final de la hemoglobina seca.

### **4.1.4 Separación de la hemoglobina mediante sedimentación discontinua**

#### **4.1.4.1 Ensayos de centrifugado**

Para realizar la centrifugación se realizó cinco ensayos evaluados a diferentes tiempos y velocidades de sedimentación con la que puede evaluarse los porcentajes obtenidos.

El equipo principal empleado para la centrifugación fue la centrífuga de Laboratorio cuyas especificaciones técnicas se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 .- Datos técnicos de la centrífuga

| Centrífuga KGEMN       |                   |
|------------------------|-------------------|
| • Capacidad del rotor: | 6 tubos de 12 ml  |
| • Velocidad regulable: | 1000 a 10.000 RPM |
| • Tiempo regulable:    | 2 a 60 minutos    |

Fuente: Laboratorio Clínico

Los materiales necesarios para realizar la separación de la hemoglobina de la sangre de pollos mediante centrifugación son:

- Tubos de ensayo de plástico de 12 ml.
- Pipeta.
- Anticoagulante (citrato de sodio).

### Ensayo No.1

Para iniciar se tomó muestras de sangre de 20 aves de la avícola San Agustín con anticoagulante, el volumen aproximado fue de 10 ml de cada ave debido a las limitaciones de la centrífuga a utilizarse. Luego se transportaron a temperatura de 4°C hacia el laboratorio en donde se realizó la centrifugación. El tiempo empleado en el primer ensayo fue de 4 minutos en el cual se varió la velocidad desde 1000 a 10000 RPM para poder observar el porcentaje de separación.

El porcentaje de volumen plasmático se incrementó a medida que se centrifugo a altas velocidades como se muestra en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 .- Volumen de separación de la sangre a 4 minutos

| Velocidad (RPM) | sangre (ml) | Replicas (n=2) |                  |             |                  | % Plasma sanguíneo |
|-----------------|-------------|----------------|------------------|-------------|------------------|--------------------|
|                 |             | plasma (ml)    | hemoglobina (ml) | plasma (ml) | hemoglobina (ml) |                    |
| 1000            | 10          | 3,2            | 6,8              | 3,2         | 6,8              | 32,0               |
| 2000            | 10          | 3,5            | 6,5              | 3,5         | 6,5              | 35,0               |
| 3000            | 10          | 4,2            | 5,8              | 4,1         | 5,9              | 41,5               |
| 4000            | 10          | 4,5            | 5,5              | 4,5         | 5,5              | 45,0               |
| 5000            | 10          | 4,8            | 5,2              | 4,8         | 5,2              | 48,0               |
| 6000            | 10          | 5,3            | 4,7              | 5,3         | 4,7              | 53,0               |
| 7000            | 10          | 5,5            | 4,5              | 5,4         | 4,6              | 54,5               |
| 8000            | 10          | 5,7            | 4,3              | 5,7         | 4,3              | 57,0               |
| 9000            | 10          | 5,9            | 4,1              | 5,8         | 4,2              | 58,5               |
| 10000           | 10          | 6,1            | 3,9              | 6,1         | 3,9              | 61,0               |

Fuente: El autor

Durante el primer ensayo la tonalidad del plasma fue anaranjada y los corpúsculos rojos sedimentados en el fondo del recipiente, como se observa en la figura 4.6.



Figura 4.6.- Glóbulos rojos sedimentados

Fuente: El Autor

## Ensayo No. 2

Para el segundo ensayo al igual que el primero se tomaron 20 muestras las cuales se analizaron durante seis minutos variando la velocidad desde 1000 a 10.000 RPM. Los porcentajes de separación obtenidos para un tiempo de 6 minutos se muestran en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 .- Volumen de separación de la sangre a 6 minutos

| Velocidad (RPM) | sangre (ml) | Replicas (n=2) |                  |             |                  | % Plasma sanguíneo |
|-----------------|-------------|----------------|------------------|-------------|------------------|--------------------|
|                 |             | plasma (ml)    | hemoglobina (ml) | plasma (ml) | hemoglobina (ml) |                    |
| 1000            | 10          | 3,8            | 6,2              | 3,9         | 6,1              | 38,5               |
| 2000            | 10          | 4,2            | 5,8              | 4,3         | 5,7              | 42,5               |
| 3000            | 10          | 4,7            | 5,3              | 4,5         | 5,5              | 46,0               |
| 4000            | 10          | 5,1            | 4,9              | 4,7         | 5,3              | 49,0               |
| 5000            | 10          | 5,3            | 4,7              | 5,1         | 4,9              | 52,0               |
| 6000            | 10          | 5,6            | 4,4              | 5,6         | 4,4              | 56,0               |
| 7000            | 10          | 6,0            | 4,0              | 6,0         | 4,0              | 60,0               |
| 8000            | 10          | 6,1            | 3,9              | 6,1         | 3,9              | 61,0               |
| 9000            | 10          | 6,2            | 3,8              | 6,2         | 3,8              | 62,0               |
| 10000           | 10          | 6,3            | 3,7              | 6,3         | 3,7              | 63,0               |

Fuente: El autor

### Ensayo No. 3 y No. 4

Los porcentajes de plasma y hemoglobina evaluados a tiempos de 8 y 10 minutos de centrifugado se muestran en las tablas 4.6 y 4.7 respectivamente.

Tabla 4.6 .- Volumen de separación de la sangre a 8 minutos

| Velocidad (RPM) | sangre (ml) | Replicas (n=2) |                  |             |                  | % Plasma sanguíneo |
|-----------------|-------------|----------------|------------------|-------------|------------------|--------------------|
|                 |             | plasma (ml)    | hemoglobina (ml) | plasma (ml) | hemoglobina (ml) |                    |
| 1000            | 10          | 4,2            | 5,8              | 4,2         | 5,8              | 42,0               |
| 2000            | 10          | 4,6            | 5,4              | 4,5         | 5,5              | 45,5               |
| 3000            | 10          | 4,8            | 5,2              | 4,8         | 5,2              | 48,0               |
| 4000            | 10          | 5,2            | 4,8              | 5,3         | 4,7              | 52,5               |
| 5000            | 10          | 5,6            | 4,4              | 5,7         | 4,3              | 56,5               |
| 6000            | 10          | 5,9            | 4,1              | 5,9         | 4,1              | 59,0               |
| 7000            | 10          | 6,0            | 4                | 6,1         | 3,9              | 60,5               |
| 8000            | 10          | 6,2            | 3,8              | 6,3         | 3,7              | 62,5               |
| 9000            | 10          | 6,3            | 3,7              | 6,3         | 3,7              | 63,0               |
| 10000           | 10          | 6,5            | 3,5              | 6,5         | 3,5              | 65,0               |

Fuente: El autor

Tabla 4.7 .- Volumen de separación de la sangre a 10 minutos

| Velocidad (RPM) | sangre (ml) | Replicas (n=2) |                  |             |                  | % Plasma sanguíneo |
|-----------------|-------------|----------------|------------------|-------------|------------------|--------------------|
|                 |             | plasma (ml)    | hemoglobina (ml) | plasma (ml) | hemoglobina (ml) |                    |
| 1000            | 10          | 4,7            | 5,3              | 4,7         | 5,3              | 47,0               |
| 2000            | 10          | 5,1            | 4,9              | 5,0         | 5,0              | 50,5               |
| 3000            | 10          | 5,4            | 4,6              | 5,4         | 4,6              | 54,0               |
| 4000            | 10          | 5,9            | 4,1              | 5,8         | 4,2              | 58,5               |
| 5000            | 10          | 6,0            | 4,0              | 6,0         | 4,0              | 60,0               |
| 6000            | 10          | 6,2            | 3,8              | 6,3         | 3,7              | 62,5               |
| 7000            | 10          | 6,5            | 3,5              | 6,5         | 3,5              | 65,0               |
| 8000            | 10          | 6,7            | 3,3              | 6,7         | 3,3              | 67,0               |
| 9000            | 10          | 6,8            | 3,2              | 6,7         | 3,3              | 67,5               |
| 10000           | 10          | 6,8            | 3,2              | 6,8         | 3,2              | 68,0               |

Fuente: El autor

## Ensayo No. 5

En el quinto ensayo de 12 minutos de centrifugado se observó una tonalidad rojiza del volumen plasmático, especialmente cuando se incrementó la velocidad.

Tabla 4.8.- Volumen de separación de la sangre a 12 minutos

| Velocidad (RPM) | sangre (ml) | Replicas (n=2) |                  |             |                  | % Plasma sanguíneo |
|-----------------|-------------|----------------|------------------|-------------|------------------|--------------------|
|                 |             | plasma (ml)    | hemoglobina (ml) | plasma (ml) | hemoglobina (ml) |                    |
| 1000            | 10          | 5,2            | 4,8              | 5,1         | 4,9              | 51,5               |
| 2000            | 10          | 5,4            | 4,6              | 5,4         | 4,6              | 54,0               |
| 3000            | 10          | 5,8            | 4,2              | 5,7         | 4,3              | 57,5               |
| 4000            | 10          | 6,2            | 3,8              | 6,1         | 3,9              | 61,5               |
| 5000            | 10          | 6,4            | 3,6              | 6,4         | 3,6              | 64,0               |
| 6000            | 10          | 6,6            | 3,4              | 6,7         | 3,3              | 66,5               |
| 7000            | 10          | 6,8            | 3,2              | 6,8         | 3,2              | 68,0               |
| 8000            | 10          | 6,9            | 3,1              | 6,9         | 3,1              | 69,0               |
| 9000            | 10          | 6,9            | 3,1              | 7,0         | 3,0              | 69,5               |
| 10000           | 10          | 7,0            | 3,0              | 7,1         | 2,9              | 70,5               |

Fuente: El autor

### 4.1.4.2 Ensayos de secado

Para el secado de la hemoglobina se realizaron tres ensayos diferentes con el fin de determinar las mejores condiciones de secado. Las temperaturas empleadas fueron de 70, 80, y 90°C por un tiempo de 1 h 30 min a 3 horas de secado.

Los materiales y equipos utilizados para los ensayos de secado fueron los siguientes:

- Capsulas de cerámica.
- Pipeta.
- Espátula.
- Estufa.
- Balanza analítica.
- Desecador.

•Cronometro.

El equipo principal para realizar el secado de la hemoglobina fue una estufa de Laboratorio cuyas características técnicas se muestran en la tabla 4.9.

Tabla 4.9 .- Datos técnicos de estufa

| Estufa MEMMERT          |           |
|-------------------------|-----------|
| Rango de operación:     | 0-320°C   |
| Control de temperatura: | Regulable |

Fuente: Laboratorio de Biotecnología, FCIAL

### Ensayo No. 1

Para el primer ensayo se realizaron 4 muestras para el secado a la temperatura de 70°C con diferentes tiempos de secado para observar las variaciones de la humedad.

Las muestras se deshidrataron a diversos tiempos como pueden observarse en la tabla 4.10.

Tabla 4.10 .- Variación del tiempo de secado a 70°C

| Muestras  | Temperatura | Tiempo     | Peso inicial (g) | Peso final (g) | Peso perdido (g) | % humedad        |
|-----------|-------------|------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| R1<br>R1* | 70°C        | 1 h 30 min | 11,005<br>10,802 | 9,231<br>8,93  | 1,774<br>1,872   | 83,880<br>82,670 |
| R2<br>R2* | 70°C        | 2 horas    | 10,599<br>10,005 | 7,986<br>7,903 | 2,613<br>2,102   | 75,348<br>78,991 |
| R3<br>R3* | 70°C        | 2 h 30 min | 9,731<br>9,698   | 6,075<br>6,055 | 3,656<br>3,643   | 62,429<br>62,436 |
| R4<br>R4* | 70°C        | 3 horas    | 10,023<br>9,722  | 4,361<br>4,202 | 5,662<br>5,520   | 43,510<br>43,222 |

\* Duplicado de cada muestra

Fuente: El autor

Durante la un tiempo de 3 horas a la temperatura de 70°C se evaluó la primera muestra en la que presentaba poca consistencia sólida como puede observarse en la figura 4.7.



Figura 4.7 .- Hemoglobina sometida a deshidratación incompleta

Fuente: El autor

## Ensayo No. 2

Para el segundo ensayo la temperatura de secado empleada fue de 80°C durante tiempos desde 1 h 30 min a 3 horas de secado. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.11.

Tabla 4.11 .- Variación del tiempo de secado a 80°C

| Muestras | Temperatura | Tiempo     | Peso inicial (g) | Peso final (g) | Peso perdido (g) | % humedad |
|----------|-------------|------------|------------------|----------------|------------------|-----------|
| R1       | 80°C        | 1 h 30 min | 9,889            | 7,364          | 2,869            | 70,988    |
| R1*      |             |            | 10,325           | 7,756          | 2,869            | 72,213    |
| R2       | 80°C        | 2 horas    | 11,291           | 7,190          | 4,101            | 63,679    |
| R2*      |             |            | 11,598           | 7,305          | 4,293            | 62,987    |
| R3       | 80°C        | 2 h 30 min | 11,652           | 5,332          | 6,320            | 45,759    |
| R3*      |             |            | 11,484           | 5,373          | 6,111            | 46,789    |
| R4       | 80°C        | 3 horas    | 10,533           | 3,176          | 7,357            | 30,157    |
| R4*      |             |            | 10,416           | 3,103          | 7,313            | 29,791    |

Fuente: El autor

En la figura 4.8 se observa la hemoglobina secada durante 3 horas a 80°C.



Figura 4.8 .- Hemoglobina deshidratada

Fuente: El autor

### Ensayo No. 3

Los resultados obtenidos a la temperatura de 90°C se muestran en la tabla 4.12 en la que pueden obtener un producto con bajo contenido de humedad.

Tabla 4.12 .- Variación del tiempo de secado a 90°C

| Muestras | Temperatura | Tiempo     | Peso inicial (g) | Peso final (g) | Peso perdido (g) | % humedad |
|----------|-------------|------------|------------------|----------------|------------------|-----------|
| R1       | 90°C        | 1 h 30 min | 10,982           | 7,131          | 3,851            | 64,934    |
| R1*      |             |            | 11,320           | 7,082          | 4,238            | 62,562    |
| R2       | 90°C        | 2 horas    | 10,211           | 5,227          | 4,984            | 51,189    |
| R2*      |             |            | 9,732            | 4,888          | 4,844            | 50,221    |
| R3       | 90°C        | 2 h 30 min | 9,535            | 3,355          | 6,180            | 35,189    |
| R3*      |             |            | 9,395            | 3,270          | 6,125            | 34,806    |
| R4       | 90°C        | 3 horas    | 10,378           | 2,178          | 8,200            | 20,988    |
| R4*      |             |            | 10,754           | 2,308          | 8,446            | 21,458    |

Fuente: El autor

En la muestra evaluada a una temperatura de 90°C con un tiempo máximo de 3 horas de secado se observó un secado uniforme como se observa en la figura 4.9.



Figura 4.9 .- Hemoglobina secada a 90°C

Fuente: El autor

#### 4.1.5 Separación de la hemoglobina mediante sedimentación continua

Para el tratamiento de grandes cantidades de sangre se utiliza equipos de centrifugación continua. En la figura 4.10 se muestra la sección de una centrífuga de discos utilizada para la separación de plasma sanguíneo. La sangre ingresa por la parte superior a través de la válvula de flotación, en su interior se alojan una serie de discos que giran a gran velocidad. Por medio de la acción de la fuerza centrífuga los glóbulos rojos más pesados son lanzados a la periferia, mientras el plasma más ligero es eliminado por la parte central por conductos especialmente diseñados.

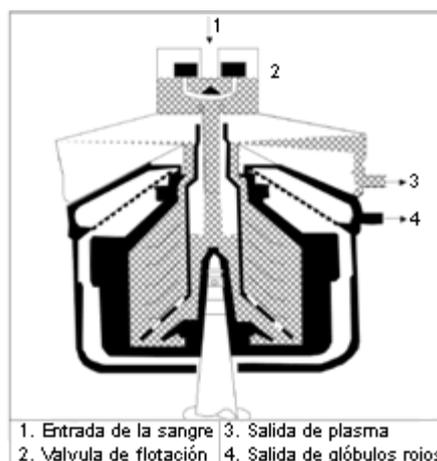


Figura 4.10 .- Centrífuga para sangre

Fuente: Madrid Antonio, Aprovechamiento de subproductos cárnicos, 1999

Para centrifugar la sangre se utilizó una centrífuga de discos manual cuyas especificaciones técnicas se muestran en la tabla 4.13.

Tabla 4.13 .- Especificaciones técnicas de la centrífuga

| CENTRÍFUGA SEPARADORA FL-80 |                  |
|-----------------------------|------------------|
| Capacidad de producción     | 80 l/h           |
| Velocidad de trabajo        | 50-60 RPM        |
| Velocidad máxima del bol    | 9.000-10.000 RPM |
| Capacidad del receptor      | 12 l             |

Fuente: El Autor

Para el centrifugado se utilizó sangre procedente de 61 pollos durante el faenamiento en la Avícola San Agustín. Para la recogida de la sangre es imprescindible la adición inmediata de anticoagulante para conservarla hasta la centrifugación.

La cantidad de anticoagulante empleado fue 0,7% de citrato de sodio diluida en agua según bibliografía revisada. Para realizar los ensayos se tomó nueve muestras de seis pollos cada una y una de siete, en la que se obtuvo la cantidad de hemoglobina mostrada en tabla 4.14.

Tabla 4.14 .- Resultados obtenidos mediante centrifugación continua

| Muestra | Aves faenadas | Sangre (litros) | Plasma (litros) | Hemoglobina (litros) |
|---------|---------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| 1       | 6             | 0,65            | 0,37            | 0,28                 |
| 2       | 6             | 0,64            | 0,36            | 0,28                 |
| 3       | 6             | 0,65            | 0,37            | 0,28                 |
| 4       | 6             | 0,64            | 0,36            | 0,28                 |
| 5       | 6             | 0,65            | 0,35            | 0,30                 |
| 6       | 6             | 0,64            | 0,35            | 0,29                 |
| 7       | 6             | 0,63            | 0,36            | 0,27                 |
| 8       | 6             | 0,65            | 0,35            | 0,30                 |
| 9       | 6             | 0,64            | 0,35            | 0,29                 |
| 10      | 7             | 0,66            | 0,35            | 0,31                 |
| Total   | 61            | 6,45            | 3,57            | 2,88                 |

Fuente: El autor

Para el secado se utilizó la hemoglobina obtenida mediante centrifugación de 61 pollos de la avícola San Agustín. La temperatura empleada para el secado fue de 90°C con lo cual se redujo considerablemente el peso.

Tabla 4.15 .- Resultados del secado de la hemoglobina

| Muestra | Aves faenadas | Temperatura (°C) | Hemoglobina (litros) | Peso inicial (Kg) | Hemoglobina seca (Kg) |
|---------|---------------|------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| 1       | 6             | 90               | 0,28                 | 0,29              | 0,18                  |
| 2       | 6             | 90               | 0,28                 | 0,29              | 0,18                  |
| 3       | 6             | 90               | 0,28                 | 0,29              | 0,18                  |
| 4       | 6             | 90               | 0,28                 | 0,29              | 0,18                  |
| 5       | 6             | 90               | 0,30                 | 0,32              | 0,19                  |
| 6       | 6             | 90               | 0,29                 | 0,30              | 0,18                  |
| 7       | 6             | 90               | 0,27                 | 0,28              | 0,17                  |
| 8       | 6             | 90               | 0,30                 | 0,32              | 0,19                  |
| 9       | 6             | 90               | 0,29                 | 0,30              | 0,18                  |
| 10      | 7             | 90               | 0,31                 | 0,33              | 0,20                  |
| Total   | 61            | -                | 2,88                 | 3,02              | 1,81                  |

Fuente: El Autor

#### 4.1.6 Análisis del volumen de desecho de sangre

La generación de sangre en la Avícola San Agustín por el faenamiento de aves tiene grandes inconvenientes por el manejo inadecuado de los desechos líquidos de sangre por ende causando graves problemas ambientales. La sangre como ya se dijo contiene alto contenido proteico lo cual hace rápida la proliferación de microorganismos por lo cual puede ocasionar contaminación dentro de la planta alimenticia.

##### 4.1.6.1 Contaminación y desperdicio del agua

El desperdicio de la sangre es evidente ya que esta avícola no cuenta con un tratamiento adecuado. Este subproducto es causante del incremento del DBO<sub>5</sub> en los desechos líquidos de sangre.

En la figura 4.11 se muestra el faenamiento de aves de la Avícola San Agustín en la que se pueden ver la sangre obtenida.



Figura 4.11 .- Desangrado de aves

Fuente: El Autor

Según Madrid (1999), la carga contaminante de la sangre animal tiene DBO<sub>5</sub> de 200.000 mg/litro y según el TULAS, no se permite la descarga directa a la red de alcantarillado 250 mg/litro, ph neutro comprendido entre 5-9.

Mediante análisis efectuado para la Avícola San Agustín de los desechos líquidos de la sangre que era desalojada se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la tabla 4.16.

Tabla 4.16 .- Parámetros de contaminación

| Análisis de factores de contaminación |        |           |                       |
|---------------------------------------|--------|-----------|-----------------------|
| Parámetro                             | Unidad | Resultado | Límite máximo (TULAS) |
| DBO <sub>5</sub>                      | mg/l   | 11.989    | 250                   |
| Ph                                    | UpH    | 7,7       | 5 a 9                 |

Fuente: Laquanalisis

#### 4.1.7 Análisis de la factibilidad de recuperación de la sangre

##### 4.1.7.1 Proyección de la separación de la hemoglobina

La obtención de hemoglobina se puede proyectarse con un porcentaje de recuperación comprendido entre 30-40% de hemoglobina del volumen de la sangre entera. La cantidad de hemoglobina recuperable que puede obtenerse mediante centrifugación se muestra en la tabla 4.17.

Tabla 4.17 .- Proyección de la recuperación de la hemoglobina de la sangre de pollo

| Mes        | Número de aves | Peso en vivo (kg) | Sangre obtenida (litros) | Plasma (litros) | Hemoglobina (litros) |
|------------|----------------|-------------------|--------------------------|-----------------|----------------------|
| enero      | 8000           | 15200             | 866,4                    | 519,84          | 346,56               |
| febrero    | 8150           | 15485             | 882,645                  | 529,587         | 353,058              |
| marzo      | 8100           | 15390             | 877,23                   | 526,338         | 350,892              |
| abril      | 8150           | 15485             | 882,645                  | 529,587         | 353,058              |
| mayo       | 8000           | 15200             | 866,4                    | 519,84          | 346,56               |
| junio      | 8100           | 15390             | 877,23                   | 526,338         | 350,892              |
| julio      | 8050           | 15295             | 871,815                  | 523,089         | 348,726              |
| agosto     | 8140           | 15466             | 881,562                  | 528,9372        | 352,6248             |
| septiembre | 8200           | 15580             | 888,06                   | 532,836         | 355,224              |
| octubre    | 8210           | 15599             | 889,143                  | 533,4858        | 355,6572             |
| noviembre  | 8220           | 15618             | 890,226                  | 534,1356        | 356,0904             |
| diciembre  | 8100           | 15390             | 877,23                   | 526,338         | 350,892              |
| Total      | 97420          | 185098            | 10550,586                | 6330,3516       | 4220,2344            |

Fuente: El Autor

##### 4.1.7.2 Proyección para el secado de la hemoglobina

Considerando que se puede obtenerse aproximadamente de 30-40% de hemoglobina para diversos fines se puede recuperar cerca de 33% de sólidos, la sangre que se genera por el faenamiento de aves en la Avícola San Agustín puede recuperarse el plasma y hemoglobina mediante centrifugación y secado.

En la tabla 4.18 se muestran una estimación con respecto a la separación de hemoglobina mediante centrifugación y secado que puede ser recuperada para diversos fines.

Tabla 4.18 .- Proyección de la obtención de la hemoglobina

| Mes        | Numero de aves | Peso en vivo (kg) | Sangre obtenida (litros) | Plasma (litros) | Hemoglobina (litros) | Hemoglobina seca (kg) |
|------------|----------------|-------------------|--------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|
| enero      | 8000           | 18160             | 1035,12                  | 621,07          | 414,05               | 136,64                |
| febrero    | 8150           | 18500,5           | 1054,53                  | 632,72          | 421,81               | 139,20                |
| marzo      | 8100           | 18387             | 1048,06                  | 628,84          | 419,22               | 138,34                |
| abril      | 8150           | 18500,5           | 1054,53                  | 632,72          | 421,81               | 139,20                |
| mayo       | 8000           | 18160             | 1035,12                  | 621,07          | 414,05               | 136,64                |
| junio      | 8100           | 18387             | 1048,06                  | 628,84          | 419,22               | 138,34                |
| julio      | 8050           | 18273,5           | 1041,59                  | 624,95          | 416,64               | 137,49                |
| agosto     | 8140           | 18477,8           | 1053,23                  | 631,94          | 421,29               | 139,03                |
| septiembre | 8200           | 18614             | 1061,00                  | 636,60          | 424,40               | 140,05                |
| octubre    | 8210           | 18636,7           | 1062,29                  | 637,38          | 424,92               | 140,22                |
| noviembre  | 8220           | 18659,4           | 1063,59                  | 638,15          | 425,43               | 140,39                |
| diciembre  | 8100           | 18387             | 1048,06                  | 628,84          | 419,22               | 138,34                |
| Total      | 97420          | 221143            | 12605,17                 | 7563,10         | 5042,07              | 1663,88               |

Fuente: El autor

## 4.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.2.1 Interpretación de la separación de la hemoglobina mediante sedimentación discontinua

#### 4.2.1.1 Interpretación de los resultados de centrifugado

En los ensayos preliminares de centrifugación discontinua se observó los efectos de la velocidad y tiempo de centrifugado con respecto al porcentaje de plasma obtenido los cuales difieren del tiempo de centrifugado los cuales se analiza a continuación.

Mediante los datos obtenidos realizamos una tendencia de los datos de separación a cuatro minutos, en la que puede observarse un incremento

del volumen plasmático desde 30% como se observa en la siguiente figura.

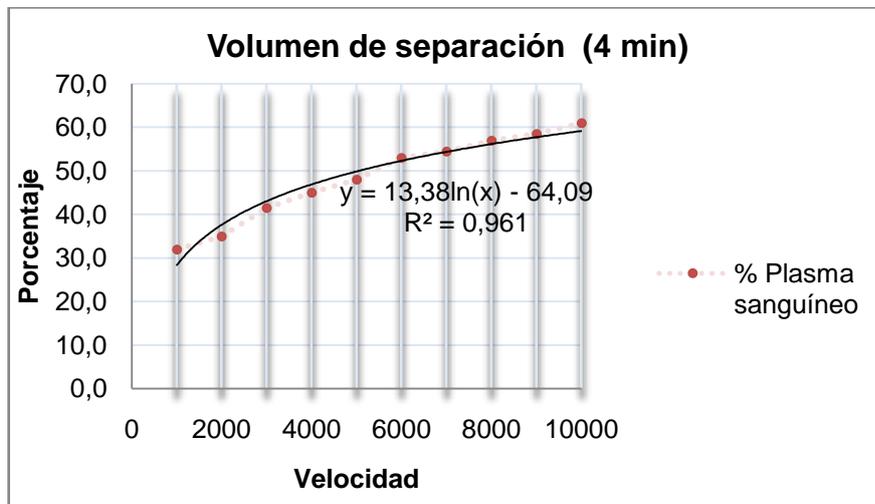


Figura 4.12 .- Curva de tendencia de datos separación a 4 minutos

Fuente: El autor

Ahora mediante datos obtenidos a seis minutos de centrifugado tenemos la tendencia mostrada en la siguiente figura 4.13 en la cual el volumen plasmático va incrementando desde un 40%.

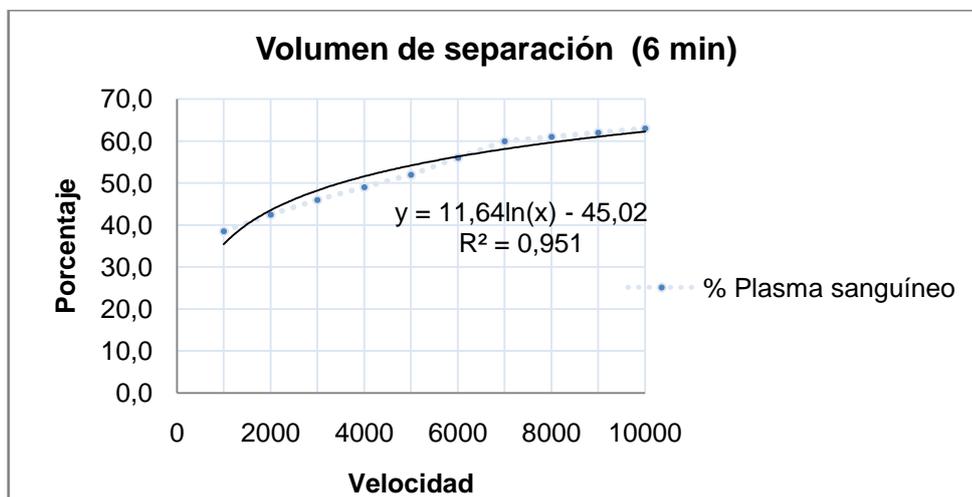


Figura 4.13 .- Tendencia de datos de separación a 6 minutos

Fuente: El autor

Para los datos obtenidos a ocho minutos de centrifugado el volumen plasmático incrementa hasta un 65% a la velocidad de 10.000 RPM como se observa en la figura 4.14.

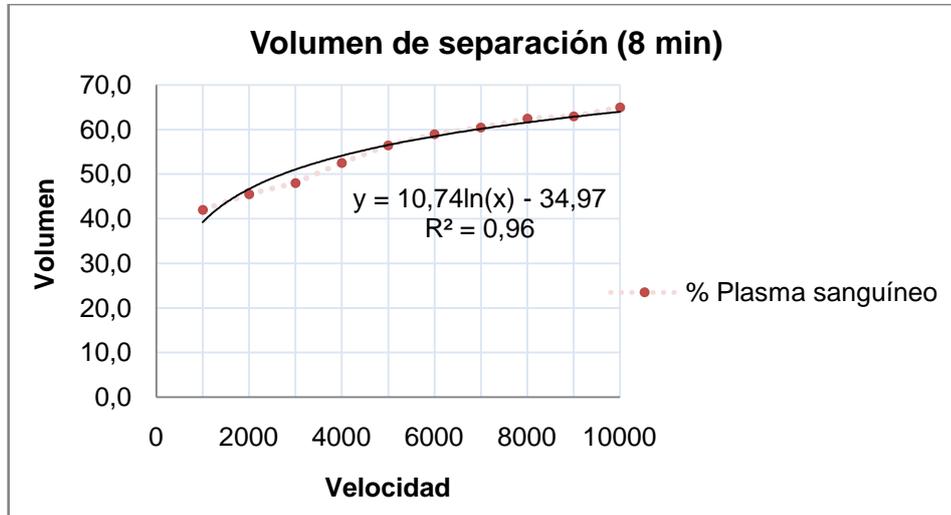


Figura 4.14 .- Tendencia de datos de separación a 8 minutos

Fuente: El autor

En los ensayos de centrifugado a diez minutos el porcentaje de volumen plasmático incrementa desde 48% hasta un 68% con la velocidad máxima de 10.000 RPM como se observa en la figura.

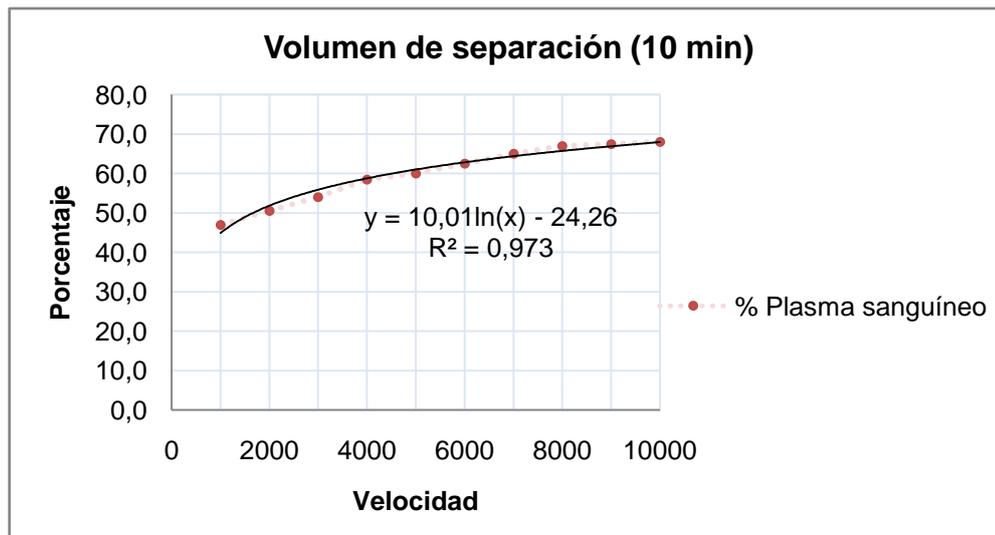


Figura 4.15 .- Tendencia de datos separación a 10 minutos

Fuente: El autor

Y para los datos obtenidos a doce minutos de centrifugado se observó un incremento significativo del volumen plasmático desde un 50% hasta un 70% con la velocidad máxima de centrifugado.

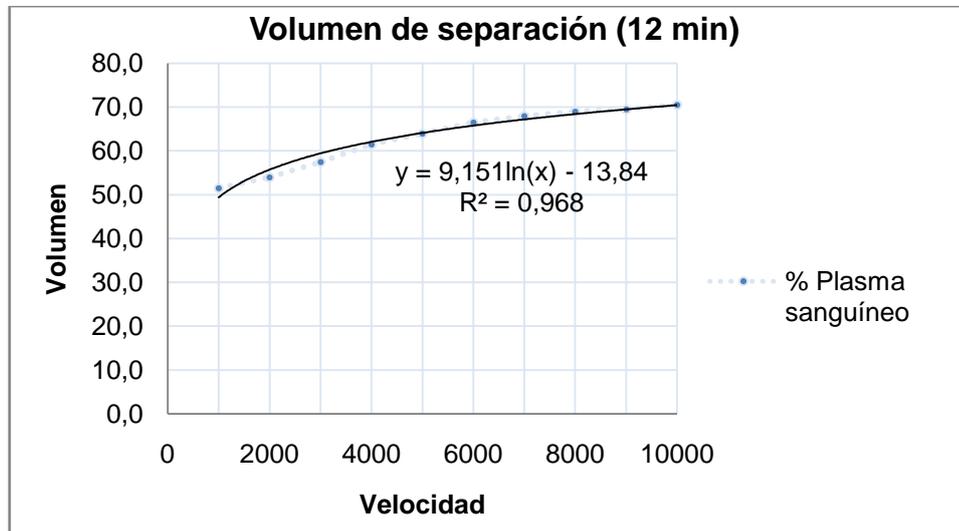


Figura 4.16 .- Tendencia de datos de separación a 12 minutos

Fuente: El autor

En general se observa una variación del volumen plasmático que se incrementa con la velocidad y tiempo de centrifugado. En la cual el volumen plasmático cambia de tonalidad amarillenta a rojiza cuando tenemos un porcentaje superior a 60%.

#### 4.2.1.2 Interpretación del secado de la hemoglobina obtenida

Los resultados preliminares obtenidos en el secado de la hemoglobina se observó una disminución de la humedad hasta un 20% con una temperatura de 90°C durante 3 horas de secado.

En la figura 4.17 se observa las tres curvas de secado a las temperaturas de 70, 80 y 90°C.

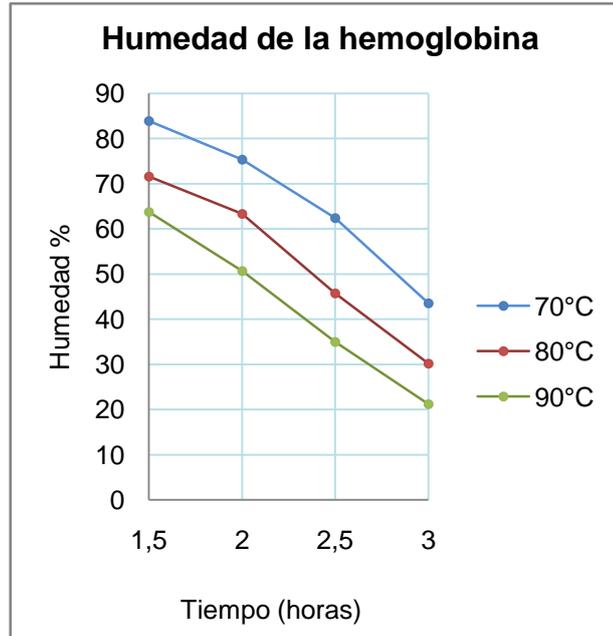


Figura 4.17 .- Curva de secado de la hemoglobina

Fuente: El Autor

#### 4.2.2 Interpretación de los datos de separación de la hemoglobina mediante centrifugación continua

Mediante los ensayos de centrifugación continua se obtuvo la separación del plasma y la hemoglobina aproximadamente de 50-60% de plasma y 50-40% de hemoglobina como se observa en la figura 4.18.

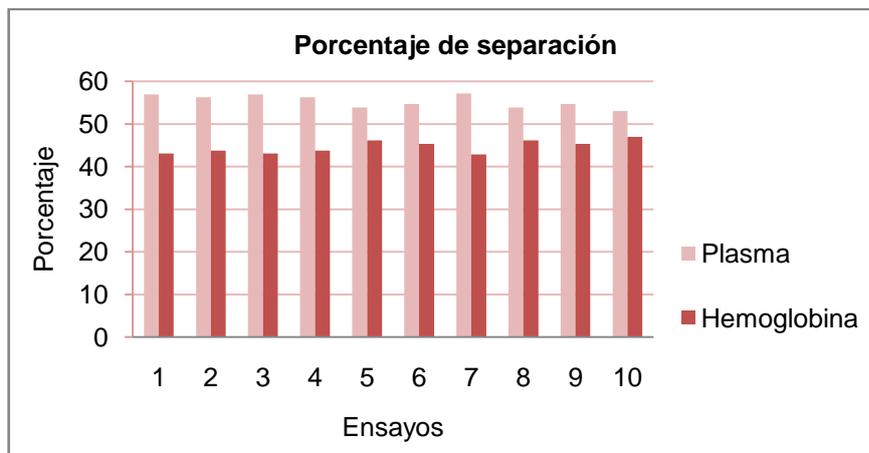


Figura 4.18 .- Volumen de separación mediante centrifugación

Fuente: El Autor

En el secado los resultados que se obtuvieron fue una reducción del peso cerca del 40% correspondiente a la cantidad de agua contenida en hemoglobina. Los pesos finales de cada ensayo se pueden observar en la figura 4.19.

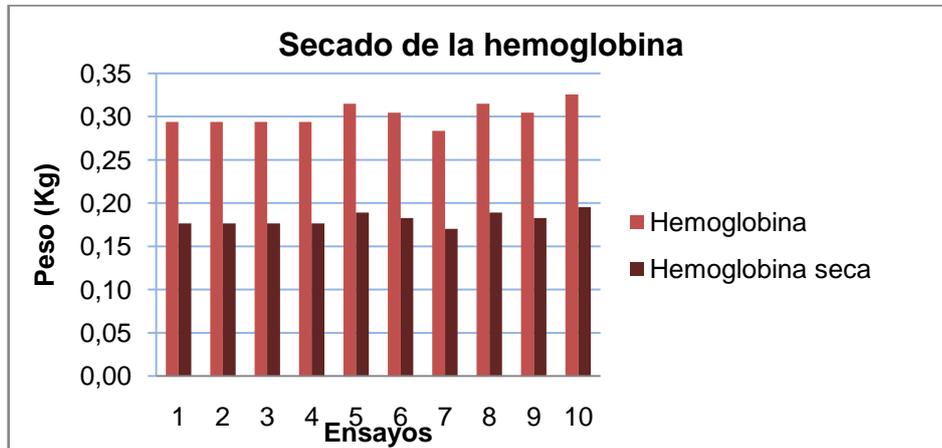


Figura 4.19 .- Secado de la hemoglobina

Fuente: El Autor

#### 4.2.3 Interpretación del volumen de desechos líquidos de sangre

La sangre considerada un subproducto no aprovechable por esta micro empresa avícola era desechada en su totalidad, se estima que aproximadamente 1000 litros de sangre fue desechada mensualmente durante el primer semestre del año 2013.

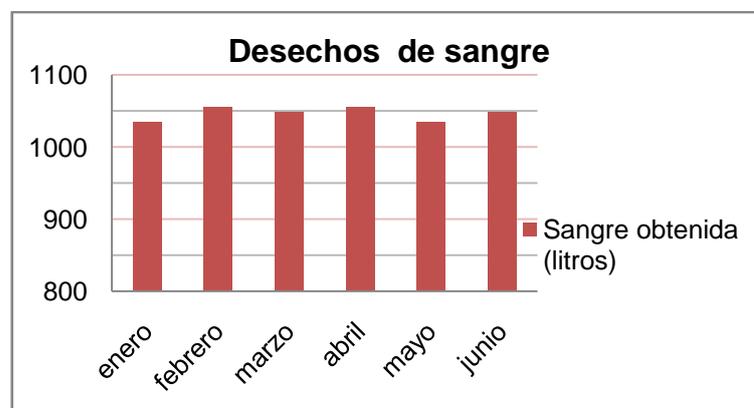


Figura 4.20 .- Secado de la hemoglobina

Fuente: El Autor

Mediante la separación de la hemoglobina este volumen se reduce considerablemente en sus dos componentes de plasma y hemoglobina como se observa en la figura 4.21.

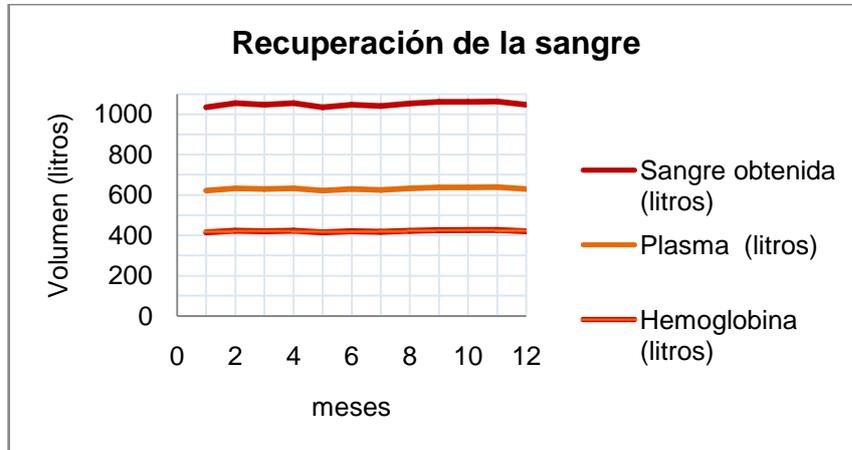


Figura 4.21 .- Recuperación de la sangre

Fuente: El autor

La recuperación de la sangre puede obtenerse en pequeñas y grandes cantidades como se puede visualizarse en la figura 4.22.

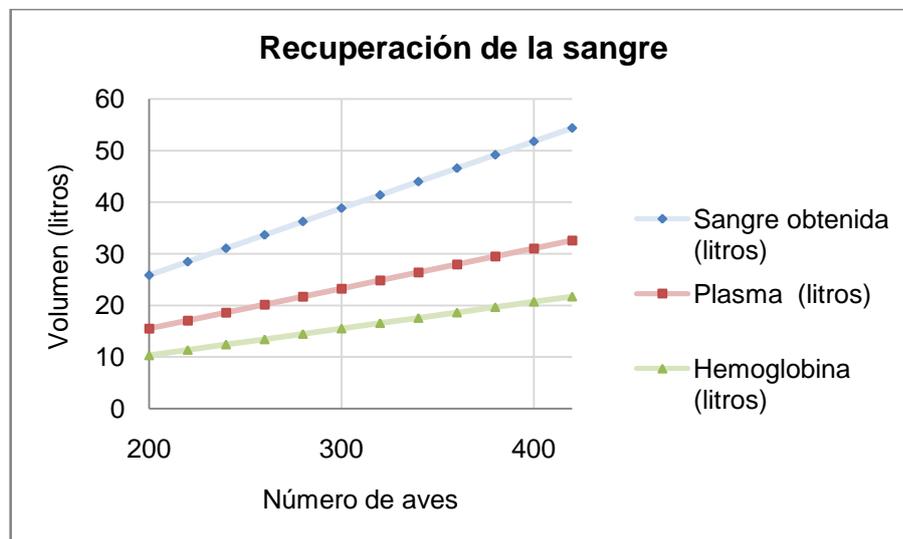


Figura 4.22 .- Proyección de la recuperación diaria de la sangre

Fuente: El autor

La sangre al ser tratada diariamente reduce considerablemente el volumen de desechos líquidos de sangre.

### 4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

La hipótesis planteada “La separación de hemoglobina por métodos mecánicos mediante centrifugación y secado permitirá disminuir el volumen de desechos líquidos de sangre en el faenamiento de pollos de la avícola San Agustín” cumple satisfactoriamente ya que la sangre en su totalidad era desechada ocasionando contaminación para lo cual se realizó el tratamiento de la sangre para la separación de la hemoglobina mediante centrifugación y secado. Con la separación de la hemoglobina se puede emplearla para diversas aplicaciones como fertilizantes, alimento para animales entre otras, con esto se reduce la contaminación que ocasiona la sangre al no ser tratada y desechada.

#### 4.3.1 Método del Chi-cuadrado para comprobación de hipótesis

El método del Chi-cuadrado es utilizado para probar hipótesis sobre eventos conocidos. Para el análisis hacemos referencias a los resultados esperados con los obtenidos. En la tabla 4.19 se observan las frecuencias observadas con las esperadas en cada evento.

Tabla 4.19 .- Ocurrencia de eventos

| Eventos                | E <sub>1</sub> | E <sub>2</sub> | E <sub>3</sub> | ... | E <sub>4</sub> |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|
| Frecuencias observadas | o <sub>1</sub> | o <sub>2</sub> | o <sub>3</sub> | ... | o <sub>4</sub> |
| Frecuencias esperadas  | e <sub>1</sub> | e <sub>2</sub> | e <sub>3</sub> | ... | e <sub>4</sub> |

Fuente: Spiegel, Murray, Estadística, 1997

La medida de discrepancia entre las frecuencias observadas y las frecuencias esperadas se calcula mediante la ecuación 4.7.

$$\chi^2 = \frac{(o_1 - e_1)^2}{e_1} + \frac{(o_2 - e_2)^2}{e_2} + \frac{(o_3 - e_3)^2}{e_3} + \dots + \frac{(o_k - e_k)^2}{e_k} = \sum_{j=1}^k \frac{(o_j - e_j)^2}{e_j}$$

Ecuación 4.7

Los grados de libertad pueden estimarse mediante

$$v = (r - 1)(k - 1)$$

Ecuación 4.8

Donde,

r: número de filas.

k: número de columnas.

Para la aprobación o rechazo de la hipótesis se realiza una comparación de la medida de discrepancia  $\chi^2$  obtenido con el valor de tablas.

Se acepta la hipótesis nula si,  $\chi_{OBTENIDO}^2 \leq \chi_{TABLAS}^2$

Se rechaza la hipótesis nula si,  $\chi_{OBTENIDO}^2 > \chi_{TABLAS}^2$

Para ello formulamos la hipótesis nula y la hipótesis alternativa:

$H_0$  (hipótesis nula): La separación de la hemoglobina de sangre de pollos mediante centrifugación reducirá el volumen de desechos líquidos de sangre en el faenamiento en la Avícola San Agustín.

$H_a$  (hipótesis alternativa): La separación de la hemoglobina de sangre de pollos mediante centrifugación no reducirá el volumen de desechos líquidos de sangre en la Avícola San Agustín.

Los resultados esperados de la sangre entera separada, da 60% de plasma con 8% de sólidos y 40% de hemoglobina con 33% de sólidos.

#### 4.3.1.1 Resultados obtenidos

Los valores que se muestran en la tabla 4.20 están referidos al porcentaje esperado y los obtenidos de la hemoglobina mediante centrifugación continua.

Tabla 4.20 .- Resultados obtenidos en los ensayos de centrifugación

| Ensayos            | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Resultado obtenido | 43,08 | 43,75 | 43,08 | 43,75 | 46,15 | 45,31 | 42,86 | 46,15 | 45,31 | 46,97 |
| Resultado esperado | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    |

Fuente: El Autor

Aplicando la ecuación 4.7 encontramos la medida de discrepancia del Chi-cuadrado, igual a:

$$x^2 = 5,90$$

Los grados de libertad pueden obtenerse mediante la ecuación 4.8.

Como,  $r = 2$  y  $k = 10$

$v = 9$  Grados de libertad

El valor crítico  $x_{,95}^2$  para 9 grados de libertad es 16,919 mediante la tabla del anexo C 19.

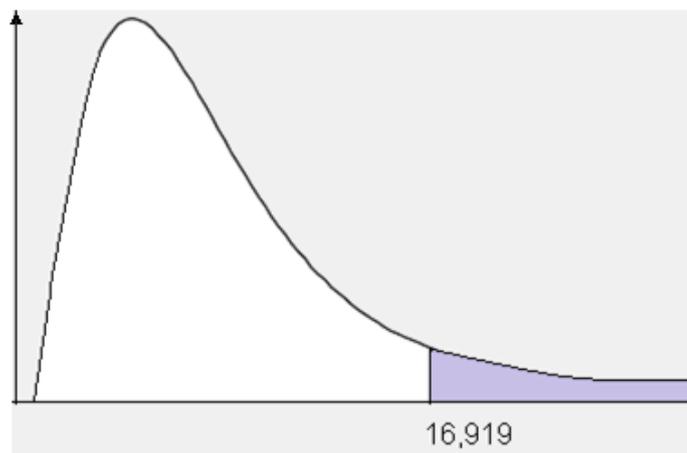


Figura 4.24 .- Curva de distribución de Chi-cuadrado

Fuente: El Autor

Como,  $x^2 < x_{,95}^2$ , entonces no se rechaza la hipótesis nula, por lo que los datos obtenidos aprueban la separación del plasma sanguíneo y la hemoglobina.

## **CAPÍTULO V**

### **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- El volumen de faenamiento diario de la sangre de pollos es de 32, 35 litros en promedio que se produce en la Avícola San Agustín.
- El factor que influyen en la separación de la hemoglobina de la sangre de pollos es la fuerza centrífuga que acelera la sedimentación de los componentes.
- Los procedimientos mecánicos de separación de la hemoglobina se pueden obtenerse mediante centrifugación discontinua y continua; y posteriormente el secado.
- El método adecuado para la separación de la hemoglobina de la sangre de pollos se basa en la adición de anticoagulante posterior a la recogida de sangre y la centrifugación continua para separar los componentes de la sangre.
- La separación de la hemoglobina de sangre de pollos si es posible mediante métodos mecánicos de centrifugación y secado.
- El porcentaje de la obtención de la hemoglobina depende de la velocidad de sedimentación con el que pueden obtenerse porcentajes de 60% de plasma y 40% de hemoglobina.
- Los mejores resultados de secado fueron los obtenidos a 3 horas de secado a la temperatura de 90°C, en la cual se puede reducir la humedad hasta un 20%.

- Para la recogida de sangre con fines de separación de plasma y hemoglobina es imprescindible la utilización de anticoagulante posterior al sangrado en bajas concentraciones alrededor de 0,7% citrato de sodio.
- La sangre es un subproducto que puede ser aprovechado mediante técnicas adecuadas como la centrifugación y secado para diversas aplicaciones.
- Por medio de la separación de la hemoglobina mediante centrifugación se puede obtenerse un 40% del volumen de la sangre la cual puede ser secada dependiendo de la aplicación final.
- La hemoglobina que se obtuvo mediante centrifugación y secado presento un contenido proteico de 34% con un 66% de humedad por lo que puede ser incorporada a la alimentación animal principalmente.
- Se puede reducir la contaminación del efluente por el aprovechamiento de la sangre para la extracción de hemoglobina muy útil para diferentes aplicaciones.
- A pesar de contar con métodos de recogida de sangre siempre existirá perdidas por goteo que incrementan la carga contaminante de los efluentes del matadero.
- La sangre es una sustancia altamente contaminante cuando se une a la corriente de aguas residuales.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Es importante realizar un balance de agua, para determinar los principales consumidores de agua para reducir la carga contaminante.
- Los subproductos del faenamiento de aves como la sangre y sus componentes (plasma y hemoglobina) son una fuente proteica que pueden ser empleados en ciertos productos de consumo animal para incrementar los valores nutricionales.

- El plasma también puede ser aprovechado por medio de la aplicación de técnicas conservación en frío o secado dependiendo de la aplicación.
- Se recomienda realizar una separación de efluentes contaminantes y no contaminantes, para la evacuación o posterior tratamiento.
- Para el manejo de grandes cantidades de sangre es necesario contar con una serie de equipos para facilitar el proceso de separación y secado de los componentes sanguíneos.
- Se propone realizar un dimensionamiento de un equipo necesario para el tratamiento de la sangre con fines de obtención de harina de sangre.

## **CAPÍTULO VI**

### **6 PROPUESTA**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

De acuerdo con estudios realizados respecto al tratamiento de subproductos de mataderos si es posible el aprovechamiento de la sangre con fines para la elaboración de harina de sangre, obtención de plasma sanguíneo y hemoglobina.

El equipo principal para la obtención de harina de sangre es el de secado con el cual se puede tener un tratamiento adecuado de los desechos líquidos de sangre que se genera en la Avícola San Agustín.

#### **6.2 ANTECEDENTES A LA PROPUESTA**

El aprovechamiento de los subproductos cárnicos ha constituido una fuente de ingresos para muchas empresas de otros países, como Argentina. Las aplicaciones de los subproductos tratados adecuadamente pueden emplearse para alimentación animal, humana y otros.

En países como Bolivia en un matadero mixto que faena bovinos, cerdos y eventualmente otros animales se genera grandes cantidades de sangre, estiércol, contenido rumial, grasas y otros. En su gran mayoría son desalojados a ríos y botaderos municipales sin previo tratamiento. En vista a esta problemática el Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS) elaboró una Guía técnica de producción más limpia para mataderos de bovinos. En la que se cuenta con información técnica para el tratamiento de la sangre, para la obtención harinas y subproductos obtenidos mediante centrifugación.

### **6.3 JUSTIFICACIÓN**

El tratamiento de la sangre en la actualidad a más de ser una fuente de ingresos constituye una solución para reducir la contaminación. La sangre dentro de las alternativas de aprovechamiento tenemos la separación del plasma y hemoglobina para diversas aplicaciones.

Los equipos provistos para este tipo de tratamientos son de grandes dimensiones ya que procesan altos volúmenes de sangre. Sin embargo el tratamiento de la sangre puede solucionarse con la obtención de harina de sangre, en la cual requiere principalmente de un equipo de secado, motivo por el cual se propone el dimensionamiento de un equipo de secado.

### **6.4 OBJETIVOS**

#### **6.4.1 Objetivo General**

- Dimensionar un equipo adecuado para el secado de la sangre generada en la avícola San Agustín.

#### **6.4.2 Objetivos Específicos**

- Seleccionar el equipo adecuado para el tratamiento de la sangre con fines de obtención de harina de sangre.
- Calcular los requerimientos energéticos para el secado de la sangre generada en la avícola San Agustín.
- Dimensionar de manera detallada cada uno de los componentes del equipo de secado.

### **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

El dimensionamiento del equipo de secado se ha realizado cuidadosamente tomando en cuenta los factores técnicos como consumos energéticos, y geometría de cada uno de los componentes necesarios por

cuanto es factible de realización ya que se cuenta con la información técnica necesaria.

## 6.6 FUNDAMENTACIÓN

### 6.6.1 Secado

La mayoría de los componentes del equipo de secado deben ser de acero inoxidable ya que tienen una alta resistencia a la corrosión debido a una capa pasiva que forma, que está formada por óxido de cromo y níquel, formada ante la presencia de medios oxidantes.

En la tabla 6.1 se muestran la resistencia a la corrosión del acero inoxidable.

Tabla 6.1 .- Resistencia a la corrosión

|        |             |       |       |
|--------|-------------|-------|-------|
| Agente | Temperatura | 304   | 316   |
| Sangre | 20°C        | buena | buena |

Fuente: Catalogo de aceros Ivan Bohman C.A.

Para realizar el dimensionamiento se tomó en cuenta el volumen de sangre máximo que se obtiene en el faenamiento de aves de la avícola San Agustín. En la tabla 6.2 se muestran el registro del número máximo de aves faenadas mediante un conversatorio con el propietario de dicha empresa con el cual puede estimarse el volumen obtenido por desangrado.

Tabla 6.2 .- Registro de faenamiento máximo de aves en la Avícola San Agustín

| Aves faenadas | Peso en vivo aproximado de las aves (Kg) | Sangre obtenida (litros) |
|---------------|--|--------------------------|
| 500           | 1135                                     | 64,70                    |
| 420           | 953,4                                    | 54,34                    |
| 480           | 1089,6                                   | 62,11                    |

Fuente: Avícola San Agustín

### 6.6.1.1 Equipos de secado

La sangre puede ser cocinada artesanalmente en recipientes abiertos como pailones donde se deshidrata a fuego lento y con agitación constante para evitar que se queme el producto.

Para grandes volúmenes de sangre se emplean equipos que son adecuados para evitar la reducción del contenido proteico.

#### a) Bandejas

Para pequeñas dimensiones se utilizan los secadores de bandejas en las cuales se seca la sangre, su configuración es simple y no es de grandes dimensiones ideal para trabajos de laboratorio. Para el tratamiento de grandes cantidades de sangre suelen utilizarse equipos de de secado continuo.

#### b) Rotatorios

En mataderos grandes son muy empleados los cookers que se utilizan como medio de calentamiento vapor, generado por una caldera. Este secador consta de dos cilindros concéntricos con una fuente de calor externa, en su interior está provisto de unas paletas impulsadas por un motoreductor.

En la tabla 6.3 se muestra la composición química de la harina de sangre obtenida en un digestor clásico.

Tabla 6.3 .- Composición química de la harina de sangre utilizando un digestor

| Características fisicoquímicas | Cantidad (%) |
|--------------------------------|--------------|
| Humedad                        | 8 - 12       |
| Proteína                       | 40           |
| Grasa                          | 25           |

Fuente: TKF Engineering & trading SA.

### c) Atomización

Para grandes instalaciones de tratamiento más sofisticadas se emplea el secado por atomización (spray) como la planta de la empresa Galaxi. Las temperaturas utilizadas en esta planta de tratamiento de sangre en sus dos componentes principales se muestran en la tabla 6.4.

Tabla 6.4 .- Temperaturas empleadas para el tratamiento de la sangre

| Producto                      | Temperaturas       |
|-------------------------------|--------------------|
| Sangre entera y/o hemoglobina | TE 350°C y TS 90°C |
| Plasma                        | TE 220°C y TS 80°C |

Fuente: <http://www.galaxi.com>

En la tabla 6.5 se muestran los rendimientos y calidades de la harina de sangre obtenida por otros sistemas de procesamiento incluido el secado por spray.

Tabla 6.5 .- Rendimientos y calidades de la harina de sangre por diversos sistemas

| Propiedades de la harina | Secador directo KIX | Secador de discos | Atomizador |
|--------------------------|---------------------|-------------------|------------|
| Proteínas, [%]           | 90 - 95             | 85 - 88           | 85 - 90    |
| Digestibilidad, [%]      | 90 - 95             | 60 - 75           | 85 - 90    |
| Sales minerales, [%]     | 1 - 2               | 1 - 2             | 4 - 5      |
| Densidad, [%]            | 0,5 - 0,6           | 0,8 - 0,9         | 0,5 - 0,6  |

Fuente: Madrid Antonio, Aprovechamiento de los subproductos cárnicos, 1999

### d) Tornillo sin fin

Otro sistema de secado continuo empleado es el decantador centrífugo en el cual se extrae hasta el 75% del agua presente, luego pasa por un secado final. El secado dura de 1 a 3 horas y el producto es de elevada calidad.

### 6.6.1.2 Ventajas y Desventajas

Las principales ventajas que ofrecen cada tipo de secador se muestran en la tabla 6.6.

Tabla 6.6 .- Ventajas y desventajas de secadores

| Secador          | Ventajas  | Desventajas  |
|------------------|---|--|
| Bandejas         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración geométrica simple</li> <li>• Proceso simple</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso discontinuo</li> <li>• Pequeñas dimensiones a escala de laboratorio.</li> </ul>   |
| Atomización      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso continuo y constantemente controlado</li> <li>• Homogeneidad del producto</li> <li>• Alto rendimiento del producto</li> <li>• Inmejorable presentación del producto</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos de maquinaria</li> <li>• Todas las impurezas quedan retenidas en el producto</li> <li>• Alto consumo de energía</li> <li>• Rendimiento térmico bajo</li> </ul> |
| Giratorio        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La temperatura de secado no implica largos tiempos de secado</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grandes dimensiones</li> <li>• Formación de incrustaciones en las paredes del secador</li> </ul>  |
| Tornillo sin fin | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de secado (1-3 horas)</li> <li>• Reduce la cantidad de vapor</li> <li>• Producto de elevada calidad</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos de maquinaria</li> <li>• Grandes dimensiones</li> </ul>  |

Fuente: El Autor

### 6.6.1.3 Selección del equipo de secado

Para la selección del equipo de secado se utilizó la matriz de ponderación mostrada en la tabla 6.7 en la cual se analiza criterios técnicos, de funcionamiento, rendimiento y la parte constituida de cada alternativa. Otro factor importante para evaluar fue la seguridad considerando la operabilidad funcional y segura. También es necesario incluir el factor económico para el costo de inversión del equipo.

Tabla 6.7 .- Selección de alternativa

| Criterio  | Parámetros         | Factor de ponderación (%) |
|-----------|--------------------|---------------------------|
| Técnico   | Funcionalidad      | 20                        |
|           | Rendimiento        | 15                        |
|           | Geometría          | 15                        |
| Seguridad | Operacionalidad    | 25                        |
| Económico | Costo de inversión | 25                        |
| Total     |                    | 100                       |

Fuente: El autor

Una vez conocidos los parámetros de ponderación y todas las características de cada una de las alternativas se realizó una calificación de cada una de ellas.

Tabla 6.8 .- Selección de alternativas

| Características    | Ponderación (%) | Alternativas        |             |                   |                  |
|--------------------|-----------------|---------------------|-------------|-------------------|------------------|
|                    |                 | Secador de Bandejas | Atomización | Secador rotatorio | Tornillo sin fin |
| Funcionalidad      | 20              | 10                  | 15          | 15                | 15               |
| Rendimiento        | 15              | 10                  | 10          | 10                | 10               |
| Geometría          | 15              | 15                  | 15          | 15                | 15               |
| Operacionalidad    | 25              | 10                  | 15          | 15                | 15               |
| Costo de inversión | 25              | 15                  | 5           | 15                | 10               |
| Total              | 100             | 60                  | 65          | 70                | 65               |

Fuente: El autor

Mediante la ponderación evaluada en la tabla 6.7 la mejor alternativa de secado es el secador rotatorio con un porcentaje de 70% con respecto a las demás.

### 6.6.2 Secador rotatorio

El secador está conformado de los elementos mostrados en la siguiente figura.

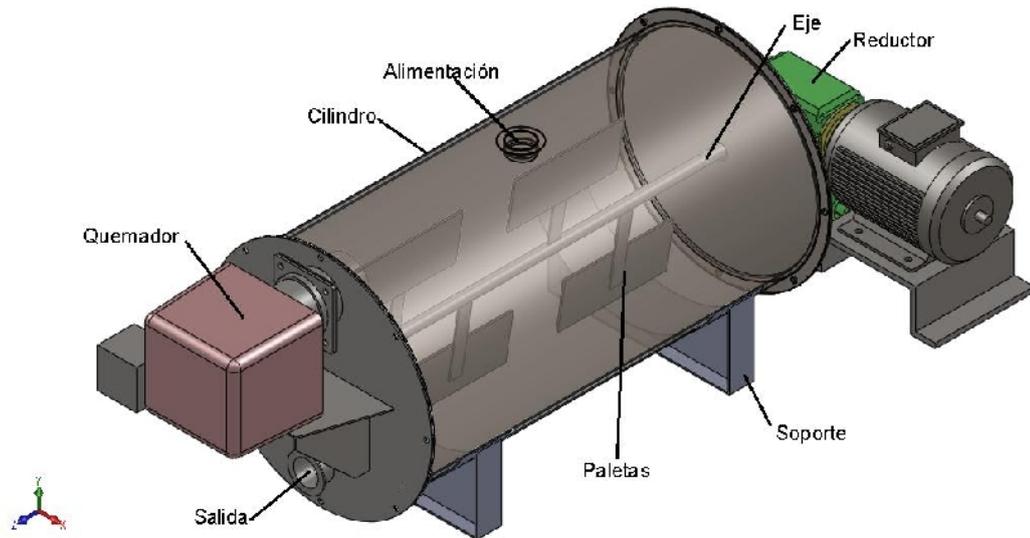


Figura 6.1 .- Partes del secador

Fuente: El autor

La capacidad de carga del secador se dimensionará para el volumen máximo de generación de sangre en la avícola San Agustín, que según datos registrados se pueden obtenerse 65 litros de sangre.

El volumen de aire necesario para el calentamiento puede calcularse considerando un 25% del volumen de la sangre a introducirse en el secador.

Entonces el volumen total será:

$$v_T = 65 \text{ litros} + 0,25 \times 65 \text{ litros}$$

$$v_T = 81,25 \text{ litros}$$

La longitud del cilindro se consideró dos veces el diámetro. Para el cálculo del diámetro del secador se partirá del volumen total del producto y aire a introducirse en el secador, mediante:

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4} \qquad \text{Ecuación 6.1}$$

Reemplazando el valor de  $L=2D$ , tenemos:

$$V = \frac{\pi D^3}{2}$$

Entonces el diámetro es:

$$D = \sqrt[3]{\frac{2V}{\pi}}$$

$$D = 0,373 \text{ m}$$

La longitud es igual a:

$$L = 0,746 \text{ m}$$

Entonces las dimensiones del digestor será de  $L= 0,8 \text{ m}$  con un diámetro  $D= 0,4 \text{ m}$

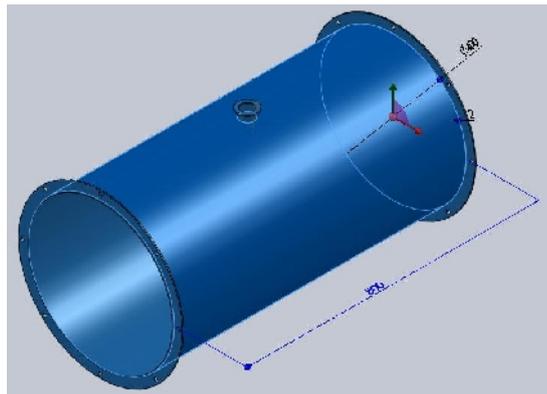


Figura 6.2 .- Cilindro

Fuente: El autor

La presión interna  $P_i$  del fluido ejercida en el interior del recipiente calculamos mediante:

$$P_i = \rho \cdot g \cdot h$$

Ecuación 6.2

Donde

$\rho$ : densidad de la sangre ( $1050 \text{ kg/m}^3$ ).

$g$ : gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

$h$ : altura del recipiente [m].

$$P_i = 4120,2 \text{ N/m}^2$$

Para el diseño de recipientes y sus componentes se emplea una presión mayor a la de operación, este requisito satisface utilizando una presión de 30 lb/pulg<sup>2</sup> (Eugene Magyesy, 1992).

Utilizando la teoría de recipientes de pared delgada el espesor del recipiente debe ser menor a un décimo de su radio.

$$t \leq \frac{1}{10} r$$

El esfuerzo tangencial  $\sigma_t$  calculamos mediante:

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D}{2t} \quad \text{Ecuación 6.3}$$

Donde,

t: espesor del material [m].

P: presión de diseño [N/m<sup>2</sup>].

El espesor mínimo requerido calculamos mediante la siguiente ecuación:

$$t = \frac{PD}{2S_y} \cdot n \quad \text{Ecuación 6.4}$$

Donde,

P: presión de diseño (207348,142 N/m<sup>2</sup>).

D: diámetro [m].

n: factor de seguridad.

S<sub>y</sub>: resistencia a la fluencia del material [N/m<sup>2</sup>].

La resistencia de fluencia del material tomamos de la tabla del anexo C 1 y considerando un factor de seguridad n = 2, entonces el espesor mínimo es:

$$t = 0,0003 \text{ m}$$

Según los cálculos realizados el recipiente debería tener un espesor de por lo menos 1 mm, sin embargo se utilizará un espesor de 2 mm por razones de seguridad.

### 6.6.2.1 Calor requerido

La cantidad calor necesario para secar la sangre se lo realiza mediante un balance energético:

$$Q_{\text{carga}} = Q_a + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{evap}}$$

Donde

$Q_a$ : calor necesario para calentar la sangre [KJ].

$Q_{\text{aire}}$ : calor necesario para la generación de aire caliente [KJ].

$Q_{\text{evap}}$ : calor de evaporización [KJ].

#### a) Calor que absorbe la sangre

Para calcular el calor que absorbe la sangre calculamos mediante la siguiente ecuación:

$$Q_a = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación 6.5}$$

Donde

$m$ : masa de la sangre que ingresa al secador [Kg].

$C_p$ : calor específico (3,514 KJ/Kg°C).

$\Delta T$ : cambio de temperatura [°C].

La masa que ingresa al secador corresponde al volumen de la sangre obtenida. El intervalo de temperatura va desde la temperatura de 20 a 90°C.

El volumen de sangre a secar es de 65 litros con una densidad de 1050 Kg/m<sup>3</sup> por consiguiente la masa que ingresa al secador es 68,25 Kg.

Reemplazando valores tenemos:

$$Q_a = 16788,135 \text{ KJ}$$

### b) Calor necesario para la generación de aire caliente

Para evaluar el calor necesario partimos de las condiciones ambientales a la entrada al equipo.

La presión de vapor  $P_v$  a la entrada:

$$P_v = HR \cdot P_{\text{sat}} @ 20^\circ\text{C}$$

Donde la humedad relativa **HR** es 60% y la presión de saturación a  $20^\circ\text{C}$  es 2,339 KPa, con la cual tenemos la presión de vapor:

$$P_v = 1,403 \text{ KPa}$$

La presión del aire seco  $P_a$

$$P_a = P_{\text{atm}} - P_v \quad \text{Ecuación 6.6}$$

Donde

$P_{\text{atm}}$ : es la presión atmosférica (76,2 KPa)

Entonces

$$P_a = 74,797 \text{ KPa}$$

La humedad específica  $\omega$  calculamos mediante la siguiente expresión:

$$\omega = 0,622 \frac{P_v}{P_a} \quad \text{Ecuación 6.7}$$

$$\omega = 0,0117 \text{ Kg } H_2O / \text{Kg aire seco}$$

La entalpia del aire se determina mediante la ecuación:

$$h_1 = C_p \cdot T + \omega \cdot h_g \quad \text{Ecuación 6.8}$$

En donde  $C_p$  es el calor específico del aire es 1,006 KJ/Kg·C y la entalpia de vapor de agua  $h_g$  es igual a 2537,4 KJ/Kg.

$$h_1 = 49,733 \text{ KJ/Kg}$$

Ahora calculamos el cambio de entalpia a la temperatura de 90°C.

La presión de vapor,

$$P_v = HR \cdot P_{\text{sat}} @90^\circ\text{C}$$

En la cual la presión de saturación  $P_{\text{sat}} @90^\circ\text{C}$  es igual a 70,183 KPa y la humedad relativa HR es 50%.

$$P_v = 35,092 \text{ KPa}$$

Entonces la presión de aire seco es igual a:

$$P_a = 41,108 \text{ KPa}$$

Y la humedad especifica

$$\omega = 0,531 \text{ Kg } H_2O / \text{Kg aire seco}$$

Reemplazando valores tenemos la entalpia en el segundo estado

$$h_2 = 1502,667 \text{ KJ/Kg}$$

El calor necesario para la generación de aire caliente calculamos mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{aire}} = \rho \cdot v \cdot (h_2 - h_1) \quad \text{Ecuación 6.9}$$

En donde las propiedades del aire se evalúan a la temperatura promedio:

$$T_m = \frac{35^\circ\text{C} + 20^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_m = 27,5^\circ\text{C}$$

La densidad a la temperatura promedio es 1,174 Kg/m<sup>3</sup> y el volumen de aire dentro del secador es un 25% del volumen de la sangre 16,25 litros, con lo cual tenemos:

$$Q_{\text{aire}} = 27,717 \text{ KJ}$$

### c) Calor de vaporización

La energía necesaria que debe suministrarse para el secado se puede calcular mediante la ecuación:

$$Q_{\text{evap}} = Q_s + Q_L \quad \text{Ecuación 6.10}$$

En donde  $Q_s$  es el calor sensible y  $Q_L$  el calor latente

$$Q_s = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación 6.11}$$

Mediante los ensayos realizados se puede eliminarse un 60% de humedad con respecto al peso en húmedo de la sangre con lo cual necesitamos remover 40,95 Kg.

Reemplazando valores se obtiene:

$$Q_s = 11999,169 \text{ KJ}$$

El calor latente  $Q_L$  se calcula mediante:

$$Q_L = m \cdot \lambda_s \quad \text{Ecuación 6.12}$$

En donde  $\lambda_s$  es el calor latente de vaporización a 90°C es igual a 2282,5 KJ/Kg.

$$Q_L = 93468,375 \text{ KJ}$$

Entonces el calor de evaporización será:

$$Q_{\text{evap}} = 105467,544 \text{ KJ}$$

Una vez calculado todas las cargas necesarias el calor requerido será igual a:

$$Q_{\text{carga}} = 16788,135 \text{ KJ} + 27,717 \text{ KJ} + 105467,544 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{carga}} = 122,283 \text{ MJ}$$

Como el tiempo estimado para el secado es de 3 horas podemos determinar la potencia de carga.

$$Q_{\text{carga}} = 11,322 \text{ KW}$$

### 6.6.2.2 Pérdidas de calor

Las pérdidas de calor más evidentes son las que se producen en el cilindro ya que está expuesto a la temperatura ambiente.

La pérdida de calor en el cilindro calculamos mediante:

$$Q_{\text{perdido}} = \frac{T_i - T_0}{\Sigma R_{\text{termica}}} \quad \text{Ecuación 6.13}$$

En donde la resistencia térmica calculamos mediante

$$\Sigma R_{\text{termica}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

En la figura 6.3 puede observarse el circuito térmico de análisis en el cual tenemos dos placas y el aislante.

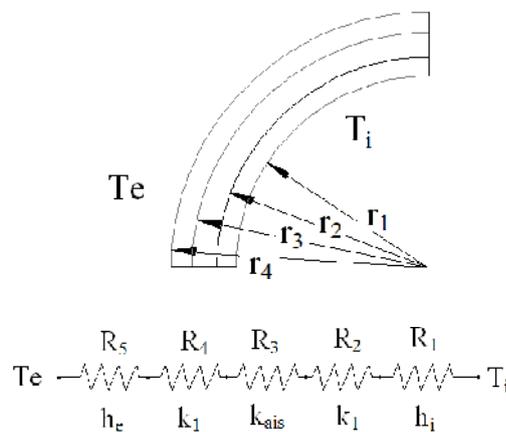


Figura 6.3 .- Circuito térmico del secador

Fuente: El autor

Entonces la resistencia térmica total puede escribirse como:

$$R_{\text{termica}} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot \pi \cdot k_1 \cdot l} + \frac{\ln \frac{r_{\text{ais}}}{r_2}}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{ais}} \cdot l} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2 \cdot \pi \cdot k_1 \cdot l} + \frac{1}{h_e A_e}$$

En donde,

$h_1$ : es el coeficiente de convección interno [ $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ].

$k_1$ : es el coeficiente de conducción del material del cilindro [ $W/m \text{ } ^\circ C$ ].

$k_{asi}$ : es el coeficiente de conducción del material aislante [ $W/m \text{ } ^\circ C$ ].

$A_1$ : área de convección interna del cilindro [ $m^2$ ].

$L$ : longitud del cilindro [ $m$ ].

$h_e$ : coeficiente de convección externo [ $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ].

$A_e$ : área de convección externa del cilindro [ $m^2$ ].

### a) Coeficiente de transferencia de calor externo

Coeficiente de transferencia de calor por convección externo:

$$h_e = \frac{N_u \cdot K_a}{D} \quad \text{Ecuación 6.14}$$

Donde,

$N_u$ : número de Nusselt.

$K_a$ : conductividad térmica del aire [ $W/m \text{ } ^\circ K$ ].

$D$ : diámetro externo del digestor [ $m$ ].

El número de Nusselt está en función del número de Rayleigh que se calcula mediante la ecuación:

$$R_a = \frac{g\beta D^3 (T_e - T_d)}{\nu \cdot \alpha} \quad \text{Ecuación 6.15}$$

Donde,

$g$ : aceleración de gravedad [ $9,81 \text{ m/s}^2$ ].

$\beta$ : coeficiente expansión volumétrica [ $1/K$ ].

$\nu$ : viscosidad cinemática [ $m^2/s$ ].

$T_e$ : temperatura exterior [ $K$ ].

$T_d$ : temperatura exterior del digestor [ $K$ ].

Para las propiedades del aire tomamos una media entre la temperatura exterior del digestor y la temperatura del medio.

$$T_m = \frac{35^\circ\text{C} + 20^\circ\text{C}}{2} = 27,5^\circ\text{C}$$

Las propiedades del aire a la temperatura de 27,5°C son:

$$\nu = 1,585 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$$

$$k = 25,695 \times 10^{-3} \text{W/mK}$$

$$Pr = 0,7289$$

El coeficiente de expansión volumétrica

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

Ecuación 6.16

$$\beta = 0,0033 \text{ 1/K}$$

El número de Rayleigh tenemos entonces:

$$Ra_D = 9,02 \times 10^8$$

Churchill y Chu recomienda una correlación para un margen amplio de número de Rayleigh (Churchill, S. W., y H. H. Chu, 1975):

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 112,518$$

El coeficiente de convección exterior es igual a:

$$h_e = 7,227 \text{W/m}^2\text{K}$$

### **b) Coeficiente de calor interno**

Para calcular el coeficiente de convección interno, primero determinamos el número de Reynolds.

$$N_R = \frac{V \cdot x}{\nu} \quad \text{Ecuación 6.17}$$

En donde V es la velocidad igual a 1,5 m/s y x es la distancia de 0,8 m.

$$N_R = 75,709 \times 10^3$$

Ahora calculamos el número de nusselt, para flujo turbulento mediante la siguiente ecuación:

$$Nu = 0,0296 N_R^{4/5} \cdot Pr^{1/3} \quad \text{Ecuación 6.18}$$

Como el número de nusselt es igual a:

$$Nu = hc \cdot Lc/k$$

Entonces

$$hc \cdot Lc/k = 0,0296 N_R^{4/5} \cdot Pr^{1/3}$$

Despejando el coeficiente de convección  $h_c$  tenemos:

$$h_c = \frac{0,0296 N_R^{4/5} \cdot Pr^{1/3} \cdot k}{Lc}$$

La longitud característica Lc es 0,4 m, entonces el coeficiente interno es igual a:

$$h_c = 13,697 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

### **c) Espesor del aislante**

Para evitar la pérdida de calor se utilizará aislante entre dos placas de acero de 2 mm, considerando que la temperatura exterior del recipiente no debe ser mayor a 35°C.

Para evaluar el espesor del aislante consideramos el calor total mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{T_i - T_1}{R_1} = \frac{T_1 - T_2}{R_2} = \frac{T_2 - T_3}{R_3} = \frac{T_3 - T_e}{R_4} \quad \text{Ecuación 6.19}$$

Resultando

$$\frac{T_i - T_3}{\frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot \pi \cdot k_1 \cdot l} + \frac{\ln \frac{r_{\text{ais}}}{r_2}}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{ais}} \cdot l} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2 \cdot \pi \cdot k_1 \cdot l}} = \frac{T_3 - T_e}{\frac{1}{h_e \cdot A_e}}$$

Ahora calculamos el área interna de convección mediante:

$$A_i = 2\pi \cdot r_1 \cdot l = 0,995 \text{ m}^2$$

El área externa tenemos:

$$A_e = 2\pi \cdot (e + 0,202 \text{ m}) \cdot (0,8 \text{ m}) = 5,026 \text{ m} \cdot (e + 0,202 \text{ m})$$

Para el cálculo del espesor de aislante se utilizará lana de vidrio cuyo coeficiente de conducción es 0,035 W/m °C.

Reemplazando valores tenemos:

$$\frac{90^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}}{\frac{1}{(13,697)(0,995)} + \frac{\ln \frac{0,2}{0,198}}{2 \cdot \pi \cdot (16,6) \cdot (0,8)} + \frac{\ln \frac{(e+0,2)}{0,2}}{2 \cdot \pi \cdot (0,035) \cdot (0,8)} + \frac{\ln \frac{(e+0,204)}{(e+0,202)}}{2 \cdot \pi \cdot (16,6) \cdot (0,8)}} = \frac{35^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{\frac{1}{(5,026) \cdot (e+0,202)}}$$

Resolviendo tenemos

$$e = 0,0136 \text{ m}$$

Según los cálculos térmicos realizados el espesor del aislante debería ser de 13,6 mm y por lo tanto se empleará un espesor de aislante de 14 mm de espesor.

Ahora podemos calcular el calor perdido por el digestor mediante la siguiente expresión:

$$Q = UA_e(T_e - T_a) \quad \text{Ecuación 6.20}$$

En la cual  $T_e$  es la temperatura exterior que no debe exceder de 35°C y  $T_a$  es la temperatura ambiente.

El coeficiente **U** es igual a al coeficiente externo de convección calculado.

El área externa se determina mediante:

$$A_e = 2\pi(r + e)L$$

$$A_e = 1,08 \text{ m}^2$$

Entonces el calor perdido por el digestor es:

$$Q = (7,227 \text{ W/m}^2\text{K}) \cdot (1,08 \text{ m}^2) \cdot (35 - 20 \text{ C})$$

$$Q = 0,117 \text{ KW}$$

El calor total es igual a la suma del calor requerido más el calor perdido por el digestor con lo cual tenemos:

$$Q_T = 11,322 \text{ KW} + 0,117 \text{ KW} = 11,44 \text{ KW}$$

Mediante los cálculos realizados la carga térmica necesaria es de 11,44 KW con lo cual se seleccionará un equipo de combustión adecuado, considerando la eficiencia del mismo.

### 6.6.2.3 Selección del quemador

Para la selección del quemador se consideró la carga térmica neta del digestor para el secado y las pérdidas estimadas por eficiencia mecánica del quemador.

$$\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{combustion}} \cdot \eta_{\text{mecanica}} \cdot \eta_{\text{perdidas}}$$

$$\eta_{\text{global}} = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 0,448$$

Entonces la potencia calorífica total calculamos mediante:

$$Q_{\text{Total}} = \frac{Q}{\eta_{\text{global}}}$$

$$Q_{\text{Total}} = 23,442 \text{ KW}$$

Con la potencia de total seleccionamos el tipo de quemador mediante la figura 6.4.

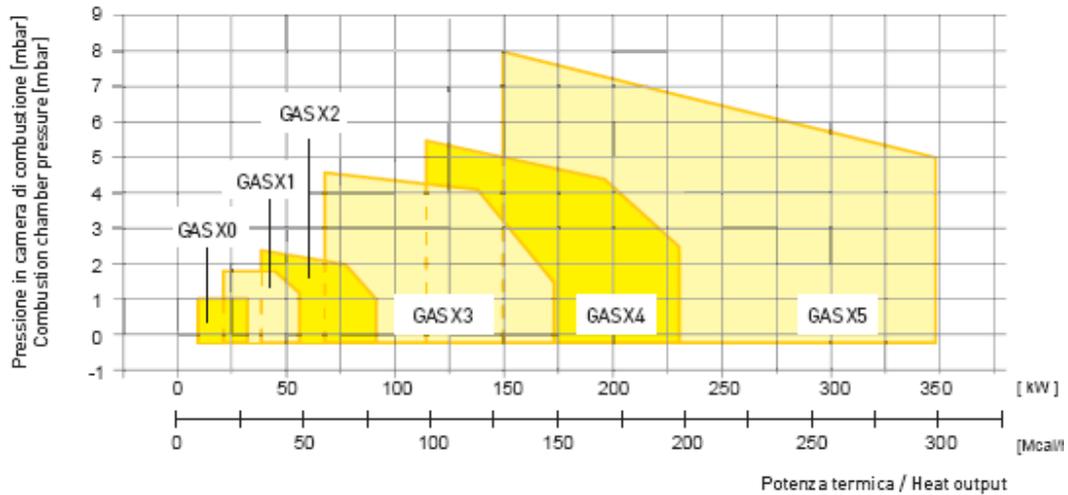


Figura 6.4 .- Catálogo de quemadores

Fuente:www.fbr.it

Como se requiere una potencia de 23,442 KW para el digestor se selecciona el quemador con las siguientes características:

Quemador F.B.R: SGAS X0.

Potencia mínima 11,5 KW.

Potencia máxima 34 KW.

#### a) Flujo de aire requerido

El flujo de aire para el calentamiento del secador rotatorio deberá tener una temperatura menor de 100°C para evitar pérdidas del contenido proteico de la sangre, el mismo se calcula mediante:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \quad \text{Ecuación 6.21}$$

En donde **m** es la masa que entra al sistema y **t** es el tiempo.

La masa de aire necesaria para el proceso es igual a:

$$m = v \cdot \rho \quad \text{Ecuación 6.22}$$

Donde,

v: volumen de aire requerido (0,016 m<sup>3</sup>).

ρ: densidad del aire a la temperatura de 90°C [kg/m<sup>3</sup>].

Reemplazando valores se tiene,

$$m = 0,0157 \text{ Kg}$$

La velocidad de circulación del flujo de aire no debe ser muy alta se encuentra alrededor de 2,5 m/s para materiales gruesos y para materiales finos debe adoptarse una velocidad menor.

El tiempo podemos determinar mediante la distancia del secador rotatorio de 0,8 m y la velocidad del flujo de aire de 1,5 m/s.

$$t = \frac{d}{v} \quad \text{Ecuación 6.23}$$

Reemplazando valores tenemos:

$$t = 0,53 \text{ s}$$

El flujo volumétrico entonces es:

$$\dot{m} = 0,0297 \text{ kg/s}$$

#### **6.6.2.4 Diseño de transmisión**

##### **a) Velocidad de rotación**

Los equipos grandes giran a 3 a 4 rev/min y los más pequeños giran a mayor velocidad incrementando el coeficiente. La velocidad de rotación para el secador será de 40 RPM para tener un secado uniforme.

##### **b) Potencia de agitación**

Para el cálculo de agitadores se utiliza el número de potencia calculada por: (J.R. Hermida, 2000)

$$Np = \frac{P}{\omega^3 \cdot h \cdot D^4 \cdot \rho} \quad \text{Ecuación 6.24}$$

Despejando la potencia tenemos:

$$P = Np \cdot \omega^3 \cdot D^5 \cdot \rho \quad \text{Ecuación 6.25}$$

Donde

P: potencia [W].

$\omega$ : velocidad (40 RPM).

D: longitud de la pala agitadora (0,2 m).

$\rho$ : densidad de la sangre (1050 Kg/m<sup>3</sup>).

El número de potencia está en función del número de Reynolds el cual calculamos mediante la ecuación:

$$Re = \frac{N \cdot \rho \cdot d^2}{\mu} \quad \text{Ecuación 6.26}$$

Donde

N: número de revoluciones (40 RPM).

$\mu$ : viscosidad dinámica (4,22×10<sup>-3</sup> Ns/m<sup>2</sup>).

Reemplazando valores tenemos:

$$Re = 50,422 \times 10^{-3}$$

Con el número de Reynolds y un agitador tipo plana según la gráfica del anexo D 4 tenemos un número de potencia igual a  $Np = 6$ .

Reemplazando valores tenemos:

$$P = 238,834 \text{ W}$$

La potencia necesaria se incluirá el rendimiento eléctrico del motor y el rendimiento del reductor de velocidad.

$$\mathcal{P} = \frac{P}{\eta_t}$$

Donde

$$\eta_t = 0,8 \cdot 0,9$$

$$\eta_t = 0,72$$

$$\mathcal{P} = 331,714 \text{ W} = 0,44 \text{ hp}$$

Entonces seleccionamos un motor de catálogos con las siguientes características:

Marca Siemens monofásico de 4 polos

Potencia: 0,5 hp.

Velocidad 1500 RPM (50 Hz).

### c) Elementos de transmisión de potencia

Primero determinamos la relación de transmisión necesaria para el funcionamiento del secador.

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{Ecuación 6.27}$$

$$i = \frac{1500 \text{ RPM}}{40 \text{ RPM}} = 37,5$$

Como la relación de transmisión es muy alta se realizara la reducción de velocidad por etapas mediante reductor y poleas.

El reductor que se necesita debe ser por lo menos una relación de transmisión de 15, con ello seleccionamos un reductor mostrado en el anexo C 10 con las siguientes características:

$$N1 = 1500 \text{ RPM}$$

$$N2 = 100 \text{ RPM}$$

$$i = 15$$

Con esta velocidad calculamos una nueva relación de transmisión por medio de bandas trapeciales.

$$i = \frac{100 \text{ RPM}}{40 \text{ RPM}} = 2,5$$

La potencia de diseño calculamos mediante la ecuación:

$$H_d = H_o \cdot K_s \cdot n_d \quad \text{Ecuación 6.28}$$

Donde,

$H_o$ : potencia nominal.

$K_s$ : factor de servicio (1,25).

$n_d$ : factor de diseño (1,1).

Reemplazando tenemos:

$$H_d = 0,625 \text{ hp}$$

Con la velocidad y la potencia seleccionamos una banda de sección B según la figura del anexo D1.

Con el tipo de sección B seleccionamos el diámetro menor de la polea motriz según el anexo C 3.

Entonces el diámetro de la polea motriz es de 4,2 in (106,68 mm)

$$D = i \cdot d$$

$$D = 266,7 \text{ mm} = 10,5 \text{ in}$$

La velocidad periférica de la banda calculamos por:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{12} \quad \text{Ecuación 6.29}$$

Reemplazando tenemos:

$$V = 109,9 \text{ rev/pie}$$

La distancia entre centros debe estar comprendida entre:

$$D \leq C \leq 3(D + d)$$

$$10,5 \text{ in} \leq 12 \text{ in} \leq 44,1 \text{ in}$$

Longitud de paso de la banda

$$L_p = 2C + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)}{4C} \quad \text{Ecuación 6.30}$$
$$L_p = 47,210 \text{ in}$$

Potencia permitida por la banda

$$H_a = K_1 \cdot K_2 \cdot H_{\text{tab}} \quad \text{Ecuación 6.31}$$

El factor de corrección del ángulo determinamos mediante la siguiente relación y la tabla mostrada en el anexo C 4.

$$\frac{(D - d)}{C} = 0,525$$

$$K_1 = 0,93$$

El factor de corrección de longitud de la banda determinamos mediante la tabla del anexo C 4.

$$K_2 = 0,9$$

Y la potencia nominal de la banda establecemos mediante el anexo C 3.

$$H_{\text{tab}} = 1,07$$

Reemplazando valores tenemos:

$$H_a = 1,322$$

Número de bandas

$$N_b \geq \frac{H_d}{H_a} \quad \text{Ecuación 6.32}$$

$$N_b \geq 0,69$$

Entonces se utilizará una banda de transmisión.

La tensión centrífuga calculamos por:

$$F_c = K_c \left( \frac{V}{1000} \right)^2 \quad \text{Ecuación 6.33}$$

$$F_c = 0,012 \text{ lb} = 0,052 \text{ N}$$

$$\Delta F = \frac{63025 \cdot H_d}{n \cdot \left( \frac{d}{2} \right)}$$

$$\Delta F = 268,784 \text{ lb}$$

El ángulo de contacto determinamos mediante:

$$\varphi = \pi - 2 \sin^{-1} \left( \frac{D - d}{2C} \right) \quad \text{Ecuación 6.34}$$

$$\varphi = 2,566$$

La tensión mayor es igual a:

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F \cdot e^{f\varphi}}{e^{f\varphi} - 1} \quad \text{Ecuación 6.35}$$

$$F_1 = 367,453 \text{ lb} = 1638,504 \text{ N}$$

La tensión menor es:

$$F_2 = F_1 - \Delta F \quad \text{Ecuación 6.36}$$

$$F_2 = 98,668 \text{ lb} = 439,974 \text{ N}$$

Y la tensión total es:

$$F_T = 2(F_1 + F_2) \quad \text{Ecuación 6.37}$$

$$F_T = 932,243 \text{ lb} = 4,157 \text{ KN}$$

La tensión inicial calculamos mediante:

$$F_i = \frac{F_1 + F_2}{2} - F_c$$

Ecuación 6.38

$$F_i = 233,049 \text{ lb} = 599,213 \text{ N}$$

### 6.6.2.5 Diseño de paletas

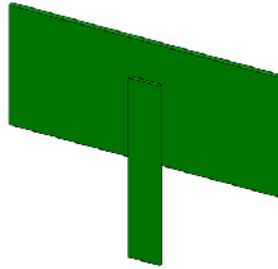


Figura 6.5 .- Paletas

Fuente: El autor

Para el diseño de las paletas se ha considerado un ancho de 200 mm y un alto de 100 mm, para calcular el espesor consideramos la fuerza que se genera cuando mueven el fluido, mediante la siguiente expresión (Streeter & Wylie, 2000).

$$F_x = \rho \cdot A_0 (V_0 - u)^2 (1 - \cos \theta)$$

Ecuación 6.39

$$F_y = \rho \cdot A_0 (V_0 - u)^2 \sin \theta$$

Ecuación 6.40

Donde

$F_x$ : fuerza generada en el eje x [N].

$F_y$ : fuerza generada en el eje y [N].

$\rho$ : densidad del fluido [ $\text{kg/m}^3$ ].

$A_0$ : área de la paleta [ $\text{m}^2$ ].

$V_0$ : velocidad inicial del fluido [m/s].

$u$ : velocidad tangencial de la paleta [m/s].

$\theta$ : ángulo de curvatura.

Considerando las posiciones más críticas del movimiento en posición horizontal u vertical, cuando se encuentra en posición vertical el ángulo de curvatura de la paleta equivale a  $90^\circ$  con lo cual tenemos:

$$F_x = F_y = A_0(V_0 - u)^2 \quad \text{Ecuación 6.41}$$

Para determinar la fuerza resultante aplicamos el teorema de Pitágoras tenemos:

$$F = \sqrt{2}F_x \quad \text{Ecuación 6.42}$$

$$F = \sqrt{2}\rho A_0(V_0 - u)^2$$

Cuando la paleta se encuentra en posición horizontal con un ángulo de  $180^\circ$  tenemos la fuerza igual a:

$$F_x = 2\rho A_0(V_0 - u)^2$$

$$F_y = 0$$

Igualmente aplicando Pitágoras tenemos la fuerza resultante:

$$F = 2\rho A_0(V_0 - u)^2 \quad \text{Ecuación 6.43}$$

El área transversal de la paleta

$$A_0 = b \cdot h$$

$$A_0 = 0,02 \text{ m}^2$$

La velocidad tangencial de la paleta calculamos mediante:

$$u = r \cdot \omega \quad \text{Ecuación 6.44}$$

En donde  $r$  es el radio de la paleta (0,182 m) y  $\omega$  corresponde a la velocidad de rotación con la cual calculamos la velocidad tangencial.

$$u = 0,763 \text{ m/s}$$

Entonces la fuerza máxima generada calculamos mediante la ecuación:

$$F = \sqrt{2}\rho A_0(V_0 - u)^2$$

$$F = 24,385 \text{ N}$$

Ahora para calcular el espesor mínimo de la paleta consideramos que la paleta se encuentra empotrada al eje con lo cual facilita el diseño.

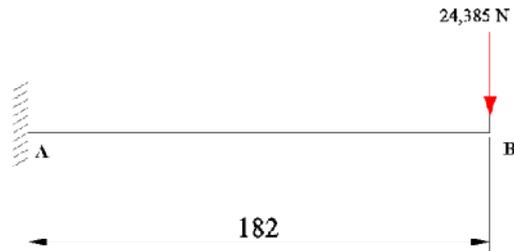


Figura 6.6 .- Diagrama de cuerpo libre de la paleta

Fuente: El autor

Ahora calculamos las reacciones en A

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A = 24,385 \text{ N}$$

El momento calculamos mediante

$$\sum M = 0$$

$$M = F * d$$

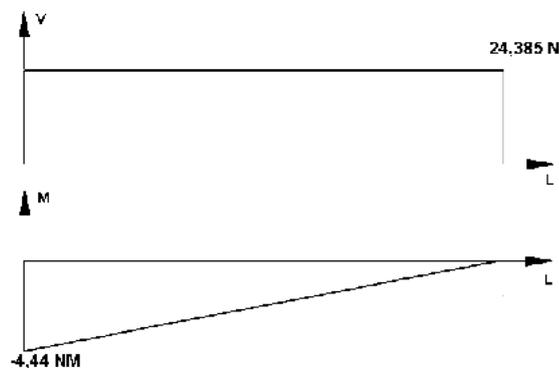


Figura 6.7 .- Diagrama de fuerza cortante y momento flector

Fuente: El autor

El esfuerzo por flexión se calcula por:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Ecuación 6.45

Donde

M: momento flector máximo [N/m].

c: distancia máxima al eje neutro [m].

I: momento de inercia [m<sup>4</sup>].

La distancia al eje neutro es igual a:

$$c = e/2$$

El momento de inercia es:

$$I = \frac{1}{12} b \cdot h^3$$

Entonces el espesor será:

$$e = \sqrt{\frac{6M}{b \cdot \sigma}}$$

Aplicando un factor de seguridad de 2, calculamos el espesor de la paleta.

$$e = \sqrt{\frac{6M}{bS_y/2}}$$

$$e = 0,00187 \text{ m}$$

Entonces espesor en el extremo de la paleta será de 2 mm.

### 6.6.2.6 Diseño del eje

#### a) Momento torsor

Para calcular el momento torsor necesario para girar la paleta consideramos la fuerza de 24,385 N calculada por la distancia al centro de rotación.

$$T_p = F \cdot d$$

El momento entonces será:

$$T_p = 4,389 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Y para el momento torsor producido por la banda de transmisión empleamos la siguiente expresión:

$$T_B = R(F_1 - F_2) \quad \text{Ecuación 6.46}$$

En la que

R: es el radio de la polea mayor (0,134 m)

F<sub>1</sub>: es la tensión mayor (1638,504 N).

F<sub>2</sub>: es la tensión menor (439,974 N).

Reemplazando tenemos:

$$T_B = 159,824 \text{ Nm}$$

El momento torsor total calculamos mediante la suma algebraica de todos los momentos producidos en el eje como se muestra en la figura.

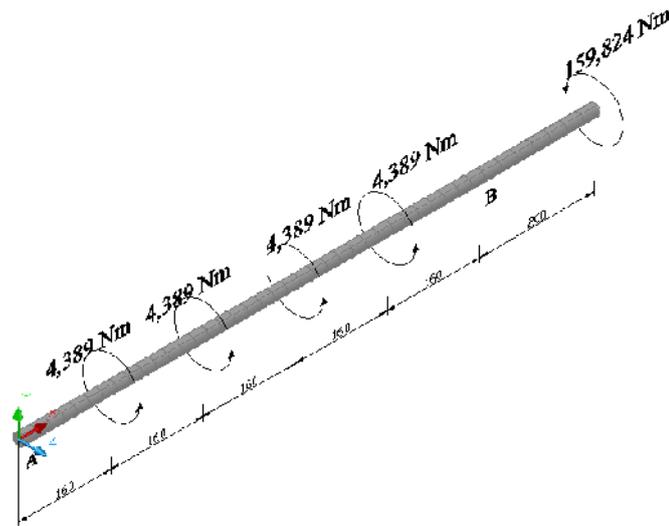


Figura 6.8 .- Momentos torsores producidos en el eje

Fuente: El autor

Entonces en momento torsor total es de 177,38 Nm

**b) Momento flector**

Para calcular el momento flector máximo consideramos las cargas ejercidas por las paletas y la carga generada por la tensión de la banda de transmisión.

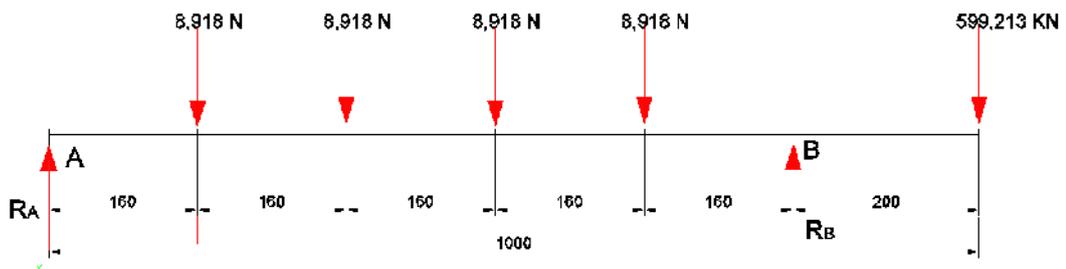


Figura 6.9 .- Diagrama de cuerpo libre

Fuente: El autor

Las reacciones en los puntos A y B determinamos mediante:

$$\uparrow \Sigma F_v = 0$$

$$R_A + R_B = 8,91 \text{ N} + 8,91 \text{ N} + 8,91 \text{ N} + 8,91 \text{ N} + 599,213 \text{ N}$$

$$A_y = 634,885 \text{ N} - B_y$$

$$\sum M_A = 0$$

$$(0,8 \text{ m})B_y = 14,268 \text{ Nm} + 599,213 \text{ Nm}$$

$$B_y = 766,85 \text{ N}$$

$$A_y = -131,97 \text{ N}$$

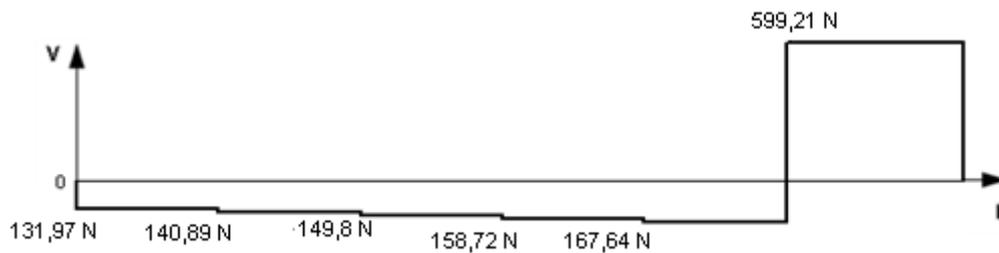


Figura 6.10 .- Diagrama de fuerza cortante

Fuente: El autor

Ahora calculamos el momento máximo mediante el diagrama de momento flector máximo.

$$M_1 = (0,16 \text{ m})(-131,97 \text{ N}) = -21,11 \text{ Nm}$$

$$M_2 = M_1 + (0,16 \text{ m})(-140,89 \text{ N}) = -43,66 \text{ Nm}$$

$$M_3 = M_2 + (0,16 \text{ m})(-149,8 \text{ N}) = -67,62 \text{ Nm}$$

$$M_4 = M_3 + (0,16 \text{ m})(-158,72 \text{ N}) = -93,02 \text{ Nm}$$

$$M_5 = M_4 + (0,16 \text{ m})(-167,64 \text{ N}) = -119,84 \text{ Nm}$$

$$M_6 = M_5 + (0,2 \text{ m})(599,21 \text{ N}) = 0$$

Entonces el momento máximo generado es de 119,84 Nm.

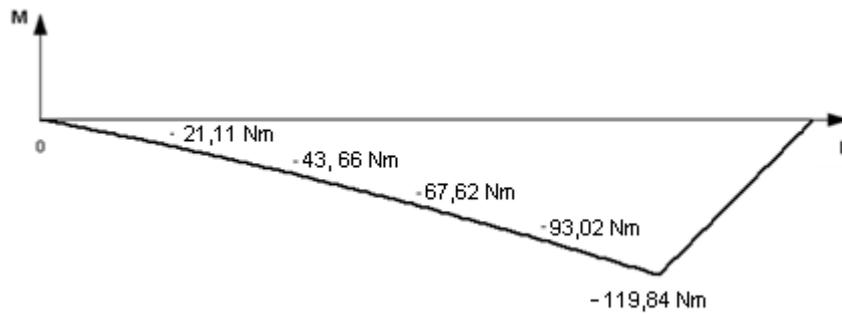


Figura 6.11 .- Diagrama de fuerza cortante y momento flector

Fuente: El autor

El diámetro mínimo a partir de la teoría del esfuerzo cortante máximo (Shigley, 2008):

$$d = \left[ \frac{32 n}{\pi S_y} (M^2 + T^2)^{1/2} \right]^{1/3} \quad \text{Ecuación 6.47}$$

Donde

n: factor de seguridad.

$S_y$ : resistencia a la fluencia [Pa].

T: momento torsor [N·m].

M: momento flector [N·m].

Reemplazando tenemos:

$$d = \left[ \frac{32 (2)}{\pi \cdot 276000 \text{ KPa}} ((119,84 \text{ Nm})^2 + (177,38 \text{ Nm})^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = 0,025 \text{ m}$$

Considerando cargas dinámicas, el límite de fatiga del elemento  $S_e$  calculamos mediante la ecuación:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot \hat{S}_e \quad \text{Ecuación 6.48}$$

Donde

$\hat{S}_e$ : límite de resistencia a fatiga.

$k_a$ : factor de superficie.

$k_b$ : factor de tamaño.

$k_c$ : factor de modificación de carga.

$k_d$ : factor de temperatura.

$k_e$ : factor de confiabilidad.

$k_f$ : factor de modificación de concentración de esfuerzos.

Factor de superficie  $K_a$

$$k_a = aS_{ut}^b \quad \text{Ecuación 6.49}$$

Mediante la tabla del anexo C 7, considerando un acabado superficial de maquinado, tenemos:

$$k_a = (4,45)(568 \text{ MPa})^{-0,265}$$

$$k_a = 0,828$$

El factor de tamaño  $k_b$

$$k_b = 1,24d^{-0,107} \quad 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$$

$$k_b = 1,24(25,4 \text{ mm})^{-0,107} = 0,877$$

El factor de carga  $k_c$

$$k_c = 1$$

El factor de temperatura  $k_d$

$$k_d = 1$$

Factor de confiabilidad  $k_e$  y confiabilidad de 50%

$$k_e = 1$$

El factor por concentración de esfuerzos  $k_f$  utilizamos la ecuación modificada de Neuber tomada del libro de Shigley.

$$k_f = \frac{k_t}{1 + \frac{2}{\sqrt{r}} \cdot \frac{k_t - 1}{k_t} \cdot \sqrt{a}}$$

Donde  $\sqrt{a}$  es una función de la resistencia última a la tracción y su relación tomamos de la tabla 6-15 del mismo libro.

$$\sqrt{a} = \frac{4}{S_{ut}/6,89}$$

$$a = 0,22$$

$K_t$  es un factor de concentración de esfuerzos el cual se puede calcular mediante las siguientes relaciones y la figura del anexo D 3.

$$\left. \begin{array}{l} \frac{D}{d} = \frac{25,4}{20} = 1,27 \\ \frac{r}{d} = \frac{2}{20} = 0,2 \end{array} \right\} k_t = 1,2$$

Reemplazando podemos encontrar el valor de  $K_f$ :

$$k_f = 1,08$$

El límite de resistencia a fatiga determinamos por:

$$\hat{S}_e = 0,5 S_{ut} \quad \text{Si} \quad S_{ut} < 200 \text{ Kpsi}$$

$$\hat{S}_e = 100 \text{ Kpsi} \quad \text{Si} \quad S_{ut} \geq 200 \text{ Kpsi}$$

$$\hat{S}_e = 0,5 (568 \text{ MPa})$$

$$\hat{S}_e = 284 \text{ MPa}$$

Entonces

$$S_e = (0,828) \cdot (0,877) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (1,08) \cdot (284 \text{ MPa})$$

$$S_e = 222,726 \text{ MPa}$$

El diámetro mínimo considerando la teoría de Soderberg, tenemos:

$$d = \left[ \frac{32 n}{\pi} \left( \left( \frac{T}{S_y} \right)^2 + \left( \frac{M}{S_e} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 6.51}$$

Considerando un factor de seguridad de 2 el diámetro mínimo calculado es:

$$d = 0,0253 \text{ m}$$

Mediante los cálculos realizado el diámetro mínimo debería ser de 25 mm considerando cargas dinámicas por consiguiente se utilizara un diámetro de 25,4 mm (1 pulgada).

### 6.6.2.7 Soportes del cilindro

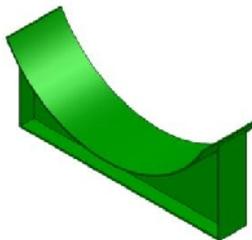


Figura 6.12 .- Silleta soporte

Fuente: El autor

El digestor tiene una estructura cilíndrica horizontal sometida a presión interna montada sobre dos silletas las cuales soportan todas las cargas del digestor.

Tabla 6.9 .- Cargas consideradas para los sosportes

| Elemento, carga | Masa (Kg) |
|-----------------|-----------|
| Sangre          | 68,25     |
| Cilindro        | 17,473    |
| Bridas          | 8,808     |
| Paletas y eje   | 6,55      |
| Total           | 101,81    |

Fuente: El autor

A este valor se asumirá un 10% más debido cargas adicionales que podrían presentarse.

$$P_{\text{total}} = 111,991 \text{ Kg}$$

El esfuerzo soporta todas las cargas sobre un área máxima calculada mediante:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 6.52}$$

Donde

F: fuerza aplicada al soporte [N].

A: área efectiva de aplicación de la fuerza [m<sup>2</sup>].

El peso total del digestor es dividido para dos, ya que se montaran dos silletas,

$$Q = \frac{P_{\text{Total}}}{2}$$

$$Q = 549,315 \text{ N}$$

Para garantizar la resistencia mecánica de la silleta, la fuerza horizontal que deberá resistir la sección transversal está a un tercio del radio del recipiente como se muestra en la figura 6.13.

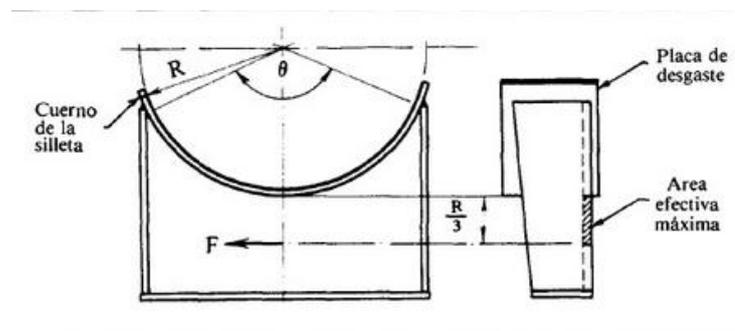


Figura 6.13 .- Geometría de soporte

Fuente: Megyesy Eugene, Manual de recipientes a presión, 1992

Entonces el área efectiva será igual a:

$$A = \frac{R}{3} \cdot t$$

$$A = \frac{0,200 \text{ m}}{3} \cdot 0,004 \text{ m}$$

$$A = 0,000267 \text{ m}^2$$

En la sección más baja de la silleta debe resistir una fuerza horizontal igual a:

$$F = K_{11} \cdot Q \quad \text{Ecuación 6.53}$$

Donde

$K_{11}$ : constante de ángulo de contacto.

El valor del ángulo de contacto de  $120^\circ$  determinamos mediante la tabla mostrada.

Tabla 6.10 .- Valores de la contante  $K_{11}$

| Angulo de contacto, $\theta$ | $120^\circ$ | $130^\circ$ | $140^\circ$ | $150^\circ$ | $160^\circ$ | $170^\circ$ | $180^\circ$ |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $K_{11}$                     | 0,204       | 0,222       | 0,241       | 0,259       | 0,279       | 0,298       | 0,318       |

Fuente: Eugene Magyesy, Manual de recipientes a presión, 1992

Reemplazando tenemos:

$$F = 112.061 \text{ N}$$

Entonces encontramos el valor del esfuerzo:

$$\sigma = 419,704 \text{ KPa} = 0,419 \text{ MPa}$$

El esfuerzo calculado no debe ser mayor que dos tercios del esfuerzo a la tensión permitida del material

$$\sigma_p = \frac{2}{3} S_y$$

$$\sigma_p = \frac{2}{3} 260 \text{ MPa} = 173,333 \text{ MPa}$$

Con lo cual cumple satisfactoriamente la condición.

### 6.6.2.8 Selección de componentes

#### a) Rodamientos

Para la selección de los rodamientos se tendrá en cuenta las cargas aplicadas, la velocidad entre otros factores.

La carga máxima aplicada es de 766,85 N y como se sabe la velocidad de rotación de las paletas es 40 RPM

Con estos requerimientos primero determinamos la capacidad de carga dinámica **C** es calculada mediante la ecuación:

$$C = P \cdot \sqrt[p]{\frac{L_h \cdot n \cdot 60}{1000000 \cdot a_1 \cdot a_{2-3}}} \quad \text{Ecuación 6.54}$$

Donde

$L_h$ : durabilidad [h].

$n$ : velocidad [RPM].

$a_1$  : factor de confiabilidad

$a_{2-3}$  : factor de condición de uso y servicio.

$p$ : exponente de vida del rodamiento.

$P$ : carga dinámica equivalente [N].

Ahora con un valor de  $f_l=3,5$  correspondiente a maquinas herramientas, con un exponente de vida para rodamiento de bolas de 3; despejamos  $L_{h10}$  y determinamos su valor.

$$f_l = \sqrt[p]{\frac{L_{h10}}{500}}$$

$$L_{h10} = 21437,5 \text{ h}$$

Con una probabilidad de fallo de 95% mediante la tabla del anexo C 16 tenemos un factor de confiabilidad de 0,62.

Inicialmente nos imponemos un factor  $a_{23}$  de 2.

Reemplazando valores calculamos la capacidad de carga dinámica:

$$C = 2654,799 \text{ N}$$

Con el valor de la carga dinámica seleccionamos un rodamiento 16005

$$d = 25 \text{ mm}$$

$$D = 47 \text{ mm}$$

$$B = 8 \text{ mm}$$

Mediante el diagrama de viscosidad relativa mostrada en el anexo D 5, con el diámetro medio de 36 mm y una velocidad de 40 RPM, tenemos una viscosidad relativa de 300 cSt.

Para una temperatura de servicio de 50°C se requiere una viscosidad de 460 cSt es decir un aceite ISO VG 460, el cual tiene dicha viscosidad a la temperatura estándar de 40°C.

La relación de viscosidad  $k$  es de 2,3 para esto tenemos un factor  $a_{23}$  de 2,25 aproximadamente.

Con estos valores la capacidad de carga dinámica es:

$$C = 2552,588 \text{ N}$$

Entonces el rodamiento seleccionado es correcto.

## **b) Selección de la chaveta**

Para dimensionar la chaveta tomamos los valores del Prontuario de Maquinas en la que se obtienen las dimensiones para la chaveta y chavetero mostradas en la figura para diámetros de 22-30 mm.

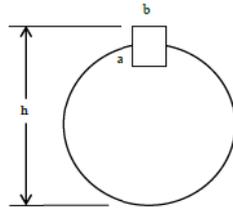


Figura 6.14 .- Dimensionamiento de chavetero

Fuente: El autor

$$\left. \begin{array}{l} a = 7 \text{ mm} \\ b = 8 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

Según prontuario de máquinas de Larburu, página 519.

Entonces determinamos la altura de la excéntrica cuyos valores pueden calcularse mediante la figura mostrada.

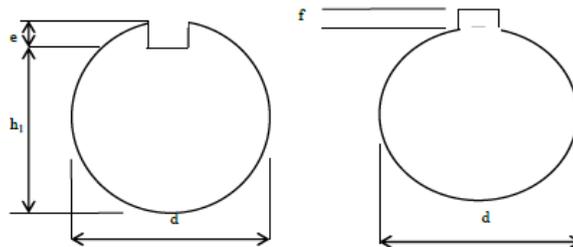


Figura 6.15 .- Chavetero en el eje y la excéntrica

Fuente: El autor

$$h_1 = d - e$$

Si  $e$  tiene un valor de 4 mm, entonces:

$$h_1 = 21 \text{ mm}$$

Por lo tanto la altura en la excéntrica será de  $f = 3 \text{ mm}$

La fuerza determinamos por:

$$F = \frac{T}{r} \quad \text{Ecuación 6.55}$$

El torque producido en el eje es 177,38 Nm por lo tanto la fuerza será de:

$$F = 14,190 \text{ KN}$$

El acero utilizado en la chaveta es AISI 304 cuyas propiedades son  $S_y = 276 \text{ MPa}$ .

$$S_{sy} = 0.577 \cdot S_y \quad \text{Ecuación 6.56}$$

$$S_{sy} = 159.252 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad \text{Ecuación 6.57}$$

$$\tau = \frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{A_{\text{corte}}}$$

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{a \cdot l}$$

Asumiendo un factor de seguridad de 2, tenemos  $l$  igual a:

$$l = \frac{n \cdot F}{a \cdot S_{sy}}$$

$$l = 0.025 \text{ m}$$

Por lo tanto las dimensiones del chavetero es 25 mm de largo, 7 mm de alto y 8 mm de ancho.

### 6.6.2.9 Soldadura del cilindro

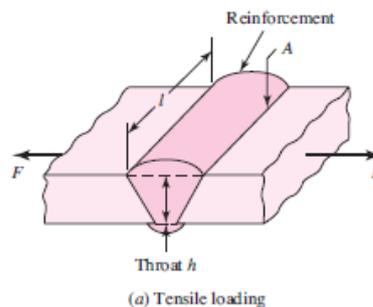


Figura 6.16 .- Soldadura sometida a tensión

Fuente: Shigley, Mechanical Engineering Design.Eighth Editions

Para cargas de tensión el esfuerzo normal medio es:

$$\sigma = \frac{F}{h \cdot l}$$

Ecuación 6.58

Donde

$\sigma$ : es el esfuerzo axial en el cordón de soldadura [ $\text{N/m}^2$ ].

F: fuerza axial producida por la presión [N].

h: ancho de la garganta de la soldadura [m].

l: largo del cordón de soldadura [m].

La fuerza axial producida por la presión calculamos por:

$$F = P \cdot A$$

En la cual P es la presión de diseño del cilindro ( $207348,142 \text{ N/m}^2$ ) y A es el área la cual se puede calcular mediante:

$$A = D \cdot l$$

$$A = (0,4 \text{ m}) \cdot (0,8 \text{ m}) = 0,32 \text{ m}^2$$

Reemplazando encontramos la fuerza axial

$$F = 66,351 \text{ KN}$$

Entonces el esfuerzo normal medio es:

$$\sigma = \frac{66,351 \times 10^3 \text{ N}}{(0,003 \text{ m}) \cdot (0,8 \text{ m})}$$

$$\sigma = 27,646 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 27,646 \text{ MPa}$$

Ahora verificamos calculamos el factor de seguridad mediante:

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Con una resistencia a la tracción de  $60 \text{ Kg/mm}^2$  ( $588,6 \text{ MPa}$ ) del electrodo AGA R-60 E 308L-16 tenemos:

$$n = 21,3$$

Por lo cual podemos predecir una buena resistencia de la junta solada.

#### 6.6.2.10 Diseño de pernos en las bridas

Debido a la presión interna de diseño calculamos los pernos adecuados, primero calculamos la fuerza:

$$F = P \cdot A \quad \text{Ecuación 6.59}$$

En donde,

P: presión interna [N/m<sup>2</sup>].

A: área interna del recipiente [m<sup>2</sup>].

El área interna del cilindro es igual a:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = 0,125 \text{ m}^2$$

Entonces la fuerza ejercida en el recipiente es:

$$F = 25,918 \text{ KN}$$

Considerando la junta estáticamente cargada a tensión con precarga tenemos (Shigley, 2008):

$$\frac{c \cdot n \cdot P}{z \cdot A_t} + \frac{F_i}{A_t} = S_p \quad \text{Ecuación 6.60}$$

Donde,

F<sub>i</sub>: fuerza de pretensión [N].

A<sub>t</sub>: área del esfuerzo de tensión [m<sup>2</sup>].

c: coeficiente de rigidez de la junta.

n: coeficiente de seguridad.

F: fuerza axial.

S<sub>p</sub>: resistencia a la fluencia del perno [N/m<sup>2</sup>].

z: número de pernos.

La fuerza de tensado está en función del grado métrico del perno, calculada mediante la ecuación:

$$F_i = k_p S_p A_t \quad \text{Ecuación 6.61}$$

Donde,

$k_p$ : factor de montaje.

$S_p$ : resistencia de prueba [ $N/m^2$ ].

$A_t$ : área del esfuerzo de tensión [ $m^2$ ].

El factor de montaje es 0,75 ya que se considera una conexión no permanente.

La resistencia de prueba depende del grado métrico del perno, en la tabla del anexo C 17 tomamos los valores con un grado métrico de 4,6.

$$S_p = 225 \text{ MPa}$$

Entonces tenemos:

$$F_i = 0,75 \cdot A_t \cdot (225 \text{ MPa})$$

$$F_i = A_t \cdot 168,75 \text{ MPa}$$

El valor de la constante de rigidez asumimos un valor de  $c = 0,4$  debido a que se considera la distribución de 50% entre el perno y los materiales.

El coeficiente de seguridad tomamos un valor de 2.

El número de pernos está en función del diámetro en la cual se ubicaran el cual tiene un valor de 0,43 m. Los pernos serán ubicados a una distancia entre pernos comprendida en el intervalo:

$$3d_b < x < 10d_b$$

El coeficiente de seguridad se estima un valor de 2, y para la primera iteración se utilizara 20 pernos.

Ahora reemplazamos los valores y tenemos:

$$\frac{A_t \cdot 168,75 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{A_t} + \frac{(0,4)(2)(25918 \text{ N})}{20 \cdot A_t} = 225 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$A_t = 1,84 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 18,43 \text{ mm}^2$$

Con este valor seleccionamos un valor cercano mediante la tabla del anexo C 18 que corresponde a un perno de rosca fina M8 el cual tiene una área de 39,2 mm<sup>2</sup>.

Ahora refinamos los cálculos para comprobar la resistencia de la junta mediante la ecuación:

$$c = \frac{k_b}{k_b + k_{mt}} \quad \text{Ecuación 6.62}$$

Donde,

$K_b$ : rigidez del perno [N/m].

$K_{mt}$ : rigidez de los materiales [N/m].

La rigidez del perno se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$k_b = \frac{A_b E_b}{L_b} \quad \text{Ecuación 6.63}$$

En donde,

$A_b$ : área del perno [m<sup>2</sup>].

$E_b$ : módulo de elasticidad del perno [N/m<sup>2</sup>].

$L_b$ : longitud de la junta [m].

El área del perno calculamos con el diámetro nominal, entonces tenemos:

$$A_b = \frac{\pi d_c^2}{4}$$

$$A_b = 5,026 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Co el módulo de elasticidad del perno de 206,8 GPa, la longitud de la junta es igual a 6 mm, y al reemplazar los valores tenemos:

$$k_b = 1,351 \times 10^9 \text{ N/m}$$

Para calcular la rigidez de los materiales se suma la rigidez de cada uno de ellos, así:

$$\frac{1}{k_{mt}} = \frac{1}{k_{m1}} + \frac{1}{k_{m2}} \quad \text{Ecuación 6.64}$$

Donde,

$k_{mt}$ : rigidez de los materiales [N/m].

$k_{m1}$ : rigidez de la brida [N/m].

$k_{m2}$ : rigidez del cilindro [N/m].

Para el cálculo de rigidez de cada material utilizaremos la teoría de Ito para lo cual se emplea las dimensiones mostradas en la figura.

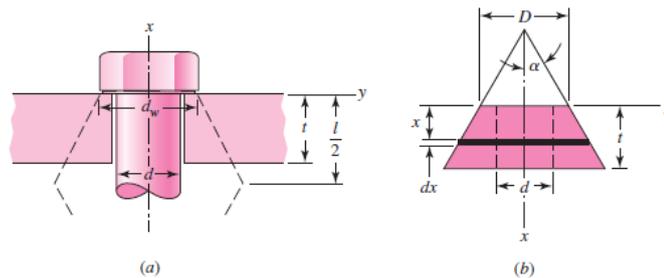


Figura 6.17 .- Dimensiones de materiales

Fuente: Shigley, Mechanical Engineering Design.Eighth Editions

Como el espesor de los materiales son iguales, entonces:

$$k_{m1} = k_{m2} = \frac{0,5774 \pi E d}{2 \ln \left( 5 \frac{0,577 l + 0,5 d}{0,577 l + 2,5 d} \right)}$$

Donde,

E: módulo de elasticidad del material [N/m<sup>2</sup>].

D: diámetro nominal del perno [m].

l: longitud del material [m].

$$k_{m1} = 5,425 \times 10^9 \text{ N/m}$$

Ahora encontramos la rigidez de los materiales  $k_{mt}$ :

$$k_{mt} = 2,713 \times 10^9 \text{ N/m}$$

Con los estos valores encontramos la rigidez de la junta C:

$$c = 0,19$$

Finalmente calculamos el factor de seguridad de la junta despejando de la ecuación 6.60.

$$\frac{(0,19) \cdot n \cdot (207,348 \times 10^3 \text{ N/m}^2)}{20(3,92 \times 10^{-5} \text{ m}^2)} + 168,75 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 225 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$n = 1,2$$

Con este resultado podemos asegurar la resistencia de la junta.

## 6.7 METODOLOGÍA

Una vez dimensionado cada uno de los elementos que conforman el equipo de secado podemos citar las características técnicas mostradas en la tabla 6.11.

Tabla 6.11 .- Características técnicas del secador rotatorio

|                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| Capacidad             | 65 litros                 |
| Potencia calorífica   | 36,328 KW                 |
| Diámetro interno      | 0,4 m                     |
| Longitud              | 1,2 m                     |
| Velocidad de rotación | 40 RPM                    |
| Potencia de rotación  | 1 hp                      |
| Operación             | Discontinua               |
| Material              | Acero inoxidable AISI 304 |

Fuente: El autor

A continuación se describen los elementos principales del equipo de secado.

### 6.7.1 Paletas

La funcionalidad de las paletas es proporcionar una secado uniforme mediante la agitación constante a una baja velocidad. Este componente está conformado por:

- Eje de acero inoxidable AISI 304 de 1 ¼”.
- Platina de acero inoxidable AISI 304 de 3/16”.

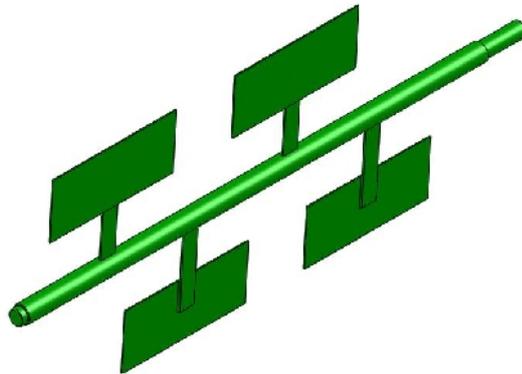


Figura 6.18 .- Paletas

Fuente: El autor

Las paletas están soldadas y distribuidas a lo largo del eje para realizar una agitación uniforme.

### 6.7.2 Cilindro

El cilindro es un elemento estático el cual cuenta con un ducto de alimentación además tiene dos bridas de soporte, una para la tapa principal y la otra para la tapa posterior.

El cilindro está diseñado para soportar una presión interna de 30 lb/pulg<sup>2</sup>, está construido de acero inoxidable AISI 304 ya que este material es el más idóneo para evitar corrosión.



Figura 6.19 .- Cilindro

Fuente: El autor

### 6.7.3 Casco

El casco es un elemento que se ubica como recubrimiento de la capa aislante del cilindro la cual está diseñada para evitar pérdidas energéticas y por razones de seguridad.

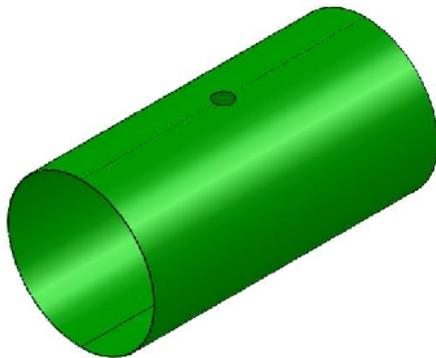


Figura 6.20 .- Casco externo

Fuente: El autor

Este elemento está construido de acero inoxidable AISI 304 el cual no debe exceder una temperatura de 35°C en el exterior.

### 6.7.4 Tapa principal

La tapa principal cuenta con dos ductos uno es el acople para el generador de calor mientras que el otro sirve para la salida del producto

seco. Además cuenta con un soporte soldado a la tapa para alojar al quemador.

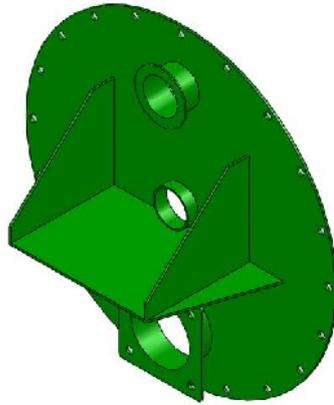


Figura 6.21 .- Tapa principal

Fuente: El autor

La tapa principal y posterior deben ser construidas con acero inoxidable AISI 304 con un espesor de 3 mm, cada una cuentan con 20 agujeros para la sujeción a las bridas.

### 6.7.5 Tapa posterior

La tapa posterior tiene un alojamiento para la chumacera, además de los alojamientos para los pernos.

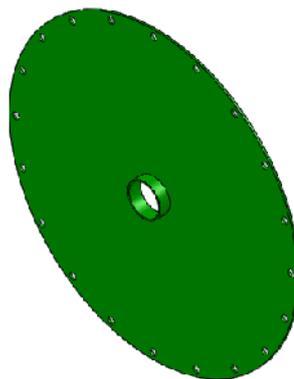


Figura 6.22 .- Tapa posterior

Fuente: El autor

### 6.7.6 Silleta

La silleta sirve de soporte de todos los elementos que conforman el secador la cual está diseñada para soportar todo el peso generado.

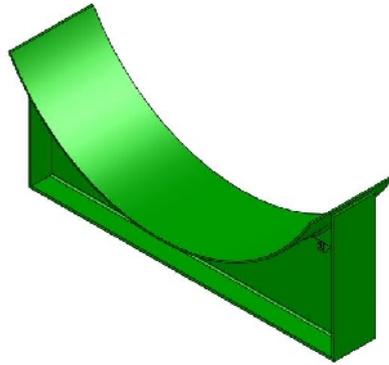


Figura 6.23 .- Silleta soporte

Fuente: El autor

El equipo cuenta con dos soportes los cuales están construidos en acero inoxidable AISI 304.

### 6.7.7 Poleas

Las poleas están seleccionadas para reducir la velocidad de rotación de las paletas.

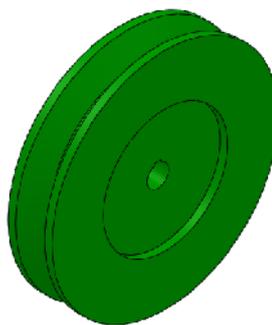


Figura 6.24 .- Polea trapezoidal

Fuente: El autor

## 6.8 ADMINISTRACIÓN

En la parte administrativa se realizó un análisis del costo de materiales y mano de obra para la construcción de los elementos del equipo de secado.

### 6.8.1 Costos de materiales y mano de obra

Los costos de materiales necesarios para la construcción del equipo de secado se detallan a continuación en la tabla 6.12.

Tabla 6.12 .- Costo de la materiales de secador

| Ítem                                | Descripción                                  | Cantidad | Precio unitario (\$) | Costo total (\$) |
|-------------------------------------|--|----------|----------------------|------------------|
| 1                                   | Quemador industrial                          | 1        | 200                  | 200              |
| 2                                   | Motoreductor                                 | 1        | 400                  | 400              |
| 3                                   | Plancha de acero inoxidable AISI 304 de 2 mm | 1        | 201,6                | 201,6            |
| 4                                   | Plancha de acero inoxidable AISI 304 de 3 mm | 1        | 302,4                | 302,4            |
| 4                                   | 1 m placa de acero ASTM A36 8" x 3/16"       | 1        | 10                   | 10               |
| 5                                   | Eje de acero inoxidable AISI 304 de 1 ¼"     | 1        | 40                   | 40               |
| 6                                   | Chumacera                                    | 2        | 17                   | 34               |
| 7                                   | Rodamiento                                   | 2        | 5                    | 10               |
| 8                                   | Polea  | 1        | 5                    | 5                |
| 9                                   | Polea  | 1        | 7                    | 7                |
| 10                                  | Tornillo hexagonal                           | 40       | 0,1                  | 4                |
| 11                                  | Tuerca hexagonal                             | 40       | 0,05                 | 2                |
| 12                                  | Electrodos E-308L (libra)                    | 10       | 2,5                  | 25               |
| 13                                  | Electrodos E-6011 (libra)                    | 5        | 1,7                  | 8,5              |
| Costo total de equipos y materiales |  |          |                      | 1249,5           |

Fuente: El autor

Para la construcción de los equipos se estimo un total de 180 horas de trabajo detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 6.13 .- Costo por mano de obra

| Personal                       | Costo por hora (\$) | Horas de trabajo | Total (\$) |
|--------------------------------|---------------------|------------------|------------|
| Mecánico                       | 2,8                 | 100              | 280        |
| Ayudante                       | 1,5                 | 80               | 120        |
| Costo total de la mano de obra |                     |                  | 400        |

Fuente: El autor

Por lo tanto los costos totales para la construcción son los siguientes:

Tabla 6.14 .- Costos totales

| Detalles        | Costo (\$) |
|-----------------|------------|
| Materiales      | 1249,5     |
| Mano de obra    | 400        |
| Subtotal        | 1649,5     |
| Imprevistos 10% | 164,95     |
| Total           | 1814,45    |

Fuente: El autor

## 6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

El equipo diseñado en este proyecto investigativo corresponde a las necesidades técnicas de la microempresa avícola San Agustín con el fin de contribuir a la reducción de la contaminación que genera los desechos líquidos de sangre.

Se recomienda que mediante trabajos futuros se construyan equipos de una manera similar implementando procesos de automatización que permitan mejorar los resultados utilizando sensores electrónicos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Çengel, Y. A. (2009). Termodinámica (Sexta ed.). España McGraw-Hill: McGraw-Hill.
2. CPTS. (2005). Guía técnica para la producción más limpia para mataderos de bovinos. 100-105.
3. Fernández Díez, P. (s.f.). Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, Ingeniería térmica y de fluidos. Obtenido de <http://libros.redsauce.net/>;
4. Foust, A., & Wenzel, L. (2006). Principios de operaciones unitarias (Décima ed.). Mexico: COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL.
5. Isaac, A. (1995). Introducción a la ciencia, Capitulo 11, Las proteínas. Obtenido de <http://www.librosmaravillosos.com>
6. Jiménez, D., & Sette, R. (1996). Tratamiento de aguas residuales (Segunda ed.). Editorial Reverte S. A.
7. López Vázquez, R., & CaspVanaclocha, A. (2008). Tecnología de mataderos. España: Mundi-Prensa.
8. Madrid, A. (1999). Aprovechamiento de los subproductos cárnicos. AMV Ediciones.
9. Marriot, P. (2007). Operaciones unitarias (Tercera ed.). McGraw-Hill.
10. McCabe, W. (2003). Operaciones básicas ingeniería química (Vol. I).
11. Muñoz, C. (2013). Ingeniería química. Madrid: UNED-Universidad nacional de educación a distancia.
12. Nonhebel, G. (1979). El secado de sólidos en la industria química. España: Editorial Reverte.

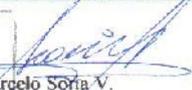
13. Ricci, O. E. (2012). Avicultura. Obtenido de [www.engormix.com/MA-avicultura/industria-carnica/articulos/harina-sangre-t4049/471-p0.htm](http://www.engormix.com/MA-avicultura/industria-carnica/articulos/harina-sangre-t4049/471-p0.htm)
  14. Sala, R., & Barroeta, A. C. En Manual de microscopía de piensos. Servei de Publicacions.
  15. Shigley. (2008). Mechanical Engineering Desing (Eighth ed.). McGraw-Hill.
  16. Stryer, L. (1993). Bioquímica (Séptima ed.). Reverte.
  17. Túnez Fiñana, M. M. (s.f.). Departamento de bioquímica y biología molecular, Facultad de Medicina. Obtenido de <http://www.uco.es/organiza/departamentos/bioquimica-biol-mol/>
  18. Vanaclocha, C. (2008). Procesos de conservación de alimentos (Segunda ed.). Mundi Prensa.
- Wylie, S. &. (2000). Fundamentos de Mecánica de Fluidos (Octava ed.). McGraw-Hill.

# **ANEXOS**

## ANEXO A

### Análisis de laboratorio

#### Anexo A 1.- Análisis del ph de la sangre de pollo

|   |   |   |  |                           |                 |                   |
|---|---|---|--|---------------------------|-----------------|-------------------|
|                            | <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b><br>FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERIA EN ALIMENTOS<br>UNIDAD DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN TECNOLOGIA DE ALIMENTOS<br><b>LABORATORIO DE CONTROL Y ANALISIS DE ALIMENTOS</b> |  |  |                           |                 |                   |
| Dir: Av. Los Chasquis y Rio Payamino, Huachi, Ambato Ecuador Telefonos: 2400987 Correo: laconal@hotmail.com |   |   |  |                           |                 |                   |
| <b>CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO</b>   |   |   |  |                           |                 |                   |
| <b>Certificado No: 13-223</b>   |   | ROI-5.10 06   |  |                           |                 |                   |
| Solicitud N°: 13-223  |   | Pag. 1 de 1   |  |                           |                 |                   |
| Fecha recepción: 25 septiembre 2013   | Fecha de ejecución de ensayos: 25 septiembre 2013   |   |  |                           |                 |                   |
| <b>Información del cliente:</b>   |   |   |  |                           |                 |                   |
| Empresa: Particular   | C.I./RUC: 1804288767  |   |  |                           |                 |                   |
| Representante: Alvaro Muñoz Ojeda   | Tlf: n/a  |   |  |                           |                 |                   |
| Dirección: Barrio La Esperanza  | Celular: 0998962897   |   |  |                           |                 |                   |
| Ciudad: Patate  | E mail: alvaro.javier1@hotmail.com  |   |  |                           |                 |                   |
| <b>Descripción de las muestras:</b>   |   |   |  |                           |                 |                   |
| Producto: Sangre de pollo   | Peso: 25 g  |   |  |                           |                 |                   |
| Marca comercial: n/a  | Tipo de envase: Funda plástica  |   |  |                           |                 |                   |
| Lote: n/a   | No de muestras: Una   |   |  |                           |                 |                   |
| F. Elb.: n/a  | F. Exp.: n/a  |   |  |                           |                 |                   |
| Conservación: Ambiente: Refrigeración: X Congelación:   | Almac. en Lab: 5 días   |   |  |                           |                 |                   |
| Cierres seguridad: Ninguno: X Intactos: Rotos   | Muestreo por el cliente: 25sep2013  |   |  |                           |                 |                   |
| <b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>   |   |   |  |                           |                 |                   |
| <b>Muestras</b>   | <b>Código del laboratorio</b>   | <b>Código cliente</b>   | <b>Ensayos solicitados</b>   | <b>Métodos utilizados</b> | <b>Unidades</b> | <b>Resultados</b> |
| Sangre de pollo   | 22313507  | Ninguno   | *pH  | AOAC 942.15. Ed 19, 2012  | Unidades de pH  | <b>7.41</b>       |
| Conds. Ambientales: 18.5° C; 50%HR  |   |   |  |                           |                 |                   |
|                          |   |   | DIRECTOR DE CALIDAD <br>Ing. Marcelo Soria V.<br>Director de Calidad |                           |                 |                   |
| Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si/No  |   |   |  |                           |                 |                   |

Nota: Los resultados consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida. El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

*"La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vinculante. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente".*

Fuente: LACONAL

Anexo A 2.- Análisis físico químico de los desechos líquidos de la sangre

**Lacquanálisis S.A.**  
soluciones ambientales

Controlamos y optimizamos con la tecnología más avanzada  
Medimos con exactitud y precisión  
para mejorar en el futuro de nuestros clientes  
Contribuimos a la protección del medio ambiente  
Desarrollamos nuevos métodos de análisis  
Realizamos análisis de agua de consumo

### INFORME DE RESULTADOS

|  |                                      |  |   |
|--|--------------------------------------|--|---|
| LABORATORIO DE ENSAYO, ACREDITADO POR OAE CON ACREDITACIÓN<br>Nº OAE LE C 11-010 | <b>DATOS DEL CLIENTE</b>             |  | Versión: 6<br>Pág: 1 de 1<br>Código: REG TEC 018<br>Fecha formato: 12/08/2013<br>NUMERO DE INFORME:<br>LACQUA 13-448<br>REFERENCIA ORDEN DE TRABAJO<br>2013 446 |
|  | CLIENTE:                             | Sr. Alvaro Muñoz                             |   |
|  | REPRESENTANTE:                       | Patate                                       |   |
|  | TELÉFONO:                            |  |   |
|  | CELULAR:                             | 09 98962897                                  |   |
| e-mail:  |                                      |  |   |
| CONDICIONES AMBIENTALES  | HUMEDAD (%):                         | 56   | TEM. AMBIENTE(°C): 18   |
| TIPO DE MUESTRA:   | Agua Matadero de Pollos              |  |   |
| RESPONSABLE MUESTREO:  | Cliente                              | FECHA TOMA DE MUESTRA: 18 de octubre de 2013 |   |
| TIPO DE TOMA DE MUESTRA:   | Puntual                              |  |   |
| FECHA DE ANÁLISIS:   | Desde el 18 al 28 de octubre de 2013 |  |   |
| FECHA EMISIÓN DE INFORME:  | 29 de octubre de 2013                |  |   |

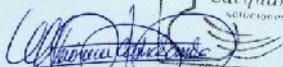
### INFORME ANALISIS FISICO-QUIMICOS

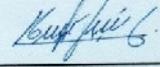
| PARAMETROS | UNIDAD | RESULTADO | LIM. MAX <sup>#</sup> | METODO                       | INCERTIDUMBRE DEL METODO |
|------------|--------|-----------|-----------------------|------------------------------|--------------------------|
| Ph         | UpH    | 7,70      | 5 a 9                 | PRO TEC 011 / APHA 4500 H+ B | ± 1,68 %                 |
| DBO5**     | mg/l   | 11989     | 250                   | PRO TEC 030 / APHA 5220 B    | ----                     |

<sup>#</sup> Norma de Referencia: TULAS LIBRO VI ANEXO 1 Tabla 11  
 \* Parámetro acreditado  
 \* Parámetro acreditado fuera del alcance

\*\* Parámetro No acreditado  
 \*\*\* Parámetro lab. Subcontratado Acreditado:  
 Certificado: N/A

**PERSONAL RESPONSABLE:**

  
 Ing. Verónica Coshabamba  
 ANALISTA

  
 Dr. Harold Jiménez  
 DIRECTOR TECNICO

NOTA:  
 El Informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Dirección: Edif. Plaza Ficoa, local 202, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
 Teléfono: 09-5363620 / 03-2420106 www.lacquanalisis.com - info@lacquanalisis.com  
 Ambato, Ecuador - Sud América

Fuente: Laquanálisis S.A.

## ANEXO B

### Formatos

Anexo B 1.- Ficha de recolección de datos preliminares de centrifugado

| Universidad Técnica de Ambato  |                 |                     |             |                  |
|--|-----------------|---------------------|-------------|------------------|
|   |                 |                     |             |                  |
| Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica  |                 |                     |             |                  |
| Carrera de Ingeniería Mecánica   |                 |                     |             |                  |
| Tema: "Separación por métodos mecánicos de la hemoglobina de la sangre de pollos de la avícola San Agustín mediante centrifugación y secado para disminuir el volumen de desechos líquidos de la sangre en el faenamiento" |                 |                     |             |                  |
| <b>RECOLECCIÓN DE DATOS PRELIMINARES DE CENTRIFUGADO</b>   |                 |                     |             |                  |
| Fecha:   |                 |                     |             |                  |
| Lugar:   |                 | Avícola San Agustín |             |                  |
| Ensayo:  |                 | Centrifugación      |             |                  |
| Equipo:  |                 | Centrífuga KGEMN    |             |                  |
| Aves faenadas:   |                 | 20 aves             |             |                  |
| Resultados   |                 |                     |             |                  |
| Muestras   | Velocidad (RPM) | sangre (ml)         | plasma (ml) | hemoglobina (ml) |
| 1  |                 |                     |             |                  |
| 2  |                 |                     |             |                  |
| 3  |                 |                     |             |                  |
| 4  |                 |                     |             |                  |
| 5  |                 |                     |             |                  |
| 6  |                 |                     |             |                  |
| 7  |                 |                     |             |                  |
| 8  |                 |                     |             |                  |
| 9  |                 |                     |             |                  |
| Observaciones:   |                 |                     |             |                  |

Fuente: El autor

Anexo B 2 .- Ficha de recolección de datos preliminares de secado

| Universidad Técnica de Ambato<br><br>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica<br>Carrera de Ingeniería Mecánica                            |                  |                     |                                 |                               |                  |
|--|------------------|---------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Tema: "Separación por métodos mecánicos de la hemoglobina de la sangre de pollos de la avícola San Agustín mediante centrifugación y secado para disminuir el volumen de desechos líquidos de la sangre en el faenamiento" |                  |                     |                                 |                               |                  |
| RECOLECCIÓN DE DATOS PRELIMINARES DE SECADO  |                  |                     |                                 |                               |                  |
| Fecha:   |                  |                     |                                 |                               |                  |
| Lugar:   |                  | Avícola San Agustín |                                 |                               |                  |
| Ensayo:  |                  | Secado              |                                 |                               |                  |
| Equipo:  |                  | Estufa MEMMERT      |                                 |                               |                  |
| Aves faenadas:   |                  |                     |                                 |                               |                  |
| Resultados   |                  |                     |                                 |                               |                  |
| Muestra  | Temperatura (°C) | Tiempo (h)          | Peso inicial de hemoglobina (g) | Peso final de hemoglobina (g) | Peso perdido (g) |
| 1  |                  |                     |                                 |                               |                  |
| 2  |                  |                     |                                 |                               |                  |
| 3  |                  |                     |                                 |                               |                  |
| 4  |                  |                     |                                 |                               |                  |
| 5  |                  |                     |                                 |                               |                  |
| 6  |                  |                     |                                 |                               |                  |
| 7  |                  |                     |                                 |                               |                  |
| 8  |                  |                     |                                 |                               |                  |
| 9  |                  |                     |                                 |                               |                  |
| 10   |                  |                     |                                 |                               |                  |
| Observaciones:   |                  |                     |                                 |                               |                  |

Fuente: El autor

Anexo B 3 .- Ficha de recolección de datos de centrifugado

| Universidad Técnica de Ambato<br><br>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica<br>Carrera de Ingeniería Mecánica                            |   |                 |                 |                      |
|--|---|-----------------|-----------------|----------------------|
| Tema: "Separación por métodos mecánicos de la hemoglobina de la sangre de pollos de la avícola San Agustín mediante centrifugación y secado para disminuir el volumen de desechos líquidos de la sangre en el faenamiento" |   |                 |                 |                      |
| <b>RECOLECCIÓN DE DATOS DE CENTRIFUGADO</b>  |   |                 |                 |                      |
| Fecha:   | 11 de diciembre del 2013                        |                 |                 |                      |
| Lugar:   | Planta de faenamiento de la Avícola San Agustín |                 |                 |                      |
| Equipo:  | Centrífuga separadora                           |                 |                 |                      |
| Aves faenadas:   |   |                 |                 |                      |
| Sangre obtenida:   |   |                 |                 |                      |
| Velocidad:   | 9.000-10.000 RPM                                |                 |                 |                      |
| Resultados:  |   |                 |                 |                      |
| Muestra  | Aves faenadas                                   | Sangre (litros) | Plasma (litros) | Hemoglobina (litros) |
| 1  |   |                 |                 |                      |
| 2  |   |                 |                 |                      |
| 3  |   |                 |                 |                      |
| 4  |   |                 |                 |                      |
| 5  |   |                 |                 |                      |
| 6  |   |                 |                 |                      |
| 7  |   |                 |                 |                      |
| 8  |   |                 |                 |                      |
| 9  |   |                 |                 |                      |
| 10   |   |                 |                 |                      |
| Total  |   |                 |                 |                      |
| Observaciones:   |   |                 |                 |                      |

Fuente: El autor

Anexo B 4 .- Ficha de recolección de datos de secado

| Universidad Técnica de Ambato<br><br>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica<br>Carrera de Ingeniería Mecánica                            |               |   |                      |                   |                 |
|--|---------------|---|----------------------|-------------------|-----------------|
| Tema: “Separación por métodos mecánicos de la hemoglobina de la sangre de pollos de la avícola San Agustín mediante centrifugación y secado para disminuir el volumen de desechos líquidos de la sangre en el faenamiento” |               |   |                      |                   |                 |
| <b>RECOLECCIÓN DE DATOS DE SECADO</b>  |               |   |                      |                   |                 |
| Fecha:   |               | 11 de diciembre del 2013                        |                      |                   |                 |
| Lugar:   |               | Planta de faenamiento de la Avícola San Agustín |                      |                   |                 |
| Equipo:  |               | Estufa  |                      |                   |                 |
| Aves faenadas:   |               |   |                      |                   |                 |
| Sangre obtenida:   |               |   |                      |                   |                 |
| Resultados:  |               |   |                      |                   |                 |
| Muestra  | Aves faenadas | Temperatura (°C)                                | Hemoglobina (litros) | Peso inicial (Kg) | Peso final (Kg) |
| 1  |               |   |                      |                   |                 |
| 2  |               |   |                      |                   |                 |
| 3  |               |   |                      |                   |                 |
| 4  |               |   |                      |                   |                 |
| 5  |               |   |                      |                   |                 |
| 6  |               |   |                      |                   |                 |
| 7  |               |   |                      |                   |                 |
| 8  |               |   |                      |                   |                 |
| 9  |               |   |                      |                   |                 |
| 10   |               |   |                      |                   |                 |
| Total  |               |   |                      |                   |                 |
| Observaciones:   |               |   |                      |                   |                 |

Fuente: El autor

## ANEXO C

### Tablas

#### Anexo C 1 .- Propiedades del acero AISI 304

Results of Tensile Tests of Some Metals\* Source: J. Datsko, "Solid Materials," chap. 32 in Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, and Thomas H. Brown, Jr. (eds.-in-chief), *Standard Handbook of Machine Design*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 2004, pp. 32.49–32.52.

| Number | Material           | Condition | Strength (Tensile)              |                                    |  |  |                                     |                                 |
|--------|--------------------|-----------|---------------------------------|------------------------------------|--|--|-------------------------------------|---------------------------------|
|        |                    |           | Yield<br>$S_{y,}$<br>MPa (kpsi) | Ultimate<br>$S_{u,}$<br>MPa (kpsi) | Fracture,<br>$\sigma_f,$<br>MPa (kpsi) | Coefficient<br>$\sigma_0,$<br>MPa (kpsi) | Strain<br>Strength,<br>Exponent $m$ | Fracture<br>Strain $\epsilon_f$ |
| 1018   | Steel              | Annealed  | 220 (32.0)                      | 341 (49.5)                         | 628 (91.1) <sup>†</sup>                | 620 (90.0)                               | 0.25                                | 1.05                            |
| 1144   | Steel              | Annealed  | 358 (52.0)                      | 646 (93.7)                         | 898 (130) <sup>†</sup>                 | 992 (144)                                | 0.14                                | 0.49                            |
| 1212   | Steel              | HR        | 193 (28.0)                      | 424 (61.5)                         | 729 (106) <sup>†</sup>                 | 758 (110)                                | 0.24                                | 0.85                            |
| 1045   | Steel              | Q&T 600°F | 1520 (220)                      | 1580 (230)                         | 2380 (345)                             | 1880 (273) <sup>†</sup>                  | 0.041                               | 0.81                            |
| 4142   | Steel              | Q&T 600°F | 1720 (250)                      | 1930 (210)                         | 2340 (340)                             | 1760 (255) <sup>†</sup>                  | 0.048                               | 0.43                            |
| 303    | Stainless<br>steel | Annealed  | 241 (35.0)                      | 601 (87.3)                         | 1520 (221) <sup>†</sup>                | 1410 (205)                               | 0.51                                | 1.16                            |
| 304    | Stainless<br>steel | Annealed  | 276 (40.0)                      | 568 (82.4)                         | 1600 (233) <sup>†</sup>                | 1270 (185)                               | 0.45                                | 1.67                            |
| 2011   | Aluminum<br>alloy  | T6        | 169 (24.5)                      | 324 (47.0)                         | 325 (47.2) <sup>†</sup>                | 620 (90)                                 | 0.28                                | 0.10                            |
| 2024   | Aluminum<br>alloy  | T4        | 296 (43.0)                      | 446 (64.8)                         | 533 (77.3) <sup>†</sup>                | 689 (100)                                | 0.15                                | 0.18                            |
| 7075   | Aluminum<br>alloy  | T6        | 542 (78.6)                      | 593 (86.0)                         | 706 (102) <sup>†</sup>                 | 882 (128)                                | 0.13                                | 0.18                            |

Fuente: Shigley, Mechanical Engineering Design.Eighth Editions

Anexo C 2.- Tabla de selección de motor

Tabla de selección  
Motores monofásicos jaula de ardilla a prueba de goteo; aisl. clase B; 2 polos

| Potencia CP  | Tipo           | Catálogo No. | Peso neto kg | Velocidad nominal r.p.m. | Tensión nominal Volt | Corriente nominal A | Factor de Servicio | Corriente a F.S. A | Long L mm |
|--|----------------|--------------|--------------|--------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| <b>Arranque por capacitor, base rígida, con balero (uso general)</b>                       |                |              |              |                          |                      |                     |                    |                    |           |
| 0.25   | 1RF3 052-2YC41 | 30002034     | 8.3          | 3540/3520                | 127/220              | 7.6/3.0             | 2.0                | 8.3/3.9            | 254       |
| 0.33   | 1RF3 053-2YC41 | 30002043     | 8.4          | 3535/3515                | 127/220              | 8.5/3.5             | 2.0                | 9.7/4.5            | 254       |
| 0.50   | 1RF3 054-2YC41 | 30002051     | 9.7          | 3535/3515                | 127/220              | 9.9/4.1             | 1.8                | 12.4/6.2           | 271       |
| 0.75   | 1RF3 055-2YC41 | 30002059     | 10.5         | 3530/3500                | 127/220              | 12.4/5.3            | 1.6                | 14.6/7.1           | 271       |
| 1.0  | 1RF3 056-2YC41 | 30002064     | 11.9         | 3535/3510                | 127/220              | 15.5/6.6            | 1.6                | 18.6/9.4           | 291       |
| 1.5  | 1RF3 057-2YC41 | 30002069     | 12.8         | 3505/3470                | 127/220              | 18.5/9.4            | 1.2                | 20.4/10.2          | 291       |
| 2  | 1RF3 058-2YC41 | 30002071     | 15.5         | 3480/3460                | 127/220              | 21.6/11.0           | 1.15               | 24/12              | 313       |
| <b>Arranque por capacitor, base rígida, con balero, brida "C" y flecha roscada (bomba)</b> |                |              |              |                          |                      |                     |                    |                    |           |
| 0.25   | 1RF3 252-2YC34 | 30002074     | 6.7          | 3540                     | 127 **               | 4.5                 | 1.8                | 5.4                | 258       |
| 0.33   | 1RF3 253-2YC34 | 30002078     | 7.5          | 3530                     | 127 **               | 5.7                 | 1.7                | 6.6                | 270       |
| 0.50   | 1RF3 254-2YC34 | 30002082     | 8.5          | 3540                     | 127 **               | 7.5                 | 1.6                | 9.0                | 270       |
| 0.75   | 1RF3 255-2YC44 | 30002088     | 10.3         | 3550/3530                | 127/220              | 11.6/5.0            | 1.6                | 13.5/7.0           | 287       |
| 1.0  | 1RF3 256-2YC44 | 30002088     | 11.2         | 3535/3515                | 127/220              | 12.3/6.0            | 1.4                | 14.5/7.5           | 311       |
| 1.5  | 1RF3 257-2YC44 | 30002090     | 13.2         | 3520/3500                | 127/220              | 16.6/8.4            | 1.2                | 18.2/9.7           | 311       |
| 2  | 1RF3 258-2YC44 | 30002092     | 15.5         | 3480/3460                | 127/220              | 21.6/11.0           | 1.15               | 24/12              | 320       |
| <b>Arranque por capacitor, sin base, con balero, brida "C" y flecha roscada (bomba)</b>    |                |              |              |                          |                      |                     |                    |                    |           |
| 0.25   | 1RF3 252-2YC33 | *            | 6.3          | 3540                     | 127 **               | 4.5                 | 1.8                | 5.4                | 258       |
| 0.33   | 1RF3 253-2YC33 | *            | 7.1          | 3530                     | 127 **               | 5.7                 | 1.7                | 6.6                | 270       |
| 0.50   | 1RF3 254-2YC33 | *            | 8.1          | 3540                     | 127 **               | 7.5                 | 1.6                | 9.0                | 270       |
| 0.75   | 1RF3 255-2YC43 | *            | 9.9          | 3550/3530                | 127/220              | 11.6/5.0            | 1.6                | 13.5/7.0           | 287       |
| 1.0  | 1RF3 256-2YC43 | *            | 10.8         | 3535/3515                | 127/220              | 12.3/6.0            | 1.4                | 14.5/7.5           | 311       |
| 1.5  | 1RF3 257-2YC43 | *            | 12.8         | 3520/3500                | 127/220              | 16.6/8.4            | 1.2                | 18.2/9.7           | 311       |
| 2  | 1RF3 258-2YC43 | *            | 15.1         | 3480/3460                | 127/220              | 21.6/11.0           | 1.15               | 24/12              | 320       |

Fuente: Catalogo Siemens

Anexo C 3.- Designaciones normales de bandas trapeciales o en v

| Belt Section | Sheave Pitch Diameter, in | Belt Speed, ft/min |      |      |      |      |
|--------------|---------------------------|--------------------|------|------|------|------|
|              |                           | 1000               | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| A            | 2.6                       | 0.47               | 0.62 | 0.53 | 0.15 |      |
|              | 3.0                       | 0.66               | 1.01 | 1.12 | 0.93 | 0.38 |
|              | 3.4                       | 0.81               | 1.31 | 1.57 | 1.53 | 1.12 |
|              | 3.8                       | 0.93               | 1.55 | 1.92 | 2.00 | 1.71 |
|              | 4.2                       | 1.03               | 1.74 | 2.20 | 2.38 | 2.19 |
|              | 4.6                       | 1.11               | 1.89 | 2.44 | 2.69 | 2.58 |
|              | 5.0 and up                | 1.17               | 2.03 | 2.64 | 2.96 | 2.89 |
| B            | 4.2                       | 1.07               | 1.58 | 1.68 | 1.26 | 0.22 |
|              | 4.6                       | 1.27               | 1.99 | 2.29 | 2.08 | 1.24 |
|              | 5.0                       | 1.44               | 2.33 | 2.80 | 2.76 | 2.10 |
|              | 5.4                       | 1.59               | 2.62 | 3.24 | 3.34 | 2.82 |
|              | 5.8                       | 1.72               | 2.87 | 3.61 | 3.85 | 3.45 |
|              | 6.2                       | 1.82               | 3.09 | 3.94 | 4.28 | 4.00 |
|              | 6.6                       | 1.92               | 3.29 | 4.23 | 4.67 | 4.48 |
| 7.0 and up   | 2.01                      | 3.46               | 4.49 | 5.01 | 4.90 |      |
| C            | 6.0                       | 1.84               | 2.66 | 2.72 | 1.87 |      |
|              | 7.0                       | 2.48               | 3.94 | 4.64 | 4.44 | 3.12 |
|              | 8.0                       | 2.96               | 4.90 | 6.09 | 6.36 | 5.52 |
|              | 9.0                       | 3.34               | 5.65 | 7.21 | 7.86 | 7.39 |
|              | 10.0                      | 3.64               | 6.25 | 8.11 | 9.06 | 8.89 |
|              | 11.0                      | 3.88               | 6.74 | 8.84 | 10.0 | 10.1 |
|              | 12.0 and up               | 4.09               | 7.15 | 9.46 | 10.9 | 11.1 |

Fuente: Shigley, Mechanical Engineering Design.Eighth Editions

Anexo C 4 .- Designaciones normales de bandas trapeciales o en v

| $\frac{D-d}{C}$ | $\theta$ , deg | VV   | $K_1$ | V Flat |
|-----------------|----------------|------|-------|--------|
| 0.00            | 180            | 1.00 |       | 0.75   |
| 0.10            | 174.3          | 0.99 |       | 0.76   |
| 0.20            | 166.5          | 0.97 |       | 0.78   |
| 0.30            | 162.7          | 0.96 |       | 0.79   |
| 0.40            | 156.9          | 0.94 |       | 0.80   |
| 0.50            | 151.0          | 0.93 |       | 0.81   |
| 0.60            | 145.1          | 0.91 |       | 0.83   |
| 0.70            | 139.0          | 0.89 |       | 0.84   |
| 0.80            | 132.8          | 0.87 |       | 0.85   |
| 0.90            | 126.5          | 0.85 |       | 0.85   |
| 1.00            | 120.0          | 0.82 |       | 0.82   |
| 1.10            | 113.3          | 0.80 |       | 0.80   |
| 1.20            | 106.3          | 0.77 |       | 0.77   |
| 1.30            | 98.9           | 0.73 |       | 0.73   |
| 1.40            | 91.1           | 0.70 |       | 0.70   |
| 1.50            | 82.8           | 0.65 |       | 0.65   |

\*A curvefit for the VV column in terms of  $\theta$  is  
 $K_1 = 0.143\ 543 + 0.007\ 46\ 8\ \theta - 0.000\ 015\ 052\ \theta^2$   
 in the range  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ .

Fuente: Shigley, Mechanical Engineering Design.Eighth Editions

Anexo C 5 .- Designaciones normales de bandas trapeciales o en v

| Length Factor | Nominal Belt Length, in |            |            |            |           |
|---------------|-------------------------|------------|------------|------------|-----------|
|               | A Belts                 | B Belts    | C Belts    | D Belts    | E Belts   |
| 0.85          | Up to 35                | Up to 46   | Up to 75   | Up to 128  |           |
| 0.90          | 38-46                   | 48-60      | 81-96      | 144-162    | Up to 195 |
| 0.95          | 48-55                   | 62-75      | 105-120    | 173-210    | 210-240   |
| 1.00          | 60-75                   | 78-97      | 128-158    | 240        | 270-300   |
| 1.05          | 78-90                   | 105-120    | 162-195    | 270-330    | 330-390   |
| 1.10          | 96-112                  | 128-144    | 210-240    | 360-420    | 420-480   |
| 1.15          | 120 and up              | 158-180    | 270-300    | 480        | 540-600   |
| 1.20          |                         | 195 and up | 330 and up | 540 and up | 660       |

\*Multiply the rated horsepower per belt by this factor to obtain the corrected horsepower.

Fuente: Shigley, Mechanical Engineering Design.Eighth Editions

Anexo C 6 .- Viscosidad relativa

| Belt Section | $K_b$  | $K_c$ |
|--------------|--------|-------|
| A            | 220    | 0.561 |
| B            | 576    | 0.965 |
| C            | 1 600  | 1.716 |
| D            | 5 680  | 3.498 |
| E            | 10 850 | 5.041 |
| 3V           | 230    | 0.425 |
| 5V           | 1098   | 1.217 |
| 8V           | 4830   | 3.288 |

\*Data courtesy of Gates Rubber Co., Denver, Colo.

Fuente: Shigley, Mechanical Engineering Design.Eighth Editions

Anexo C 7 .- Acabado superficial

| Surface Finish         | Factor a      |              | Exponent b |
|------------------------|---------------|--------------|------------|
|                        | $S_{ut}$ kpsi | $S_{ut}$ MPa |            |
| Ground                 | 1.34          | 1.58         | -0.085     |
| Machined or cold-drawn | 2.70          | 4.51         | -0.265     |
| Hotrolled              | 14.4          | 57.7         | -0.718     |
| As-forged              | 39.9          | 272.         | -0.995     |

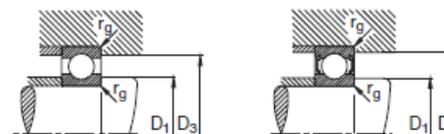
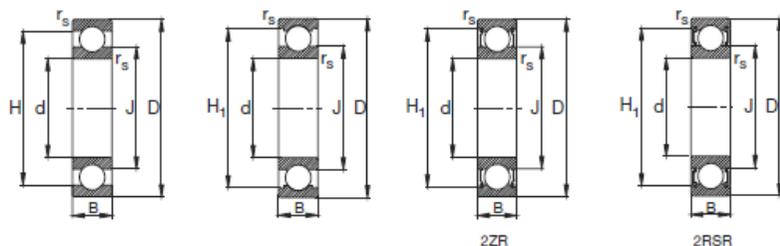
From C.I. Noll and C. Dipson, "Allowable Working Stresses," *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, no. 2, 1946 p. 29. Reproduced by O.J. Hanger (ed.) *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, New York. Copyright © 1953 by The McGraw-Hill Companies, Inc. Reprinted by permission.

Fuente: Shigley, Mechanical Engineering Design.Eighth Editions

Anexo C 8.- Rodamientos de bolas

Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera

Los rodamientos pueden alcanzar vida ilimitada, si  $C_0/P_0 \geq 8$ , ver I



| Eje | Dimensiones |    |    |                       |          |                       |          | Peso<br>...<br>kg | Capacidad de carga |                         | Velocidad límite<br>min <sup>-1</sup> | Velocidad de referencia | Denominación abreviada<br>Rodamiento<br>FAG | Medidas auxiliares          |                       |                       |     |
|-----|-------------|----|----|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|---|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----|
|     | d           | D  | B  | r <sub>s</sub><br>min | H<br>... | H <sub>1</sub><br>... | J<br>... |                   | dyn.<br>C          | stat.<br>C <sub>0</sub> |                                       |                         |   | D <sub>1</sub><br>min<br>mm | D <sub>2</sub><br>max | r <sub>g</sub><br>max |     |
|     | mm          |    |    |                       |          |                       |          |                   | kN                 |                         |                                       |                         |   |                             |                       |                       |     |
| 15  | 15          | 35 | 11 | 0,6                   | 29,3     | 30,9                  | 21,1     | 0,043             | 7,8                | 3,75                    | 26000                                 | 24000                   | 6202  | 19,2                        | 30,8                  | 0,6                   |     |
|     | 15          | 35 | 11 | 0,6                   | 29,3     | 30,9                  | 21,1     | 0,043             | 7,8                | 3,75                    | 26000                                 | 24000                   | S6202.W203B                                 | 19,2                        | 30,8                  | 0,6                   |     |
|     | 15          | 35 | 11 | 0,6                   | 29,3     | 30,9                  | 21,1     | 0,045             | 7,8                | 3,75                    | 20000                                 | 24000                   | 6202.2ZR                                    | 19,2                        | 30,8                  | 0,6                   |     |
|     | 15          | 35 | 11 | 0,6                   | 29,3     | 30,9                  | 21,1     | 0,045             | 7,8                | 3,75                    | 14000                                 |                         | 6202.2RSR                                   | 19,2                        | 30,8                  | 0,6                   |     |
|     | 15          | 35 | 11 | 0,6                   | 29,3     | 30,9                  | 21,1     | 0,045             | 7,8                | 3,75                    | 14000                                 |                         | S6202.2RSR.W203B                            | 19,2                        | 30,8                  | 0,6                   |     |
|     | 15          | 35 | 14 | 0,6                   | 29,3     | 30,9                  | 21,1     | 0,057             | 7,8                | 3,75                    | 14000                                 |                         | 62202.2RSR                                  | 19,2                        | 30,8                  | 0,6                   |     |
|     | 15          | 42 | 13 | 1                     | 33,5     | 35                    | 23,6     | 0,088             | 11,4               | 5,4                     | 43000                                 | 22000                   | 6302  | 20,6                        | 36,4                  | 1                     |     |
|     | 15          | 42 | 13 | 1                     | 33,5     | 35                    | 23,6     | 0,088             | 11,4               | 5,4                     | 43000                                 | 22000                   | S6302.W203B                                 | 20,6                        | 36,4                  | 1                     |     |
|     | 15          | 42 | 13 | 1                     | 33,5     | 35                    | 23,6     | 0,09              | 11,4               | 5,4                     | 18000                                 | 22000                   | 6302.2ZR                                    | 20,6                        | 36,4                  | 1                     |     |
|     | 15          | 42 | 13 | 1                     | 33,5     | 35                    | 23,6     | 0,09              | 11,4               | 5,4                     | 12000                                 |                         | 6302.2RSR                                   | 20,6                        | 36,4                  | 1                     |     |
|     | 15          | 42 | 13 | 1                     | 33,5     | 35                    | 23,6     | 0,09              | 11,4               | 5,4                     | 12000                                 |                         | S6302.2RSR.W203B                            | 20,6                        | 36,4                  | 1                     |     |
|     | 15          | 42 | 17 | 1                     | 33,5     | 35                    | 23,6     | 0,114             | 11,4               | 5,4                     | 12000                                 |                         | 62302.2RSR                                  | 20,6                        | 36,4                  | 1                     |     |
|     | 25          | 25 | 47 | 8                     | 0,3      | 39,7                  | 41,1     | 32,2              | 0,055              | 7,2                     | 4,65                                  | 10000                   | 14000                                       | 6005                        | 27                    | 45                    | 0,3 |
|     |             | 25 | 47 | 12                    | 0,5      | 40,2                  | 42,5     | 32                | 0,08               | 10                      | 5,85                                  | 36000                   | 17000                                       | 6005                        | 28,2                  | 43,8                  | 0,6 |
|     |             | 25 | 47 | 12                    | 0,5      | 40,2                  | 42,5     | 32                | 0,082              | 10                      | 5,85                                  | 36000                   | 17000                                       | S6005.W203B                 | 28,2                  | 43,8                  | 0,6 |
| 25  |             | 47 | 12 | 0,5                   | 40,2     | 42,5                  | 32       | 0,083             | 10                 | 5,85                    | 15000                                 | 17000                   | 6005.2ZR                                    | 28,2                        | 43,8                  | 0,6                   |     |
| 25  |             | 47 | 12 | 0,5                   | 40,2     | 42,5                  | 32       | 0,084             | 10                 | 5,85                    | 10000                                 |                         | 6005.2RSR                                   | 28,2                        | 43,8                  | 0,6                   |     |
| 25  |             | 47 | 12 | 0,5                   | 40,2     | 42,5                  | 32       | 0,083             | 10                 | 5,85                    | 10000                                 |                         | S6005.2RSR.W203B                            | 28,2                        | 43,8                  | 0,6                   |     |
| 25  |             | 52 | 15 | 1                     | 43,6     | 45,4                  | 33,5     | 0,128             | 14                 | 7,8                     | 17000                                 | 17000                   | 6205  | 30,6                        | 46,4                  | 1                     |     |
| 25  |             | 52 | 15 | 1                     | 43,6     | 45,4                  | 33,5     | 0,128             | 14                 | 7,8                     | 17000                                 | 17000                   | S6205.W203B                                 | 30,6                        | 46,4                  | 1                     |     |
| 25  |             | 52 | 15 | 1                     | 43,6     | 45,4                  | 33,5     | 0,132             | 14                 | 7,8                     | 14000                                 |                         | 6205.2ZR                                    | 30,6                        | 46,4                  | 1                     |     |
| 25  |             | 52 | 15 | 1                     | 43,6     | 45,4                  | 33,5     | 0,132             | 14                 | 7,8                     | 3000                                  |                         | 6205.2RSR                                   | 30,6                        | 46,4                  | 1                     |     |

Fuente: El autor

Anexo C 9 .- Datos técnicos de quemadores industriales a gas



SERIE X

DAT. TECNICI - TECHNICAL DATA

| MODELLO<br>MODEL  |        | GAS X0<br>CE                           | GAS<br>X1CE | GAS X2<br>CE | GAS X3<br>CE | GAS X4<br>CE | GAS X5<br>CE | GAS<br>X1/2<br>CE | GAS<br>X2/2<br>CE | GAS<br>X3/2<br>CE |
|---|--------|--|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Potenza termica min-Max<br>Thermal power min-Max  | Mcal/h | 10-29.5                                | 20-50       | 35-80        | 60-150       | 100-200      | 130-300      | 15.5/20-50        | 21/35-80          | 30/60-150         |
| Potenza termica min-Max<br>Thermal power min-Max  | kW     | 11.5-34                                | 23-58       | 40.5-93      | 70-174       | 116-232      | 151-349      | 18/23-58          | 24/41-93          | 35/70-174         |
| Portata G20 (Metano) min-Max<br>Flow G20 (Natural gas) min-Max  | Nm³/h  | 1.2-3.4                                | 2.3-5.8     | 4.1-9.4      | 7-17.4       | 11.6-23.2    | 15.2-35      | 1.8/2.3-5.8       | 2.5/4.1-9.4       | 3.5/7-17.4        |
| Portata G31 (GPL) min-Max<br>How G31 (LPG) min-Max  | Nm³/h  | 0.5-1.3                                | 0.9-2.3     | 1.6-3.6      | 2.7-6.5      | 4.5-9        | 5.8-13.5     | 0.7/0.9-2.3       | 0.9/1.6-3.6       | 1.3/2.7-6.5       |
| Combustibile: Gas naturale (2° famiglia) / GPL (3° famiglia)<br>Fuel: Natural gas (2° family) / LPG (3° family) |        | Gas naturale / GPL - Natural gas / LPG |             |              |              |              |              |                   |                   |                   |
| Max temperatura aria comburente<br>Max combustion air temperature   | °C     | 60                                     | 60          | 60           | 60           | 60           | 60           | 60                | 60                | 60                |
| Pressione min. rampa D1/2"-S (metano/GPL)<br>Min. inlet pressure D1/2"-S (natural gas/LPG)                      | mbar   | 7/18                                   | 14-31       | -            | -            | -            | -            | 14/31             | -                 | -                 |
| Pressione min. rampa D3/4"-S (metano/GPL)<br>Min. inlet pressure D3/4"-S (natural gas/LPG)                      | mbar   |  |             | 18/24        |              |              |              |                   | 16/28             |                   |
| Pressione min. rampa D1"-S (metano/GPL)<br>Min. inlet pressure D1"-S (natural gas/LPG)                          | mbar   | -                                      | -           | -            | 14/31        | 14/21        | 27/33        | -                 | -                 | 14/31             |
| Pressione min. rampa D1"1/4"-S (metano/GPL)<br>Min. inlet pressure D1"1/4"-S (natural gas/LPG)                  | mbar   | -                                      | -           | -            | -            | -            | 16/25        | -                 | -                 | -                 |
| Pressione massima ingresso valvole Fe.Max<br>Max inlet pressure Pe.Max  | mbar   | 60                                     | 60          | 360          | 360          | 360          | 360          | 60                | 200               | 360               |
| Potenza elettrica<br>Electrical power   | W      | 80                                     | 110         | 130          | 200          | 226          | 540          | 110               | 130               | 200               |
| Potenza motore<br>Motor power   | W      | 50                                     | 75          | 75           | 110          | 200          | 370          | 75                | 75                | 110               |
| Assorbimento nominale<br>Nominal absorption   | A      | 0.5                                    | 0.6         | 0.6          | 0.9          | 1.1          | 2.4          | 0.6               | 0.6               | 0.9               |
| Alimentazione elettrica<br>Power supply   |        | 1/N~230V-50Hz                          |             |              |              |              |              |                   |                   |                   |
| Rumorosità min-Max<br>Noisiness min-Max   | dB(A)  | 52-55                                  | 59-60       | 60-61        | 64-66        | 64-66        | 67-71        | 60-61             | 61-62             | 66-69             |
| Peso bruciatore<br>Burner weight  | kg     | 8                                      | 10          | 10           | 13           | 15           | 24           | 11                | 11                | 15                |

| MODELLO<br>MODEL           | B   | C   | ØD  | E  | F   | G   | H  | I   | L   | M   | ØN  | O  | P   | Q   | S   |
|----------------------------|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| GAS X 1/2 CE - D1/2" S     | 157 | 170 | 90  | 45 | 313 | 210 | 65 | 130 | 160 | 130 | 100 | 30 | M8  | R15 | 150 |
| GAS X 3/2 CE - D3/4" S     | 157 | 170 | 90  | 45 | 313 | 210 | 65 | 130 | 160 | 130 | 100 | 30 | M8  | R15 | 150 |
| GAS X 3/2 CE - D1" S       | 185 | 195 | 108 | 52 | 340 | 248 | 70 | 160 | 170 | 150 | 120 | 30 | M8  | R15 | 190 |
| GAS X 4/2 CE - D1" S       | 185 | 195 | 125 | 78 | 368 | 248 | 70 | -   | 226 | 170 | 135 | 40 | M10 | R30 | 220 |
| GAS X 5/2 CE - D1" S       | 207 | 213 | 138 | 98 | 462 | 310 | 90 | -   | 226 | 205 | 148 | -  | M10 | R30 | 220 |
| GAS X 5/2 CE - CT D1" S    | 207 | 213 | 138 | 98 | 462 | 310 | 90 | -   | 226 | 205 | 148 | -  | M10 | R30 | 220 |
| GAS X 5/2 CE - D1"1/4 S    | 207 | 213 | 138 | 98 | 462 | 310 | 90 | -   | 226 | 205 | 148 | -  | M10 | R30 | 220 |
| GAS X 5/2 CE - CT D1"1/4 S | 207 | 213 | 138 | 98 | 462 | 310 | 90 | -   | 226 | 205 | 148 | -  | M10 | R30 | 220 |

Fuente: www.fbr.it

## Motorreductores

### Motorreductores de ejes coaxiales

#### Motorreductores de hasta 200 kW

Datos para selección y pedidos (continuación)

| Potencia<br>$P_{motor}$<br>kW | Velocidad de salida                |                                    | Par de salida<br>$T_2$<br>Nm | Factor de servicio<br>$f_S$ | Índice de reducción<br>$i_{tot}$ | Referencia             | Código<br>(n.º polos) | Peso *)<br>kg |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------|
|                               | $n_2$ (50 Hz)<br>min <sup>-1</sup> | $n_2$ (60 Hz)<br>min <sup>-1</sup> |                              |                             |                                  |                        |                       |               |
| 0,75 (50 Hz)                  | <b>Z.18-LA71ZMD4</b>               |                                    |                              |                             |                                  |                        |                       |               |
| 0,9 (60 Hz)                   | 106                                | 127                                | 67                           | 1,3                         | 12,50                            | 2KJ1100 - ■CH13 - ■■K1 |                       | 9             |
|                               | 122                                | 146                                | 59                           | 1,5                         | 10,88 ★                          | 2KJ1100 - ■CH13 - ■■J1 |                       | 9             |
|                               | 136                                | 163                                | 53                           | 1,6                         | 9,81                             | 2KJ1100 - ■CH13 - ■■H1 |                       | 9             |
|                               | 154                                | 185                                | 47                           | 1,7                         | 8,66                             | 2KJ1100 - ■CH13 - ■■G1 |                       | 9             |
|                               | 179                                | 215                                | 40                           | 1,4                         | 7,42 ★                           | 2KJ1100 - ■CH13 - ■■F1 |                       | 9             |
|                               | 206                                | 247                                | 35                           | 1,5                         | 6,45                             | 2KJ1100 - ■CH13 - ■■E1 |                       | 9             |
|                               | 237                                | 284                                | 30                           | 1,7                         | 5,61 ★                           | 2KJ1100 - ■CH13 - ■■D1 |                       | 9             |
|                               | 263                                | 316                                | 27                           | 1,8                         | 5,06                             | 2KJ1100 - ■CH13 - ■■C1 |                       | 9             |
|                               | 298                                | 358                                | 24                           | 2,0                         | 4,47                             | 2KJ1100 - ■CH13 - ■■B1 |                       | 9             |
|                               | 372                                | 446                                | 19                           | 2,4                         | 3,58 ★                           | 2KJ1100 - ■CH13 - ■■A1 |                       | 9             |
|                               | <b>E.68-LA80M4</b>                 |                                    |                              |                             |                                  |                        |                       |               |
|                               | 112                                | 134                                | 64                           | 1,3                         | 12,40 ★                          | 2KJ1003 - ■DC13 - ■■W1 |                       | 30            |
|                               | 125                                | 150                                | 57                           | 1,6                         | 11,18                            | 2KJ1003 - ■DC13 - ■■V1 |                       | 30            |
|                               | 138                                | 166                                | 52                           | 1,8                         | 10,08 ★                          | 2KJ1003 - ■DC13 - ■■U1 |                       | 30            |
|                               | 158                                | 190                                | 45                           | 3,3                         | 8,82                             | 2KJ1003 - ■DC13 - ■■T1 |                       | 30            |
|                               | 176                                | 211                                | 41                           | 4,2                         | 7,92 ★                           | 2KJ1003 - ■DC13 - ■■S1 |                       | 30            |
|                               | 193                                | 232                                | 37                           | 4,0                         | 7,23                             | 2KJ1003 - ■DC13 - ■■R1 |                       | 30            |
|                               | <b>E.48-LA80M4</b>                 |                                    |                              |                             |                                  |                        |                       |               |
|                               | 123                                | 148                                | 58                           | 0,95                        | 11,30                            | 2KJ1002 - ■DC13 - ■■U1 |                       | 20            |
|                               | 140                                | 168                                | 51                           | 1,6                         | 10,00 ★                          | 2KJ1002 - ■DC13 - ■■T1 |                       | 20            |
|                               | 153                                | 184                                | 47                           | 1,4                         | 9,09                             | 2KJ1002 - ■DC13 - ■■S1 |                       | 20            |
|                               | 171                                | 205                                | 42                           | 2,0                         | 8,17 ★                           | 2KJ1002 - ■DC13 - ■■R1 |                       | 20            |
|                               | 199                                | 239                                | 36                           | 2,7                         | 7,00                             | 2KJ1002 - ■DC13 - ■■Q1 |                       | 20            |
|                               | 220                                | 264                                | 32                           | 3,5                         | 6,33 ★                           | 2KJ1002 - ■DC13 - ■■P1 |                       | 20            |
|                               | 238                                | 286                                | 30                           | 4,0                         | 5,85                             | 2KJ1002 - ■DC13 - ■■N1 |                       | 20            |
|                               | 275                                | 330                                | 26                           | 4,6                         | 5,08 ★                           | 2KJ1002 - ■DC13 - ■■M1 |                       | 20            |

★ Reducción preferente

Para versiones de eje, ver la página 2/117

1, 2 ó 9

Para frecuencias y tensiones, ver la página 8/18

1 a 9

Para formas de carcasa, ver la página 2/116

A, F, H ó R

\*) para forma constructiva B3

Fuente: [www.siemens.com/motors](http://www.siemens.com/motors)

Anexo C 11 .- Propiedades del aire a presión de 1 atm

**TABLA A-15**

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

| Temp.,<br>T, °C | Densidad,<br>$\rho$ , kg/m <sup>3</sup> | Calor<br>específico,<br>$c_p$ , J/kg · K | Conductividad<br>térmica,<br>k, W/m · K | Difusividad<br>térmica,<br>$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | Viscosidad<br>dinámica,<br>$\mu$ , kg/m · s | Viscosidad<br>cinemática,<br>$\nu$ , m <sup>2</sup> /s | Número<br>de Prandtl,<br>Pr |
|-----------------|---|--|---|--|---|--|-----------------------------|
| -150            | 2.866                                   | 983                                      | 0.01171                                 | $4.158 \times 10^{-6}$   | $8.636 \times 10^{-6}$                      | $3.013 \times 10^{-4}$                                 | 0.7246                      |
| -100            | 2.038                                   | 966                                      | 0.01582                                 | $8.036 \times 10^{-6}$   | $1.189 \times 10^{-5}$                      | $5.837 \times 10^{-5}$                                 | 0.7263                      |
| -50             | 1.582                                   | 999                                      | 0.01979                                 | $1.252 \times 10^{-5}$   | $1.474 \times 10^{-5}$                      | $9.319 \times 10^{-6}$                                 | 0.7440                      |
| -40             | 1.514                                   | 1 002                                    | 0.02057                                 | $1.356 \times 10^{-5}$   | $1.527 \times 10^{-5}$                      | $1.008 \times 10^{-5}$                                 | 0.7436                      |
| -30             | 1.451                                   | 1 004                                    | 0.02134                                 | $1.465 \times 10^{-5}$   | $1.579 \times 10^{-5}$                      | $1.087 \times 10^{-5}$                                 | 0.7425                      |
| -20             | 1.394                                   | 1 005                                    | 0.02211                                 | $1.578 \times 10^{-5}$   | $1.630 \times 10^{-5}$                      | $1.169 \times 10^{-5}$                                 | 0.7408                      |
| -10             | 1.341                                   | 1 006                                    | 0.02288                                 | $1.696 \times 10^{-5}$   | $1.680 \times 10^{-5}$                      | $1.252 \times 10^{-5}$                                 | 0.7387                      |
| 0               | 1.292                                   | 1 006                                    | 0.02364                                 | $1.818 \times 10^{-5}$   | $1.729 \times 10^{-5}$                      | $1.338 \times 10^{-5}$                                 | 0.7362                      |
| 5               | 1.269                                   | 1 006                                    | 0.02401                                 | $1.880 \times 10^{-5}$   | $1.754 \times 10^{-5}$                      | $1.382 \times 10^{-5}$                                 | 0.7350                      |
| 10              | 1.246                                   | 1 006                                    | 0.02439                                 | $1.944 \times 10^{-5}$   | $1.778 \times 10^{-5}$                      | $1.426 \times 10^{-5}$                                 | 0.7336                      |
| 15              | 1.225                                   | 1 007                                    | 0.02476                                 | $2.009 \times 10^{-5}$   | $1.802 \times 10^{-5}$                      | $1.470 \times 10^{-5}$                                 | 0.7323                      |
| 20              | 1.204                                   | 1 007                                    | 0.02514                                 | $2.074 \times 10^{-5}$   | $1.825 \times 10^{-5}$                      | $1.516 \times 10^{-5}$                                 | 0.7309                      |
| 25              | 1.184                                   | 1 007                                    | 0.02551                                 | $2.141 \times 10^{-5}$   | $1.849 \times 10^{-5}$                      | $1.562 \times 10^{-5}$                                 | 0.7296                      |
| 30              | 1.164                                   | 1 007                                    | 0.02588                                 | $2.208 \times 10^{-5}$   | $1.872 \times 10^{-5}$                      | $1.608 \times 10^{-5}$                                 | 0.7282                      |
| 35              | 1.145                                   | 1 007                                    | 0.02625                                 | $2.277 \times 10^{-5}$   | $1.895 \times 10^{-5}$                      | $1.655 \times 10^{-5}$                                 | 0.7268                      |
| 40              | 1.127                                   | 1 007                                    | 0.02662                                 | $2.346 \times 10^{-5}$   | $1.918 \times 10^{-5}$                      | $1.702 \times 10^{-5}$                                 | 0.7255                      |
| 45              | 1.109                                   | 1 007                                    | 0.02699                                 | $2.416 \times 10^{-5}$   | $1.941 \times 10^{-5}$                      | $1.750 \times 10^{-5}$                                 | 0.7241                      |
| 50              | 1.092                                   | 1 007                                    | 0.02735                                 | $2.487 \times 10^{-5}$   | $1.963 \times 10^{-5}$                      | $1.798 \times 10^{-5}$                                 | 0.7228                      |
| 60              | 1.059                                   | 1 007                                    | 0.02808                                 | $2.632 \times 10^{-5}$   | $2.008 \times 10^{-5}$                      | $1.896 \times 10^{-5}$                                 | 0.7202                      |
| 70              | 1.028                                   | 1 007                                    | 0.02881                                 | $2.780 \times 10^{-5}$   | $2.052 \times 10^{-5}$                      | $1.995 \times 10^{-5}$                                 | 0.7177                      |
| 80              | 0.9994                                  | 1 008                                    | 0.02953                                 | $2.931 \times 10^{-5}$   | $2.096 \times 10^{-5}$                      | $2.097 \times 10^{-5}$                                 | 0.7154                      |
| 90              | 0.9718                                  | 1 008                                    | 0.03024                                 | $3.086 \times 10^{-5}$   | $2.139 \times 10^{-5}$                      | $2.201 \times 10^{-5}$                                 | 0.7132                      |
| 100             | 0.9458                                  | 1 009                                    | 0.03095                                 | $3.243 \times 10^{-5}$   | $2.181 \times 10^{-5}$                      | $2.306 \times 10^{-5}$                                 | 0.7111                      |
| 120             | 0.8977                                  | 1 011                                    | 0.03235                                 | $3.565 \times 10^{-5}$   | $2.264 \times 10^{-5}$                      | $2.522 \times 10^{-5}$                                 | 0.7073                      |
| 140             | 0.8542                                  | 1 013                                    | 0.03374                                 | $3.898 \times 10^{-5}$   | $2.345 \times 10^{-5}$                      | $2.745 \times 10^{-5}$                                 | 0.7041                      |
| 160             | 0.8148                                  | 1 016                                    | 0.03511                                 | $4.241 \times 10^{-5}$   | $2.420 \times 10^{-5}$                      | $2.975 \times 10^{-5}$                                 | 0.7014                      |
| 180             | 0.7788                                  | 1 019                                    | 0.03646                                 | $4.593 \times 10^{-5}$   | $2.504 \times 10^{-5}$                      | $3.212 \times 10^{-5}$                                 | 0.6992                      |
| 200             | 0.7459                                  | 1 023                                    | 0.03779                                 | $4.954 \times 10^{-5}$   | $2.577 \times 10^{-5}$                      | $3.455 \times 10^{-5}$                                 | 0.6974                      |
| 250             | 0.6746                                  | 1 033                                    | 0.04104                                 | $5.890 \times 10^{-5}$   | $2.760 \times 10^{-5}$                      | $4.091 \times 10^{-5}$                                 | 0.6946                      |
| 300             | 0.6158                                  | 1 044                                    | 0.04418                                 | $6.871 \times 10^{-5}$   | $2.934 \times 10^{-5}$                      | $4.765 \times 10^{-5}$                                 | 0.6935                      |
| 350             | 0.5664                                  | 1 056                                    | 0.04721                                 | $7.892 \times 10^{-5}$   | $3.101 \times 10^{-5}$                      | $5.475 \times 10^{-5}$                                 | 0.6937                      |
| 400             | 0.5243                                  | 1 069                                    | 0.05015                                 | $8.951 \times 10^{-5}$   | $3.261 \times 10^{-5}$                      | $6.219 \times 10^{-5}$                                 | 0.6948                      |
| 450             | 0.4880                                  | 1 081                                    | 0.05298                                 | $1.004 \times 10^{-4}$   | $3.415 \times 10^{-5}$                      | $6.997 \times 10^{-5}$                                 | 0.6965                      |
| 500             | 0.4565                                  | 1 093                                    | 0.05572                                 | $1.117 \times 10^{-4}$   | $3.563 \times 10^{-5}$                      | $7.806 \times 10^{-5}$                                 | 0.6986                      |
| 600             | 0.4042                                  | 1 115                                    | 0.06093                                 | $1.352 \times 10^{-4}$   | $3.846 \times 10^{-5}$                      | $9.515 \times 10^{-5}$                                 | 0.7037                      |
| 700             | 0.3627                                  | 1 135                                    | 0.06581                                 | $1.598 \times 10^{-4}$   | $4.111 \times 10^{-5}$                      | $1.133 \times 10^{-4}$                                 | 0.7092                      |
| 800             | 0.3289                                  | 1 153                                    | 0.07037                                 | $1.855 \times 10^{-4}$   | $4.362 \times 10^{-5}$                      | $1.326 \times 10^{-4}$                                 | 0.7149                      |
| 900             | 0.3008                                  | 1 169                                    | 0.07465                                 | $2.122 \times 10^{-4}$   | $4.600 \times 10^{-5}$                      | $1.529 \times 10^{-4}$                                 | 0.7206                      |
| 1 000           | 0.2772                                  | 1 184                                    | 0.07868                                 | $2.398 \times 10^{-4}$   | $4.826 \times 10^{-5}$                      | $1.741 \times 10^{-4}$                                 | 0.7260                      |
| 1 500           | 0.1990                                  | 1 234                                    | 0.09599                                 | $3.908 \times 10^{-4}$   | $5.817 \times 10^{-5}$                      | $2.922 \times 10^{-4}$                                 | 0.7478                      |
| 2 000           | 0.1553                                  | 1 264                                    | 0.11113                                 | $5.664 \times 10^{-4}$   | $6.630 \times 10^{-5}$                      | $4.270 \times 10^{-4}$                                 | 0.7539                      |

Nota: Para los gases ideales, las propiedades  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de  $\rho$ , a la temperatura dada, por  $P$  y al dividir  $\nu$  y  $\alpha$  entre  $P$ .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley 198, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermanns, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-306067020-8.

Fuente: Çengel, Y. A., Transferencia de calor y masa, 2007

Anexo C 12.- Propiedades del acero inoxidable AISI 304

| Propiedades de metales sólidos (continuación)  |                    |                        |                            |              |  |  |      |             |             |             |               |
|--|--------------------|------------------------|----------------------------|--------------|--|--|------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Composición  | Punto de fusión, K | Propiedades a 300 K    |                            |              |  | Propiedades a varias temperaturas (K),<br>k(W/m · K)/c <sub>p</sub> (J/kg · K) |      |             |             |             |               |
|  |                    | ρ<br>kg/m <sup>3</sup> | c <sub>p</sub><br>J/kg · K | k<br>W/m · K | α × 10 <sup>6</sup><br>m <sup>2</sup> /s | 100  | 200  | 400         | 600         | 800         | 1 000         |
| Al carbono-manganeso-silicio<br>(1% < Mn < 1.65%<br>0.1% < Si < 0.6%)                |                    | 8 131                  | 434                        | 41.0         | 11.6                                     |  |      | 42.2<br>487 | 39.7<br>559 | 35.0<br>685 | 27.6<br>1 090 |
| Aceros al cromo (bajo):<br>½ Cr-¼ Mo-Si (0.18% C,<br>0.65% Cr, 0.23% Mo,<br>0.6% Si) |                    | 7 822                  | 444                        | 37.7         | 10.9                                     |  |      | 38.2        | 36.7        | 33.3        | 26.9          |
| 1Cr-½ Mo<br>(0.16% C, 1% Cr,<br>0.54% Mo,<br>0.39% Si)                               |                    | 7 858                  | 442                        | 42.3         | 12.2                                     |  |      | 492<br>42.0 | 575<br>39.1 | 688<br>34.5 | 969<br>27.4   |
| 1Cr-V<br>(0.2% C, 1.02% Cr,<br>0.15% V)  |                    | 7 836                  | 443                        | 48.9         | 14.1                                     |  |      | 492<br>46.8 | 575<br>42.1 | 688<br>36.3 | 969<br>28.2   |
| Aceros inoxidables:  |                    |                        |                            |              |  |  |      |             |             |             |               |
| AISI 302   |                    | 8 055                  | 480                        | 15.1         | 3.91                                     |  |      | 17.3<br>512 | 20.0<br>559 | 22.8<br>585 | 25.4<br>606   |
| AISI 304   | 1 670              | 7 900                  | 477                        | 14.9         | 3.95                                     | 9.2  | 12.6 | 16.6        | 19.8        | 22.6        | 25.4          |
| AISI 316   |                    | 8 238                  | 468                        | 13.4         | 3.48                                     | 272  | 402  | 515         | 557         | 582         | 611           |
| AISI 347   |                    | 7 978                  | 480                        | 14.2         | 3.71                                     |  |      | 15.2<br>504 | 18.3<br>550 | 21.3<br>576 | 24.2<br>602   |
| Plomo  | 601                | 11 340                 | 129                        | 35.3         | 24.1                                     | 39.7   | 36.7 | 34.0        | 31.4        |             |               |
| Magnesio   | 923                | 1 740                  | 1 024                      | 156          | 87.6                                     | 118  | 125  | 132         | 142         |             |               |
| Molibdeno  | 2 894              | 10 240                 | 251                        | 138          | 53.7                                     | 649  | 934  | 1 074       | 1 170       | 1 267       |               |
| Níquel:  |                    |                        |                            |              |  |  |      |             |             |             |               |
| Puro   | 1 728              | 8 900                  | 444                        | 90.7         | 23.0                                     | 179  | 143  | 134         | 126         | 118         | 112           |
| Nicromo<br>(80% Ni, 20% Cr)  | 1 672              | 8 400                  | 420                        | 12           | 3.4                                      | 141  | 224  | 261         | 275         | 285         | 295           |
| Inconel X-750<br>(73% Ni, 15% Cr,<br>6.7% Fe)  | 1 665              | 8 510                  | 439                        | 11.7         | 3.1                                      | 164  | 107  | 80.2        | 65.6        | 67.6        | 71.8          |
| Niobio   | 2 741              | 8 570                  | 265                        | 53.7         | 23.6                                     | 232  | 383  | 485         | 592         | 530         | 562           |
| Paladio  | 1 827              | 12 020                 | 244                        | 71.8         | 24.5                                     | 480  |      | 14          | 16          | 21          |               |
| Platino:   |                    |                        |                            |              |  |  |      | 480         | 525         | 545         |               |
| Puro   | 2 045              | 21 450                 | 133                        | 71.6         | 25.1                                     | 8.7  | 10.3 | 13.5        | 17.0        | 20.5        | 24.0          |
| Aleación 60Pt-40Rh<br>(60% Pt, 40% Rh)   | 1 800              | 16 630                 | 162                        | 47           | 17.4                                     | —  | 372  | 473         | 510         | 546         | 626           |
| Renio  | 3 453              | 21 100                 | 136                        | 47.9         | 16.7                                     | 55.2   | 52.6 | 55.2        | 58.2        | 61.3        | 64.4          |
| Rodio  | 2 236              | 12 450                 | 243                        | 150          | 49.6                                     | 188  | 249  | 274         | 283         | 292         | 301           |
|  |                    |                        |                            |              |  | 76.5   | 71.6 | 73.6        | 79.7        | 86.9        | 94.2          |
|  |                    |                        |                            |              |  | 168  | 227  | 251         | 261         | 271         | 281           |
|  |                    |                        |                            |              |  | 77.5   | 72.6 | 71.8        | 73.2        | 75.6        | 78.7          |
|  |                    |                        |                            |              |  | 100  | 125  | 136         | 141         | 146         | 152           |
|  |                    |                        |                            |              |  | 58.9   | 51.0 | 52          | 59          | 65          | 69            |
|  |                    |                        |                            |              |  | 97   | 127  | —           | —           | —           | —             |
|  |                    |                        |                            |              |  | 186  | 154  | 146         | 136         | 127         | 121           |
|  |                    |                        |                            |              |  | 147  | 220  | 253         | 274         | 293         | 311           |

Fuente: Çengel, Y. A., Transferencia de calor y masa, 2007

Anexo C 13.- Propiedades del agua saturada

| Propiedades del agua saturada |  |                                  |        |   |  |       |                                     |        |                                    |                          |                       |       |  |
|-------------------------------|--|----------------------------------|--------|---|--|-------|-------------------------------------|--------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------|--|
| Temp.,<br>T °C                | Presión de saturación,<br>P <sub>sat</sub> , kPa | Densidad,<br>ρ kg/m <sup>3</sup> |        | Entalpia de vaporización,<br>h <sub>g</sub> , kJ/kg | Calor específico,<br>c <sub>p</sub> , J/kg · K |       | Conductividad térmica,<br>k W/m · K |        | Viscosidad dinámica,<br>μ kg/m · s |                          | Número de Prandtl, Pr |       | Coeficiente de expansión volumétrica,<br>β 1/K |
|                               |  | Líquido                          | Vapor  |   | Líquido  | Vapor | Líquido                             | Vapor  | Líquido                            | Vapor                    | Líquido               | Vapor |  |
| 0.01                          | 0.6113   | 999.8                            | 0.0048 | 2.501   | 4.217  | 1.854 | 0.561                               | 0.0171 | 1.792 × 10 <sup>-3</sup>           | 0.922 × 10 <sup>-5</sup> | 13.5                  | 1.00  | 0.068 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 5                             | 0.8721   | 999.9                            | 0.0068 | 2.490   | 4.205  | 1.857 | 0.571                               | 0.0173 | 1.519 × 10 <sup>-3</sup>           | 0.934 × 10 <sup>-5</sup> | 11.2                  | 1.00  | 0.015 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 10                            | 1.2276   | 999.7                            | 0.0094 | 2.478   | 4.194  | 1.862 | 0.580                               | 0.0176 | 1.307 × 10 <sup>-3</sup>           | 0.946 × 10 <sup>-5</sup> | 9.45                  | 1.00  | 0.733 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 15                            | 1.7051   | 999.1                            | 0.0128 | 2.466   | 4.186  | 1.863 | 0.589                               | 0.0179 | 1.138 × 10 <sup>-3</sup>           | 0.959 × 10 <sup>-5</sup> | 8.09                  | 1.00  | 0.138 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 20                            | 2.339  | 998.0                            | 0.0173 | 2.454   | 4.182  | 1.867 | 0.598                               | 0.0182 | 1.002 × 10 <sup>-3</sup>           | 0.973 × 10 <sup>-5</sup> | 7.01                  | 1.00  | 0.195 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 25                            | 3.169  | 997.0                            | 0.0231 | 2.442   | 4.180  | 1.870 | 0.607                               | 0.0186 | 0.891 × 10 <sup>-3</sup>           | 0.987 × 10 <sup>-5</sup> | 6.14                  | 1.00  | 0.247 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 30                            | 4.246  | 996.0                            | 0.0304 | 2.431   | 4.178  | 1.875 | 0.615                               | 0.0189 | 0.798 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.001 × 10 <sup>-5</sup> | 5.42                  | 1.00  | 0.294 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 35                            | 5.628  | 994.0                            | 0.0397 | 2.419   | 4.178  | 1.880 | 0.623                               | 0.0192 | 0.720 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.016 × 10 <sup>-5</sup> | 4.83                  | 1.00  | 0.337 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 40                            | 7.384  | 992.1                            | 0.0512 | 2.407   | 4.179  | 1.885 | 0.631                               | 0.0196 | 0.653 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.031 × 10 <sup>-5</sup> | 4.32                  | 1.00  | 0.377 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 45                            | 9.593  | 990.1                            | 0.0655 | 2.395   | 4.180  | 1.892 | 0.637                               | 0.0200 | 0.596 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.046 × 10 <sup>-5</sup> | 3.91                  | 1.00  | 0.415 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 50                            | 12.35  | 988.1                            | 0.0831 | 2.383   | 4.181  | 1.900 | 0.644                               | 0.0204 | 0.547 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.062 × 10 <sup>-5</sup> | 3.55                  | 1.00  | 0.451 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 55                            | 15.76  | 985.2                            | 0.1045 | 2.371   | 4.183  | 1.908 | 0.649                               | 0.0208 | 0.504 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.077 × 10 <sup>-5</sup> | 3.25                  | 1.00  | 0.484 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 60                            | 19.94  | 983.3                            | 0.1304 | 2.359   | 4.185  | 1.916 | 0.654                               | 0.0212 | 0.467 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.093 × 10 <sup>-5</sup> | 2.99                  | 1.00  | 0.517 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 65                            | 25.03  | 980.4                            | 0.1614 | 2.346   | 4.187  | 1.926 | 0.659                               | 0.0216 | 0.433 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.110 × 10 <sup>-5</sup> | 2.75                  | 1.00  | 0.548 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 70                            | 31.19  | 977.5                            | 0.1983 | 2.334   | 4.190  | 1.936 | 0.663                               | 0.0221 | 0.404 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.126 × 10 <sup>-5</sup> | 2.55                  | 1.00  | 0.578 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 75                            | 38.58  | 974.7                            | 0.2421 | 2.321   | 4.193  | 1.948 | 0.667                               | 0.0225 | 0.378 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.142 × 10 <sup>-5</sup> | 2.38                  | 1.00  | 0.607 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 80                            | 47.39  | 971.8                            | 0.2935 | 2.309   | 4.197  | 1.962 | 0.670                               | 0.0230 | 0.355 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.159 × 10 <sup>-5</sup> | 2.22                  | 1.00  | 0.653 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 85                            | 57.83  | 968.1                            | 0.3536 | 2.296   | 4.201  | 1.977 | 0.673                               | 0.0235 | 0.333 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.176 × 10 <sup>-5</sup> | 2.08                  | 1.00  | 0.670 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 90                            | 70.14  | 965.3                            | 0.4235 | 2.283   | 4.206  | 1.993 | 0.675                               | 0.0240 | 0.315 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.193 × 10 <sup>-5</sup> | 1.96                  | 1.00  | 0.702 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 95                            | 84.55  | 961.5                            | 0.5045 | 2.270   | 4.212  | 2.010 | 0.677                               | 0.0246 | 0.297 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.210 × 10 <sup>-5</sup> | 1.85                  | 1.00  | 0.716 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 100                           | 101.33   | 957.9                            | 0.5978 | 2.257   | 4.217  | 2.029 | 0.679                               | 0.0251 | 0.282 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.227 × 10 <sup>-5</sup> | 1.75                  | 1.00  | 0.750 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 110                           | 143.27   | 950.6                            | 0.8263 | 2.230   | 4.229  | 2.071 | 0.682                               | 0.0262 | 0.255 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.261 × 10 <sup>-5</sup> | 1.58                  | 1.00  | 0.798 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 120                           | 198.53   | 943.4                            | 1.121  | 2.203   | 4.244  | 2.120 | 0.683                               | 0.0275 | 0.232 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.296 × 10 <sup>-5</sup> | 1.44                  | 1.00  | 0.858 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 130                           | 270.1  | 934.6                            | 1.496  | 2.174   | 4.263  | 2.177 | 0.684                               | 0.0288 | 0.213 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.330 × 10 <sup>-5</sup> | 1.33                  | 1.01  | 0.913 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 140                           | 361.3  | 924.7                            | 1.965  | 2.145   | 4.286  | 2.244 | 0.683                               | 0.0301 | 0.197 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.365 × 10 <sup>-5</sup> | 1.24                  | 1.02  | 0.970 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 150                           | 475.8  | 916.6                            | 2.546  | 2.114   | 4.311  | 2.314 | 0.682                               | 0.0316 | 0.183 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.399 × 10 <sup>-5</sup> | 1.16                  | 1.02  | 1.025 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 160                           | 617.8  | 907.4                            | 3.256  | 2.083   | 4.340  | 2.420 | 0.680                               | 0.0331 | 0.170 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.434 × 10 <sup>-5</sup> | 1.09                  | 1.05  | 1.145 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 170                           | 791.7  | 897.7                            | 4.119  | 2.050   | 4.370  | 2.490 | 0.677                               | 0.0347 | 0.160 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.468 × 10 <sup>-5</sup> | 1.03                  | 1.05  | 1.178 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 180                           | 1.002.1  | 887.3                            | 5.153  | 2.015   | 4.410  | 2.590 | 0.673                               | 0.0364 | 0.150 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.502 × 10 <sup>-5</sup> | 0.983                 | 1.07  | 1.210 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 190                           | 1.254.4  | 876.4                            | 6.388  | 1.979   | 4.460  | 2.710 | 0.669                               | 0.0382 | 0.142 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.537 × 10 <sup>-5</sup> | 0.947                 | 1.09  | 1.280 × 10 <sup>-3</sup>                       |
| 200                           | 1.553.8  | 864.3                            | 7.852  | 1.941   | 4.500  | 2.840 | 0.663                               | 0.0401 | 0.134 × 10 <sup>-3</sup>           | 1.571 × 10 <sup>-5</sup> | 0.910                 | 1.11  | 1.350 × 10 <sup>-3</sup>                       |

Fuente: Çengel, Y. A., Transferencia de calor y masa, 2007

Anexo C 14.- Factores de rodamientos

| Máquina-herramienta                    |             |  |
|--|-------------|--|
| Husillos de tornos y fresadoras        | 3 ... 4,5   | Fuerza de corte, par motor, precarga peso de la pieza a mecanizar; velocidad de servicio |
| Husillos de taladradoras               | 3 ... 4     |  |
| Husillos de rectificadoras             | 2,5 ... 3,5 |  |
| Husillos porta-piezas en rectificadora | 3,5 ... 5   |  |
| Transmisiones de máquina-herramienta   | 3 ... 4     | Potencia nominal; velocidad nominal  |
| Prensas / volante                      | 3,5 ... 4   | Peso de volante; velocidad nominal   |
| Prensas / eje excéntrico               | 3 ... 3,5   | Fuerza de prensado, tiempos alcuotos; velocidad nominal                                  |
| Herramientas eléctricas y              | 2 ... 3     | Fuerza de corte y accionamiento; velocidad nominal                                       |

Fuente: Rodamientos FAG, Catalogo WL 41 520/3 SB, Edición 2000

Anexo C 16 .- Factor de probabilidad de fallo

| ▼ Factor $a_1$          |          |       |       |       |       |       |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Probabilidad de fallo % | 10       | 5     | 4     | 3     | 2     | 1     |
| Vida a fatiga           | $L_{10}$ | $L_5$ | $L_4$ | $L_3$ | $L_2$ | $L_1$ |
| Factor $a_1$            | 1        | 0,82  | 0,53  | 0,44  | 0,33  | 0,21  |

Fuente: Rodamientos FAG, Catalogo WL 41 520/3 SB, Edición 2000

Anexo C 17 .- Seleccionamiento de pernos

Metric Mechanical-Property Classes for Steel Bolts, Screws, and Studs\*

| Property Class | Size Range, Inclusive | Minimum Proof Strength,† MPa | Minimum Tensile Strength,† MPa | Minimum Yield Strength,† MPa | Material                   | Head Marking  |
|----------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|---|
| 4.6            | M5–M36                | 225                          | 400                            | 240                          | Low or medium carbon       |   |
| 4.8            | M1.6–M16              | 310                          | 420                            | 340                          | Low or medium carbon       |  |
| 5.8            | M5–M24                | 380                          | 520                            | 420                          | Low or medium carbon       |  |
| 8.8            | M1.6–M36              | 600                          | 830                            | 660                          | Medium carbon, Q&T         |  |
| 9.8            | M1.6–M16              | 650                          | 900                            | 720                          | Medium carbon, Q&T         |  |
| 10.9           | M5–M36                | 830                          | 1040                           | 940                          | Low-carbon martensite, Q&T |  |
| 12.9           | M1.6–M36              | 970                          | 1220                           | 1100                         | Alloy, Q&T                 |  |

\*The thread length for bolts and cap screws is

$$l_T = \begin{cases} 2d + 6 & l \leq 125 \\ 2d + 12 & 125 < l \leq 200 \\ 2d + 25 & l > 200 \end{cases}$$

where  $l$  is the bolt length. The thread length for structural bolts is slightly shorter than given above.

† Minimum strengths are strength exceeded by 99 percent of fasteners.

Fuente: Shigley, Mechanical Engineering Design.Eighth Editions

Anexo C 18 .- Diametros nominales para pernos

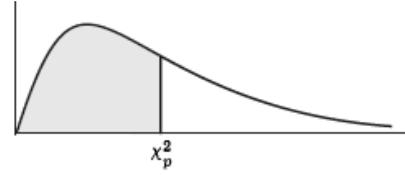
| Nominal<br>Major<br>Diameter<br>$d$<br>mm | Coarse-Pitch Series |   |   | Fine-Pitch Series  |   |   |
|---|---------------------|---|---|--------------------|---|---|
|   | Pitch<br>$p$<br>mm  | Tensile-<br>Stress<br>Area $A_t$<br>mm <sup>2</sup> | Minor-<br>Diameter<br>Area $A_r$<br>mm <sup>2</sup> | Pitch<br>$p$<br>mm | Tensile-<br>Stress<br>Area $A_t$<br>mm <sup>2</sup> | Minor-<br>Diameter<br>Area $A_r$<br>mm <sup>2</sup> |
| 1.6                                       | 0.35                | 1.27  | 1.07  |                    |   |   |
| 2   | 0.40                | 2.07  | 1.79  |                    |   |   |
| 2.5                                       | 0.45                | 3.39  | 2.98  |                    |   |   |
| 3   | 0.5                 | 5.03  | 4.47  |                    |   |   |
| 3.5                                       | 0.6                 | 6.78  | 6.00  |                    |   |   |
| 4   | 0.7                 | 8.78  | 7.75  |                    |   |   |
| 5   | 0.8                 | 14.2  | 12.7  |                    |   |   |
| 6   | 1                   | 20.1  | 17.9  |                    |   |   |
| 8   | 1.25                | 36.6  | 32.8  | 1                  | 39.2  | 36.0  |
| 10  | 1.5                 | 58.0  | 52.3  | 1.25               | 61.2  | 56.3  |
| 12  | 1.75                | 84.3  | 76.3  | 1.25               | 92.1  | 86.0  |
| 14  | 2                   | 115   | 104   | 1.5                | 125   | 116   |
| 16  | 2                   | 157   | 144   | 1.5                | 167   | 157   |
| 20  | 2.5                 | 245   | 225   | 1.5                | 272   | 259   |
| 24  | 3                   | 353   | 324   | 2                  | 384   | 365   |
| 30  | 3.5                 | 561   | 519   | 2                  | 621   | 596   |
| 36  | 4                   | 817   | 759   | 2                  | 915   | 884   |
| 42  | 4.5                 | 1120  | 1050  | 2                  | 1260  | 1230  |
| 48  | 5                   | 1470  | 1380  | 2                  | 1670  | 1630  |
| 56  | 5.5                 | 2030  | 1910  | 2                  | 2300  | 2250  |
| 64  | 6                   | 2680  | 2520  | 2                  | 3030  | 2980  |
| 72  | 6                   | 3460  | 3280  | 2                  | 3860  | 3800  |
| 80  | 6                   | 4340  | 4140  | 1.5                | 4850  | 4800  |
| 90  | 6                   | 5590  | 5360  | 2                  | 6100  | 6020  |
| 100                                       | 6                   | 6990  | 6740  | 2                  | 7560  | 7470  |
| 110                                       |                     |   |   | 2                  | 9180  | 9080  |

\*The equations and data used to develop this table have been obtained from ANSI B1.1-1974 and B18.3.1-1978. The minor diameter was found from the equation  $d_r = d - 1.226869p$ , and the pitch diameter from  $d_p = d - 0.649519p$ . The mean of the pitch diameter and the minor diameter was used to compute the tensile-stress area.

Fuente: Shigley, Mechanical Engineering Design.Eighth Editions

Anexo C 19.- Valores correspondientes a la distribución ji cuadrada

**Valores percentiles ( $\chi_p^2$ )  
correspondientes  
a la distribución ji cuadrada  
con  $\nu$  grados de libertad  
(área sombreada =  $p$ )**



| $\nu$ | $\chi_{.995}^2$ | $\chi_{.99}^2$ | $\chi_{.975}^2$ | $\chi_{.95}^2$ | $\chi_{.90}^2$ | $\chi_{.75}^2$ | $\chi_{.50}^2$ | $\chi_{.25}^2$ | $\chi_{.10}^2$ | $\chi_{.05}^2$ | $\chi_{.025}^2$ | $\chi_{.01}^2$ | $\chi_{.005}^2$ |
|-------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 1     | 7.88            | 6.63           | 5.02            | 3.84           | 2.71           | 1.32           | .455           | .102           | .0158          | .0039          | .0010           | .0002          | .0000           |
| 2     | 10.6            | 9.21           | 7.38            | 5.99           | 4.61           | 2.77           | 1.39           | .575           | .211           | .103           | .0506           | .0201          | .0100           |
| 3     | 12.8            | 11.3           | 9.35            | 7.81           | 6.25           | 4.11           | 2.37           | 1.21           | .584           | .352           | .216            | .115           | .072            |
| 4     | 14.9            | 13.3           | 11.1            | 9.49           | 7.78           | 5.39           | 3.36           | 1.92           | 1.06           | .711           | .484            | .297           | .207            |
| 5     | 16.7            | 15.1           | 12.8            | 11.1           | 9.24           | 6.63           | 4.35           | 2.67           | 1.61           | 1.15           | .831            | .554           | .412            |
| 6     | 18.5            | 16.8           | 14.4            | 12.6           | 10.6           | 7.84           | 5.35           | 3.45           | 2.20           | 1.64           | 1.24            | .872           | .676            |
| 7     | 20.3            | 18.5           | 16.0            | 14.1           | 12.0           | 9.04           | 6.35           | 4.25           | 2.83           | 2.17           | 1.69            | 1.24           | .989            |
| 8     | 22.0            | 20.1           | 17.5            | 15.5           | 13.4           | 10.2           | 7.34           | 5.07           | 3.49           | 2.73           | 2.18            | 1.65           | 1.34            |
| 9     | 23.6            | 21.7           | 19.0            | 16.9           | 14.7           | 11.4           | 8.34           | 5.90           | 4.17           | 3.33           | 2.70            | 2.09           | 1.73            |
| 10    | 25.2            | 23.2           | 20.5            | 18.3           | 16.0           | 12.5           | 9.34           | 6.74           | 4.87           | 3.94           | 3.25            | 2.56           | 2.16            |
| 11    | 26.8            | 24.7           | 21.9            | 19.7           | 17.3           | 13.7           | 10.3           | 7.58           | 5.58           | 4.57           | 3.82            | 3.05           | 2.60            |
| 12    | 28.3            | 26.2           | 23.3            | 21.0           | 18.5           | 14.8           | 11.3           | 8.44           | 6.30           | 5.23           | 4.40            | 3.57           | 3.07            |
| 13    | 29.8            | 27.7           | 24.7            | 22.4           | 19.8           | 16.0           | 12.3           | 9.30           | 7.04           | 5.89           | 5.01            | 4.11           | 3.57            |
| 14    | 31.3            | 29.1           | 26.1            | 23.7           | 21.1           | 17.1           | 13.3           | 10.2           | 7.79           | 6.57           | 5.63            | 4.66           | 4.07            |
| 15    | 32.8            | 30.6           | 27.5            | 25.0           | 22.3           | 18.2           | 14.3           | 11.0           | 8.55           | 7.26           | 6.26            | 5.23           | 4.60            |
| 16    | 34.3            | 32.0           | 28.8            | 26.3           | 23.5           | 19.4           | 15.3           | 11.9           | 9.31           | 7.96           | 6.91            | 5.81           | 5.14            |
| 17    | 35.7            | 33.4           | 30.2            | 27.6           | 24.8           | 20.5           | 16.3           | 12.8           | 10.1           | 8.67           | 7.56            | 6.41           | 5.70            |
| 18    | 37.2            | 34.8           | 31.5            | 28.9           | 26.0           | 21.6           | 17.3           | 13.7           | 10.9           | 9.39           | 8.23            | 7.01           | 6.26            |
| 19    | 38.6            | 36.2           | 32.9            | 30.1           | 27.2           | 22.7           | 18.3           | 14.6           | 11.7           | 10.1           | 8.91            | 7.63           | 6.84            |
| 20    | 40.0            | 37.6           | 34.2            | 31.4           | 28.4           | 23.8           | 19.3           | 15.5           | 12.4           | 10.9           | 9.59            | 8.26           | 7.43            |
| 21    | 41.4            | 38.9           | 35.5            | 32.7           | 29.6           | 24.9           | 20.3           | 16.3           | 13.2           | 11.6           | 10.3            | 8.90           | 8.03            |
| 22    | 42.8            | 40.3           | 36.8            | 33.9           | 30.8           | 26.0           | 21.3           | 17.2           | 14.0           | 12.3           | 11.0            | 9.54           | 8.64            |
| 23    | 44.2            | 41.6           | 38.1            | 35.2           | 32.0           | 27.1           | 22.3           | 18.1           | 14.8           | 13.1           | 11.7            | 10.2           | 9.26            |
| 24    | 45.6            | 43.0           | 39.4            | 36.4           | 33.2           | 28.2           | 23.3           | 19.0           | 15.7           | 13.8           | 12.4            | 10.9           | 9.89            |
| 25    | 46.9            | 44.3           | 40.6            | 37.7           | 34.4           | 29.3           | 24.3           | 19.9           | 16.5           | 14.6           | 13.1            | 11.5           | 10.5            |
| 26    | 48.3            | 45.6           | 41.9            | 38.9           | 35.6           | 30.4           | 25.3           | 20.8           | 17.3           | 15.4           | 13.8            | 12.2           | 11.2            |
| 27    | 49.6            | 47.0           | 43.2            | 40.1           | 36.7           | 31.5           | 26.3           | 21.7           | 18.1           | 16.2           | 14.6            | 12.9           | 11.8            |
| 28    | 51.0            | 48.3           | 44.5            | 41.3           | 37.9           | 32.6           | 27.3           | 22.7           | 18.9           | 16.9           | 15.3            | 13.6           | 12.5            |
| 29    | 52.3            | 49.6           | 45.7            | 42.6           | 39.1           | 33.7           | 28.3           | 23.6           | 19.8           | 17.7           | 16.0            | 14.3           | 13.1            |
| 30    | 53.7            | 50.9           | 47.0            | 43.8           | 40.3           | 34.8           | 29.3           | 24.5           | 20.6           | 18.5           | 16.8            | 15.0           | 13.8            |
| 40    | 66.8            | 63.7           | 59.3            | 55.8           | 51.8           | 46.6           | 39.3           | 33.7           | 29.1           | 26.5           | 24.4            | 22.2           | 20.7            |
| 50    | 79.5            | 76.2           | 71.4            | 67.5           | 63.2           | 56.3           | 49.3           | 42.9           | 37.7           | 34.8           | 32.4            | 29.7           | 28.0            |
| 60    | 92.0            | 88.4           | 83.3            | 79.1           | 74.4           | 67.0           | 59.3           | 52.3           | 46.5           | 43.2           | 40.5            | 37.5           | 35.5            |
| 70    | 104.2           | 100.4          | 95.0            | 90.5           | 85.5           | 77.6           | 69.3           | 61.7           | 55.3           | 51.7           | 48.8            | 45.4           | 43.3            |
| 80    | 116.3           | 112.3          | 106.6           | 101.9          | 96.6           | 88.1           | 79.3           | 71.1           | 64.3           | 60.4           | 57.2            | 53.5           | 51.2            |
| 90    | 128.3           | 124.1          | 118.1           | 113.1          | 107.6          | 98.6           | 89.3           | 80.6           | 73.3           | 69.1           | 65.6            | 61.8           | 59.2            |
| 100   | 140.2           | 135.8          | 129.6           | 124.3          | 118.5          | 109.1          | 99.3           | 90.1           | 82.4           | 77.9           | 74.2            | 70.1           | 67.3            |

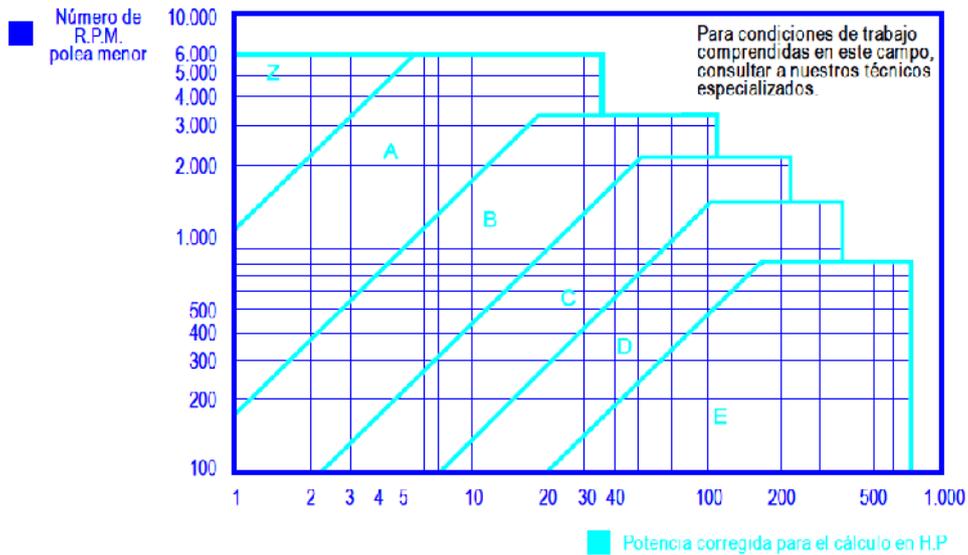
Fuente: Catherine M. Thompson, *Table of percentage points of the  $\chi^2$  distribution*. Biometrika, vol. 32 (1941) con autorización de autor y editor.

Fuente: Spiegel & Murray, Estadística, 1997

## ANEXO D

### Figuras

#### Anexo D 1 .- Selección de bandas

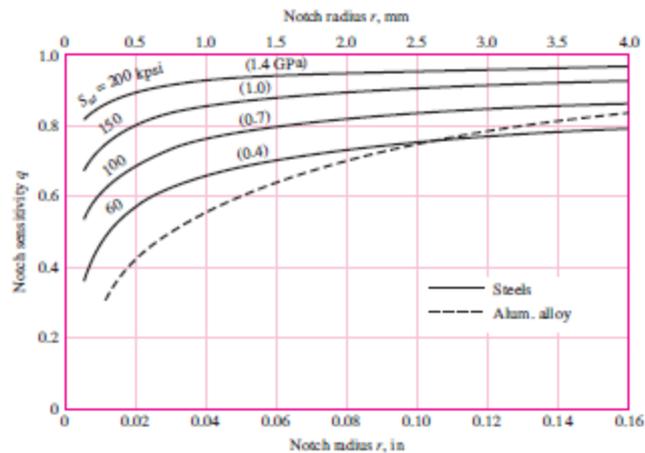


Fuente: [www.dunlop.com.ar](http://www.dunlop.com.ar)

#### Anexo D 2 .- Sensibilidad para muescas

**Figure 6-20**

Notch-sensitivity charts for steels and UNS A92024-T wrought aluminum alloys subjected to reversed bending or reversed axial loads. For larger notch radii, use the values of  $q$  corresponding to the  $r = 0.16$ -in (4-mm) ordinate. (From George Sines and J. L. Waisman (eds.), *Metal Fatigue*, McGraw-Hill, New York. Copyright © 1969 by The McGraw-Hill Companies, Inc. Reprinted by permission.)

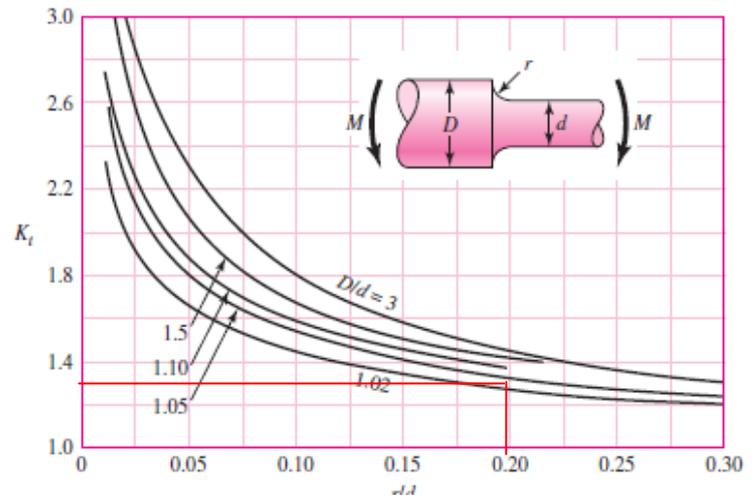


Fuente: Shigley, Mechanical Engineering Design. Eighth Editions

Anexo D 3

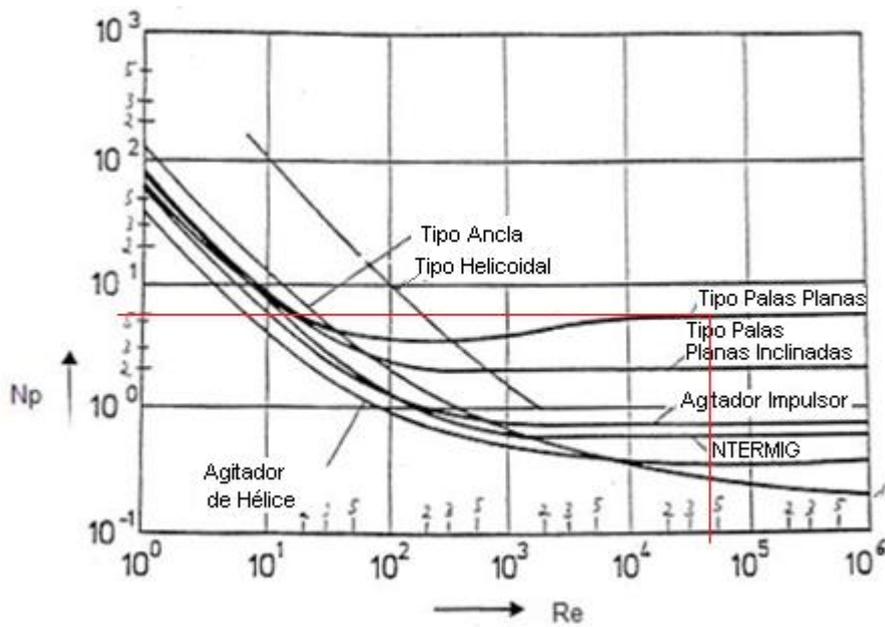
**Figure A-15-9**

Round shaft with shoulder fillet in bending.  $\sigma_0 = Mc/I$ , where  $c = d/2$  and  $I = \pi d^4/64$ .



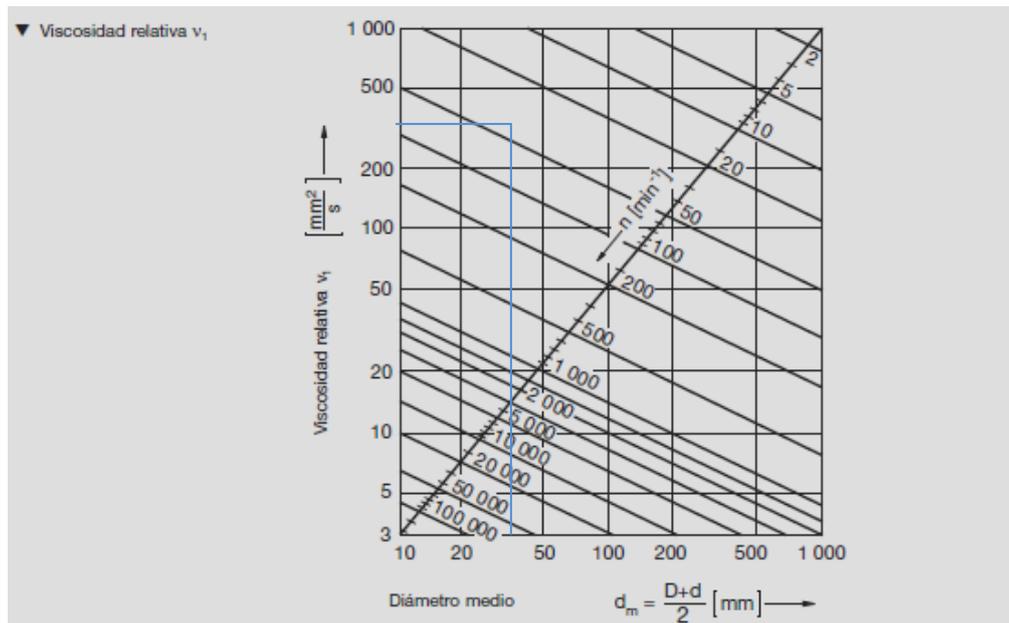
Fuente: Shigley, Mechanical Engineering Design.Eighth Editions

Anexo D 4 .- Número de Potencia frente a numero de Reynolds



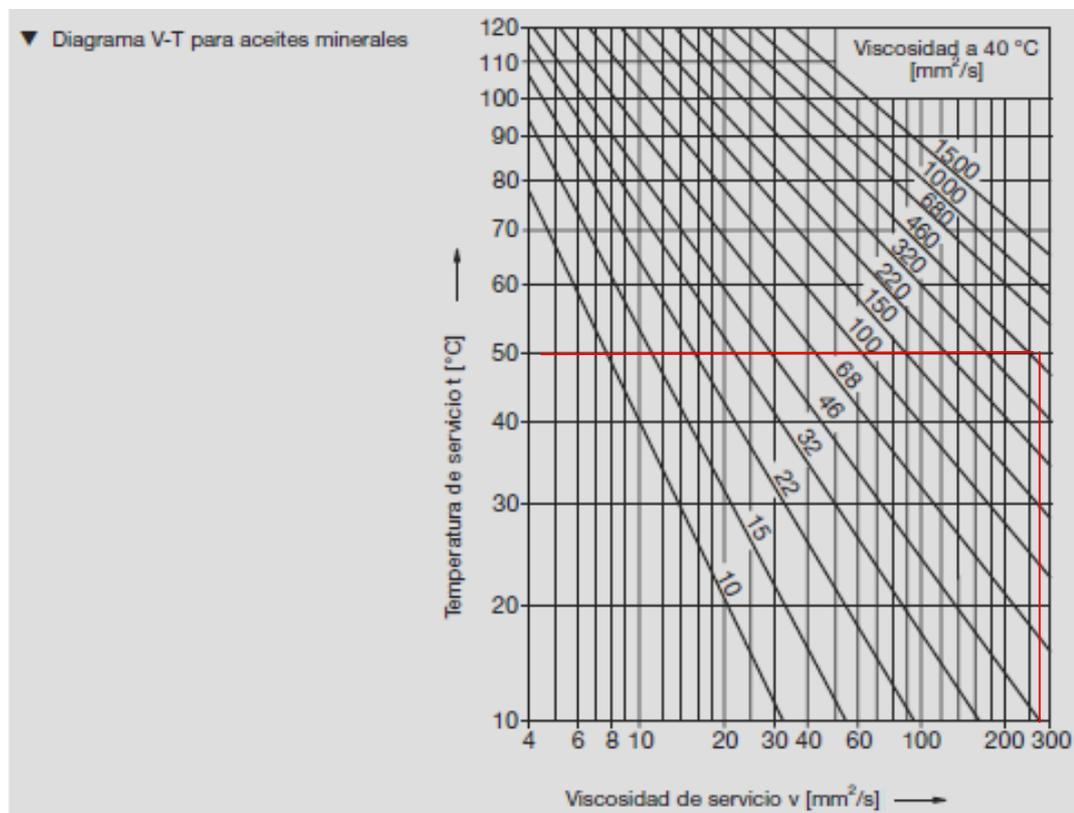
Fuente: www.fbr.it

Anexo D 5 .- Viscosidad relativa



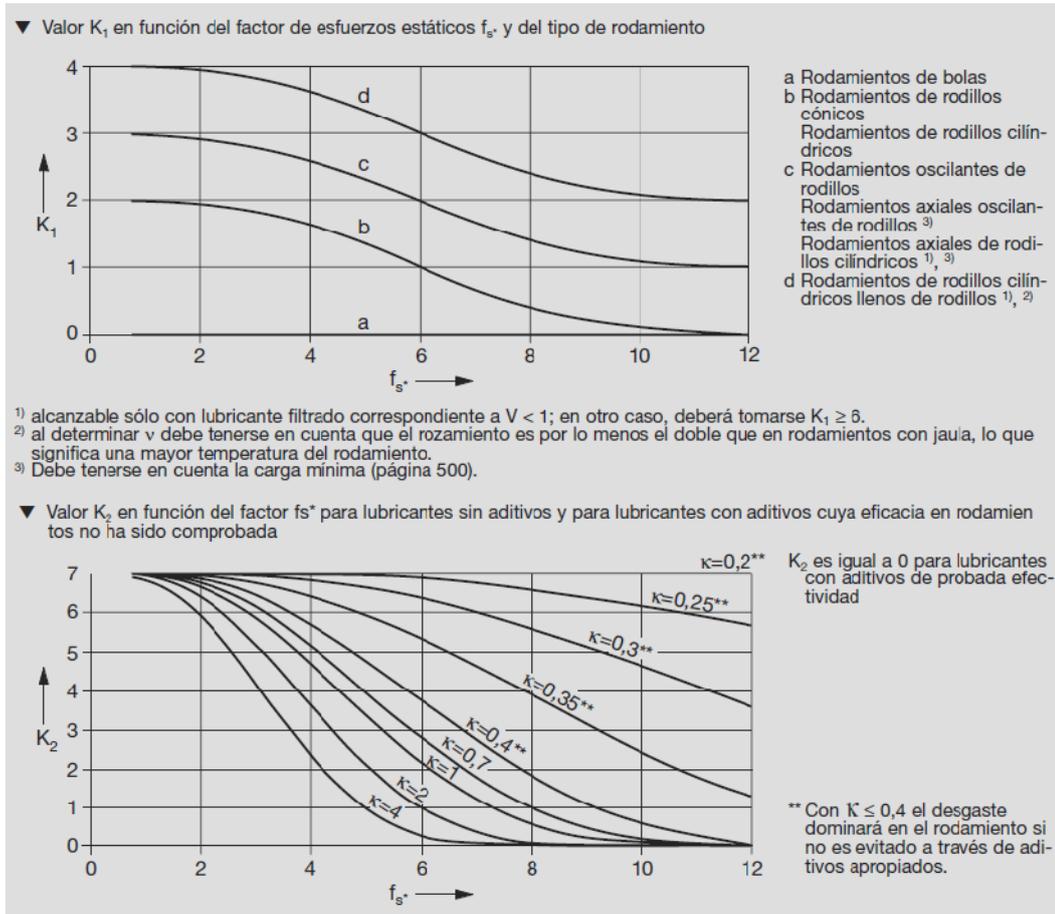
Fuente: Rodamientos FAG, Catalogo WL 41 520/3 SB, Edición 2000

Anexo D 6 .- Viscosidad de servicio



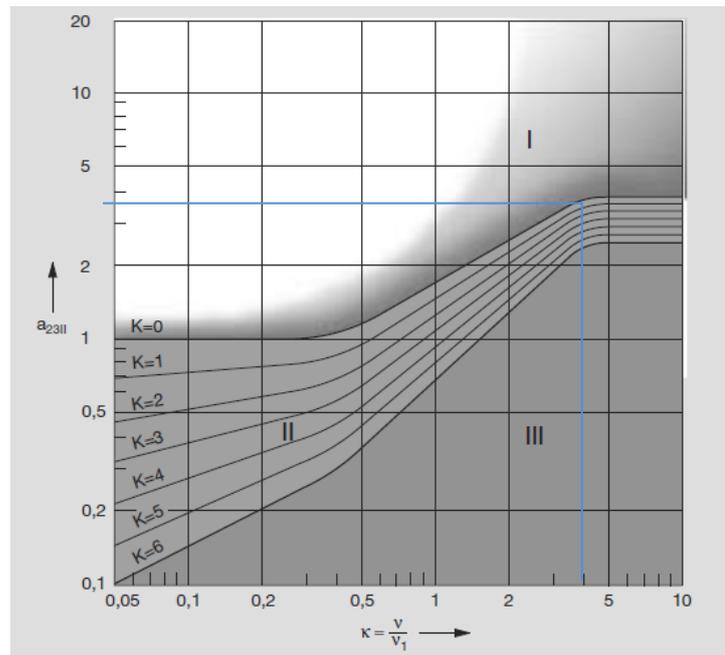
Fuente: Rodamientos FAG, Catalogo WL 41 520/3 SB, Edición 2000

## Anexo D 7 .- Factor de limpieza



Fuente: Rodamientos FAG, Catalogo WL 41 520/3 SB, Edición 2000

Anexo D 8 .- Factor de condición de uso y servicio



Fuente: Rodamientos FAG, Catalogo WL 41 520/3 SB, Edición 2000

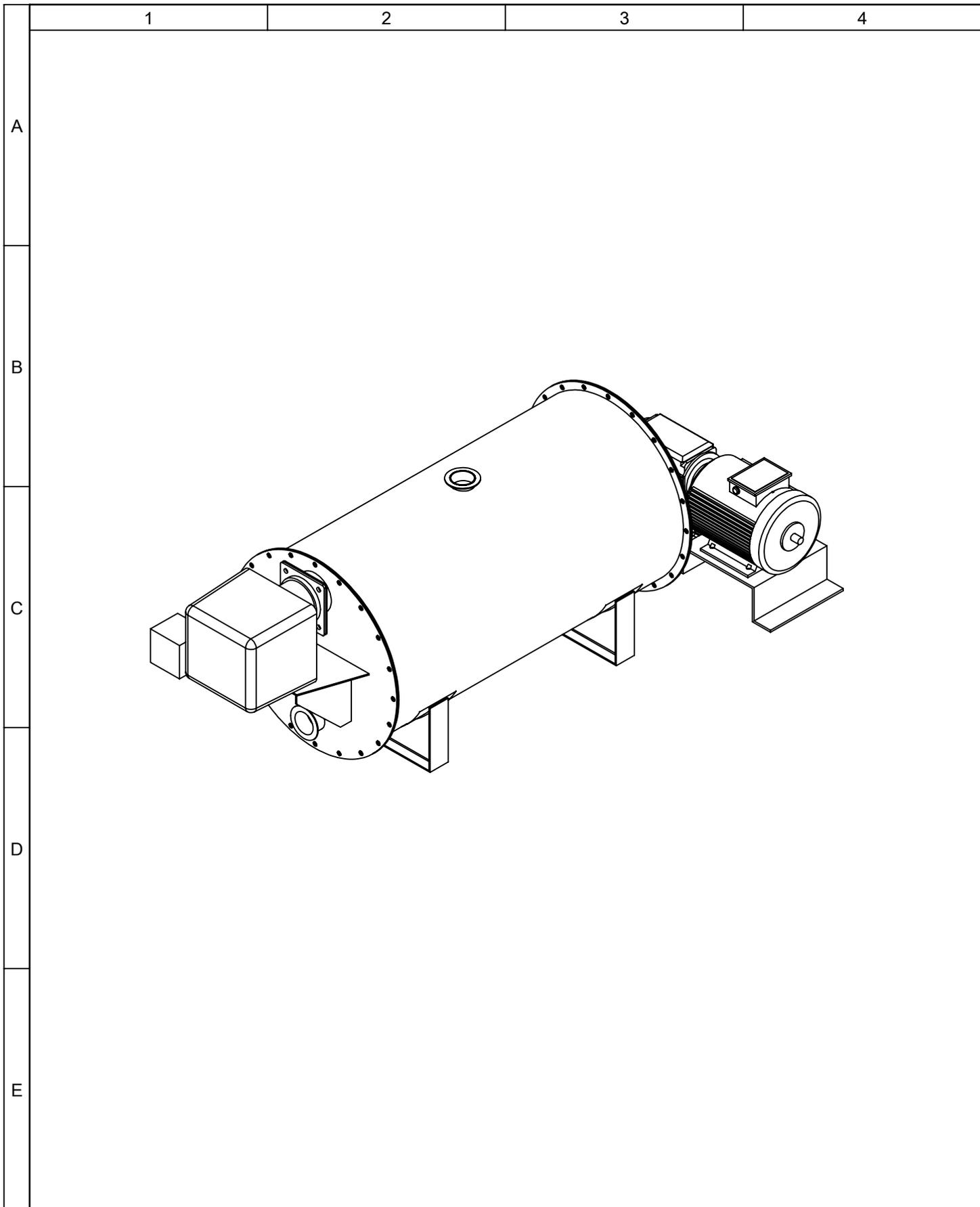
## ANEXO E

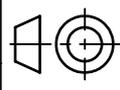
### Fotos



## **ANEXO F**

### **Planos**



|              |              |       |        |                      |                         |                     |                                    |                           |   |
|--------------|--------------|-------|--------|----------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------------|---|
|              |              |       |        |                      | Tolerancia<br>$\pm 0,1$ | (Peso)<br>166,67 kg | Materiales: VARIOS                 |                           |   |
|              |              |       |        |                      | Fecha                   | Nombre              | Denominación:<br><b>Ensamblaje</b> | Escala:<br>1:10           |  |
|              |              |       |        | Dib.                 | 23/01/14                | Alvaro Muñoz        |                                    |                           |   |
|              |              |       |        | Rev.                 | 05/05/14                | Ing. Guamanquispe.J |                                    |                           |   |
|              |              |       |        |                      | Apro.                   | 05/05/14            | Ing. Guamanquispe.J                | Número del dibujo: 01de10 |   |
| Edi-<br>ción | Modificación | Fecha | Nombre | UTA<br>Ing. Mecánica |                         |                     | (Sustitución)                      |                           |   |



N8  
(▽)

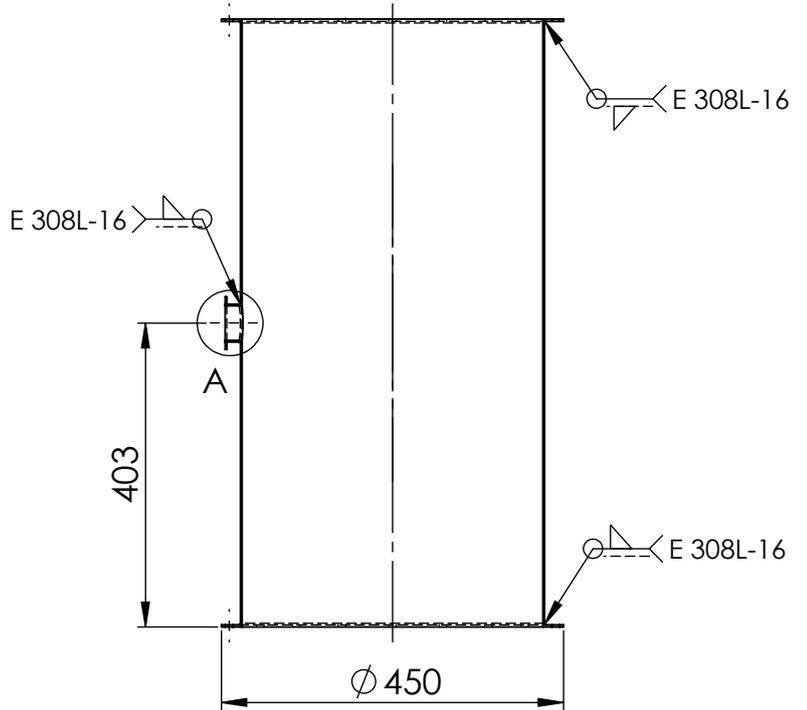
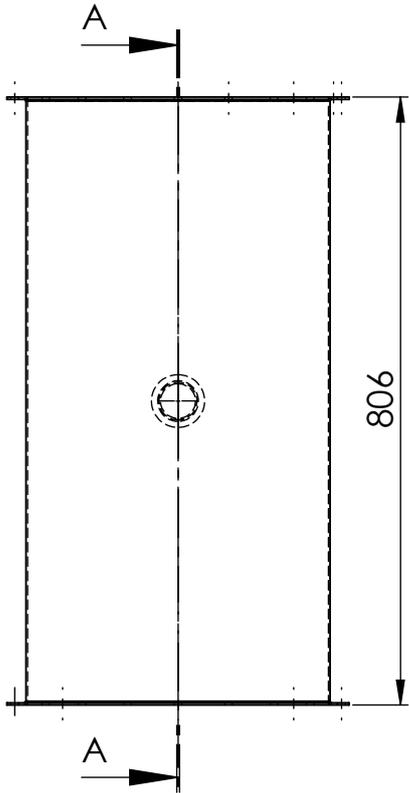
A

B

C

D

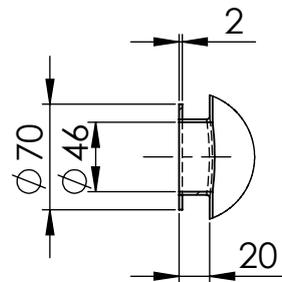
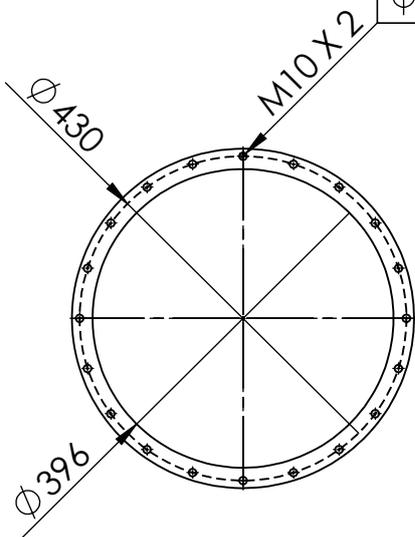
E



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 10

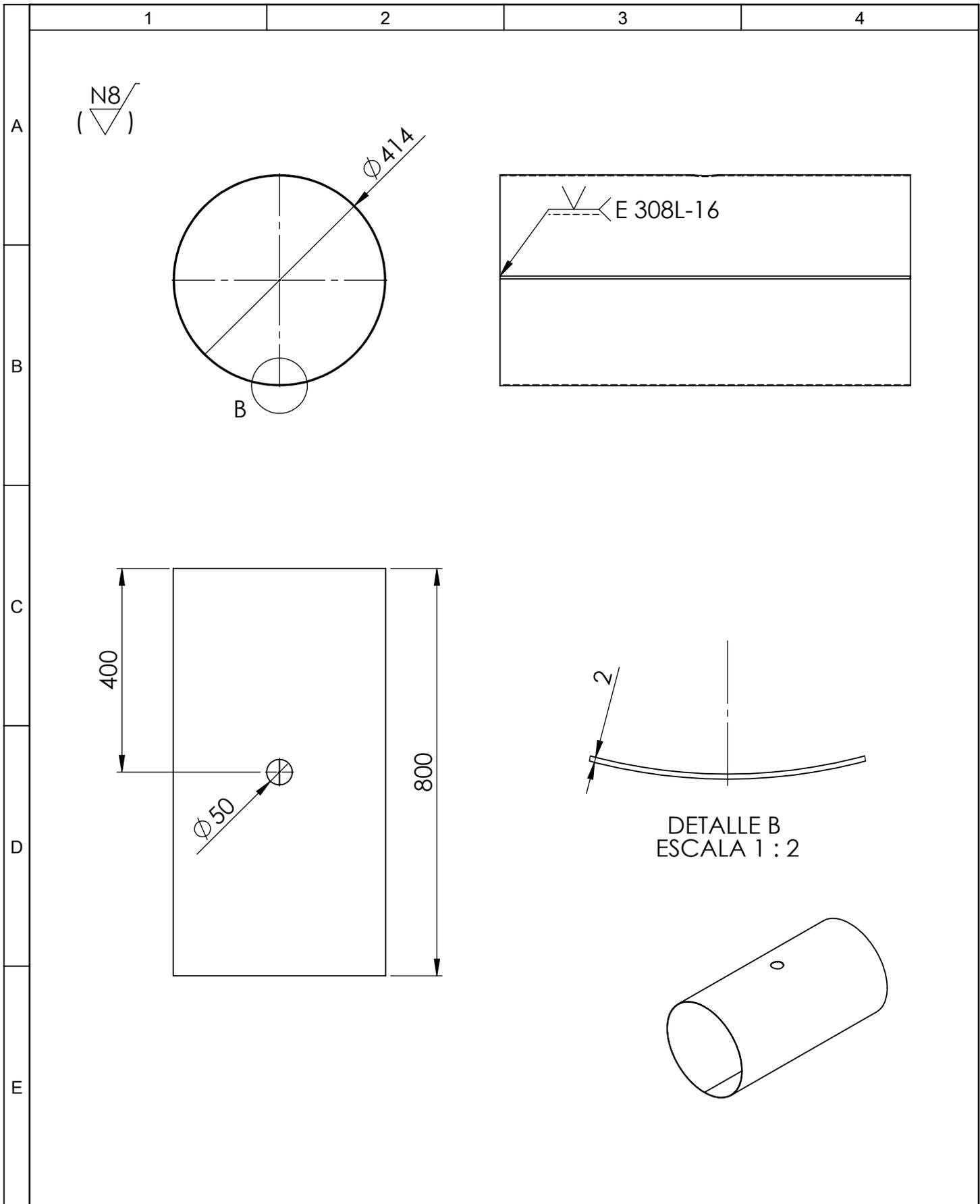
20 agujeros

⊕ ∅ 0,1 (M)

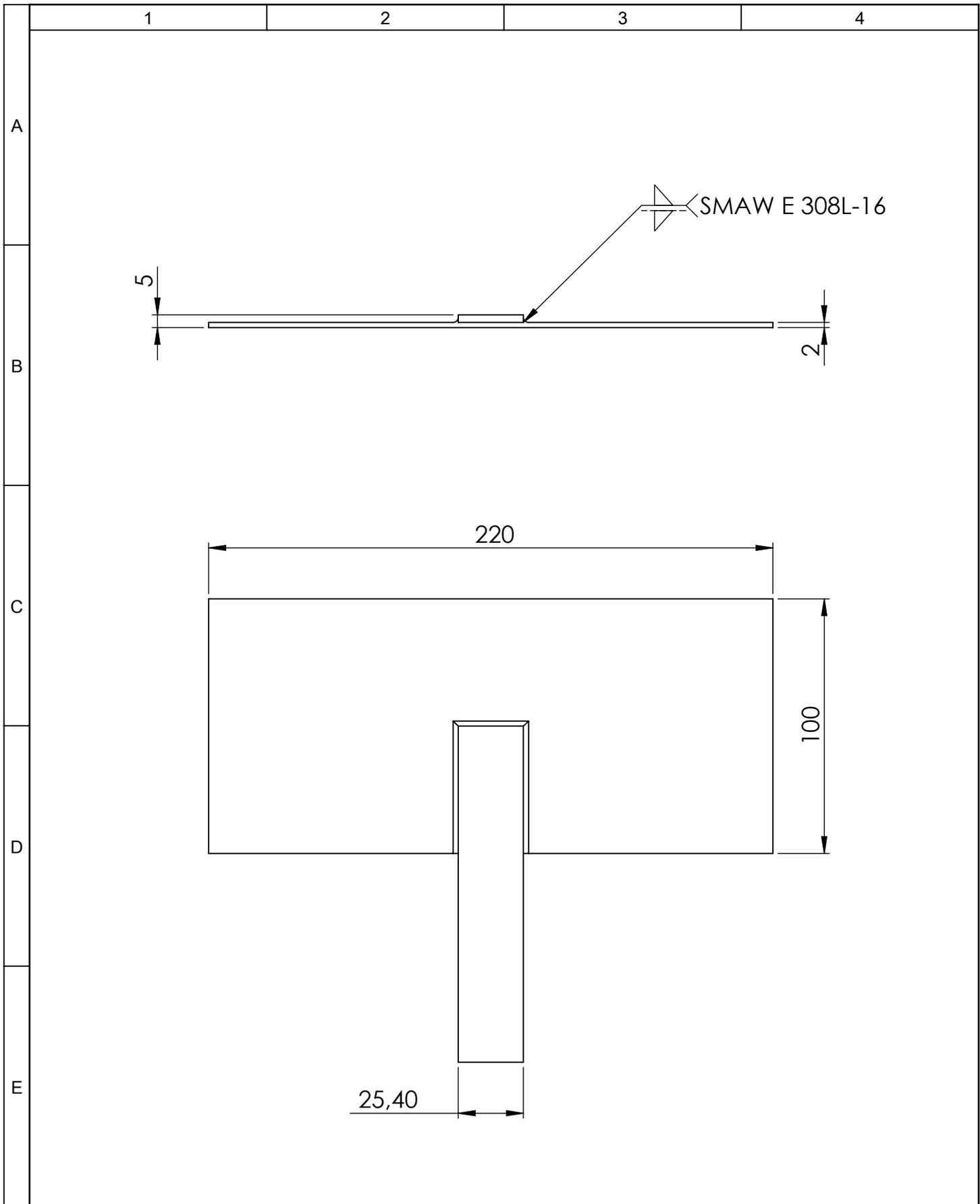


DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

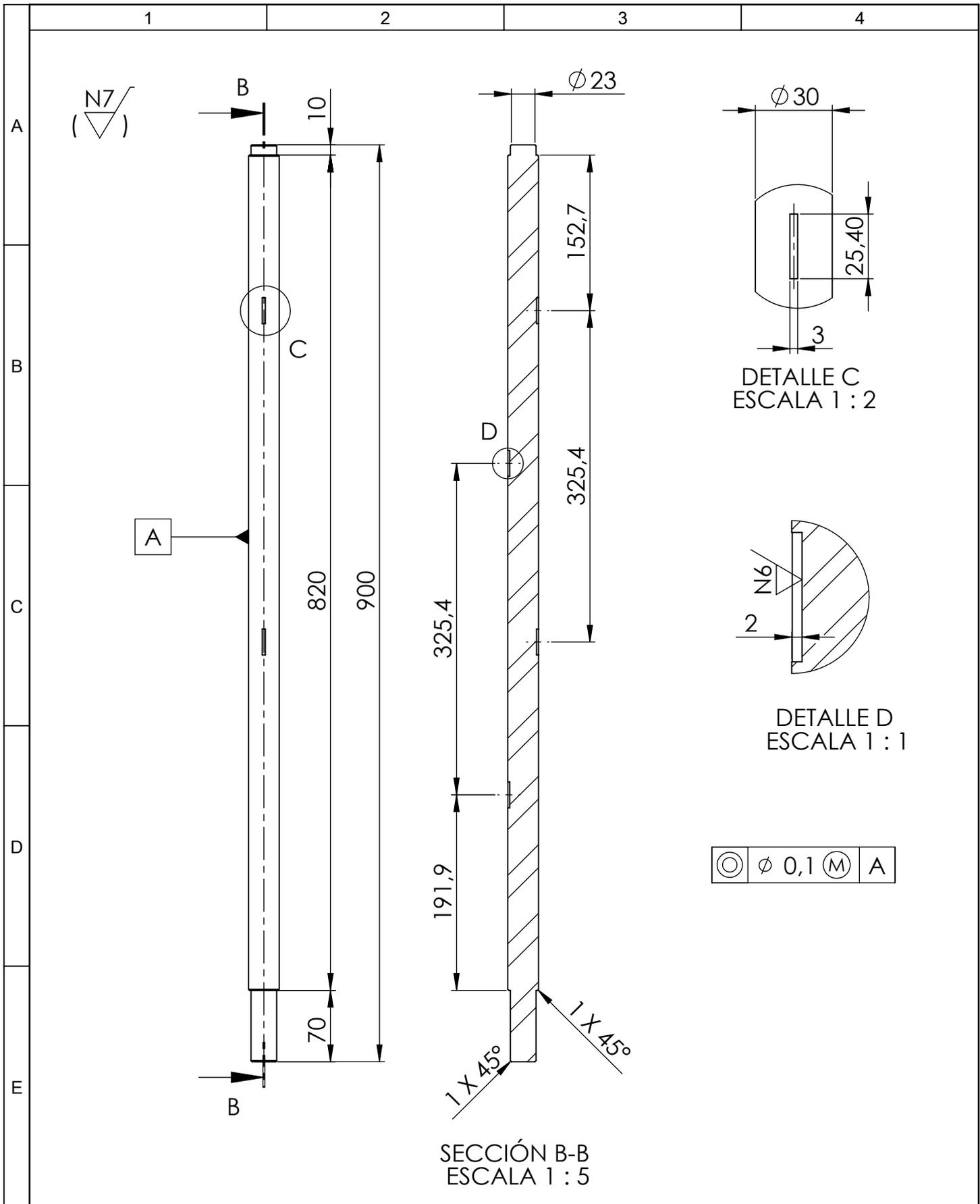
|         |              |       |        |                      |                     |                                  |                 |
|---------|--------------|-------|--------|----------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------|
|         |              |       |        | Tolerancia           | (Peso)              | Materiales: ACERO INOXIDABLE     |                 |
|         |              |       |        | ±0,1                 | 17,72 kg            |                                  |                 |
|         |              |       |        | Fecha                | Nombre              | Denominación:<br><b>Cilindro</b> | Escala:<br>1:10 |
|         |              |       | Dib.   | 23/01/14             | Alvaro Muñoz        |                                  |                 |
|         |              |       | Rev.   | 05/05/14             | Ing. Guamanquispe.J |                                  |                 |
|         |              |       |        | Apro.                | 05/05/14            | Ing. Guamanquispe.J              |                 |
|         |              |       |        | UTA<br>Ing. Mecánica |                     | Número del dibujo: 03 de 10      |                 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |                      |                     | (Sustitución)                    |                 |



|         |              |       |        |                      |                     |                               |                 |
|---------|--------------|-------|--------|----------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------|
|         |              |       |        | Tolerancia           | (Peso)              | Materiales: ACERO INOXIDABLE  |                 |
|         |              |       |        | $\pm 0,1$            | 16,55 kg            |                               |                 |
|         |              |       |        | Fecha                | Nombre              | Denominación:<br><b>Casco</b> | Escala:<br>1:10 |
|         |              |       | Dib.   | 23/01/14             | Alvaro Muñoz        |                               |                 |
|         |              |       | Rev.   | 05/05/14             | Ing. Guamanquispe.J |                               |                 |
|         |              |       | Apro.  | 05/05/14             | Ing. Guamanquispe.J |                               |                 |
|         |              |       |        | UTA<br>Ing. Mecánica |                     | Número del dibujo: 04 de 10   |                 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |                      |                     | (Sustitución)                 |                 |

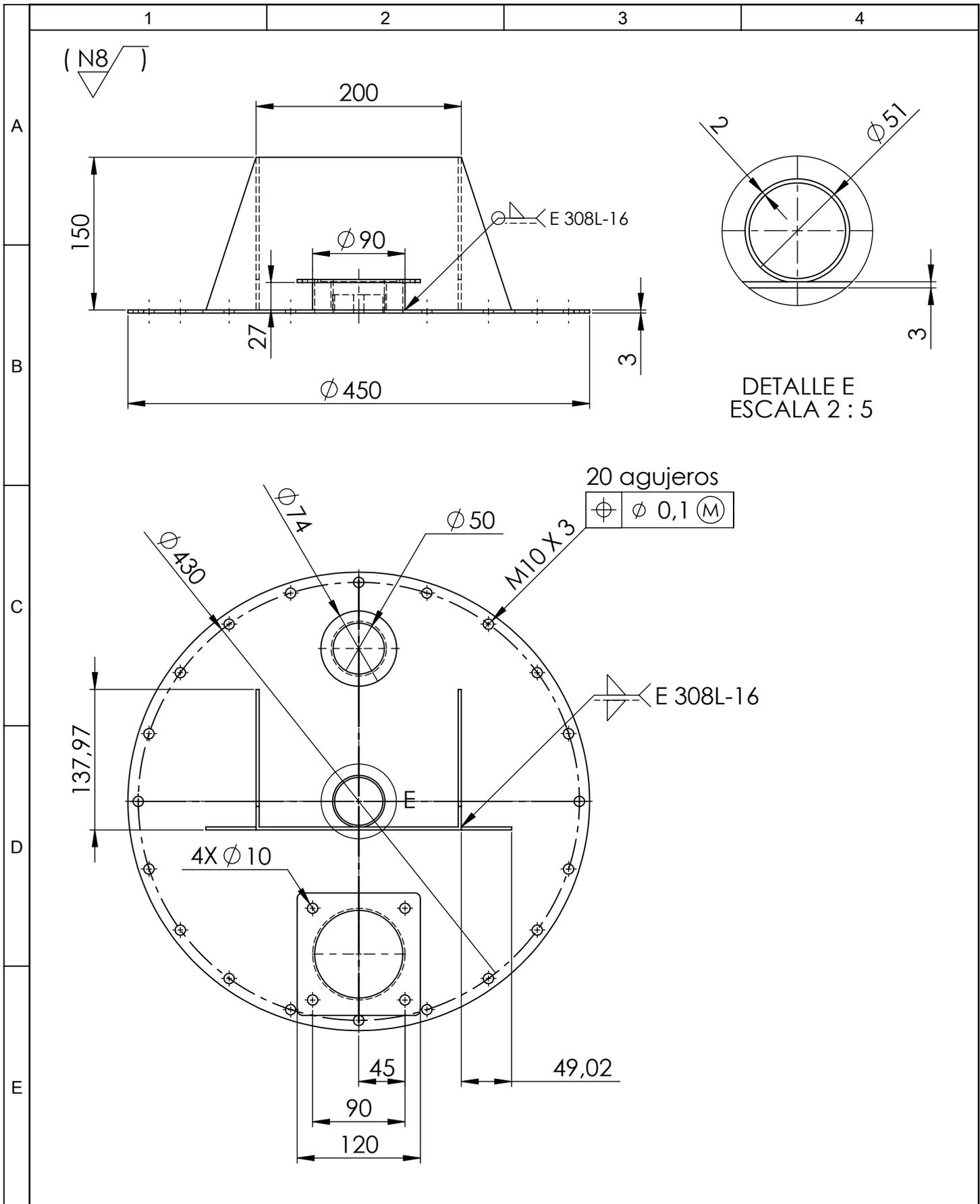


|         |              |       |        |                      |                     |                                |                |
|---------|--------------|-------|--------|----------------------|---------------------|--------------------------------|----------------|
|         |              |       |        | Tolerancia           | (Peso)              | Materiales: ACERO INOXIDABLE   |                |
|         |              |       |        | ±0,1                 | 0,43 kg             |                                |                |
|         |              |       |        | Fecha                | Nombre              | Denominación:<br><b>Paleta</b> | Escala:<br>1:2 |
|         |              |       | Dib.   | 23/01/14             | Alvaro Muñoz        |                                |                |
|         |              |       | Rev.   | 22/04/14             | Ing. Guamanquispe.J |                                |                |
|         |              |       |        | Apro.                | 22/04/14            | Ing. Guamanquispe.J            |                |
|         |              |       |        | UTA<br>Ing. Mecánica |                     | Número del dibujo: 05 de 10    |                |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |                      |                     | (Sustitución)                  |                |



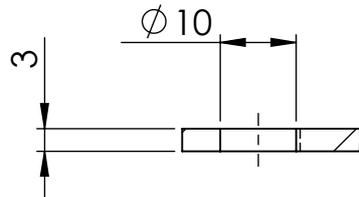
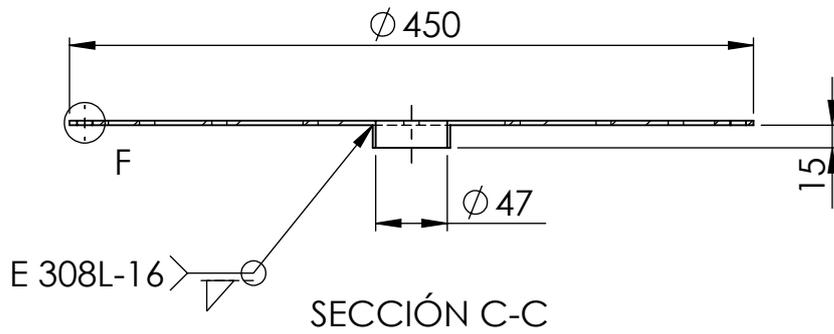
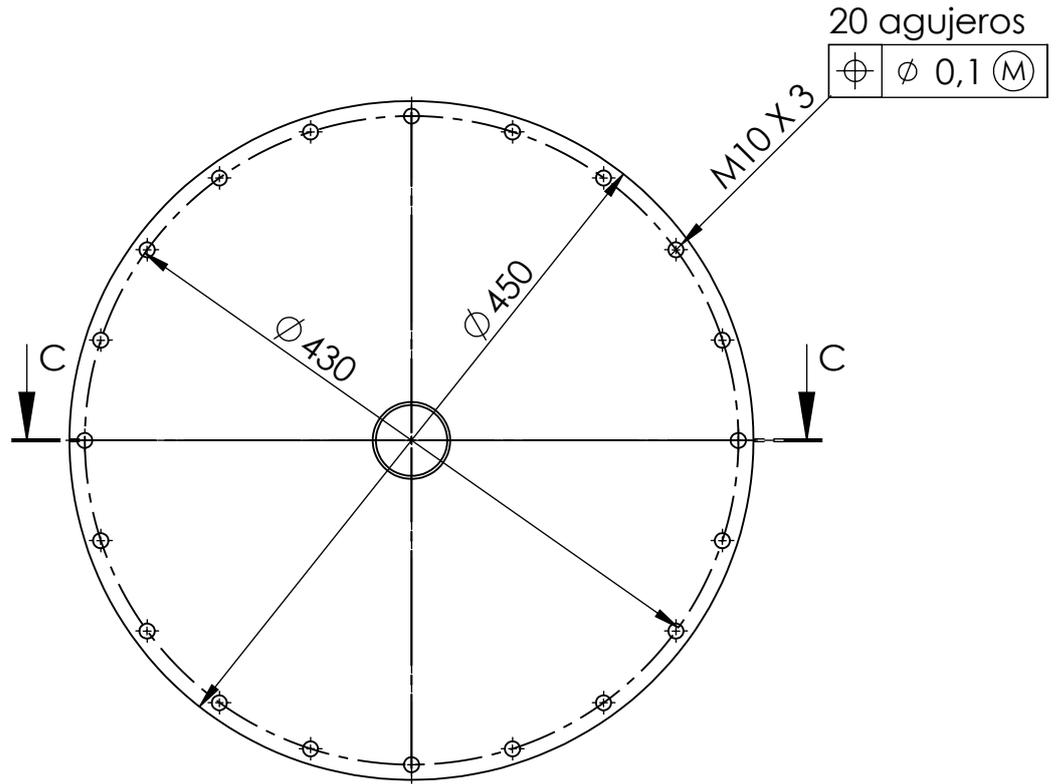
⊙  $\phi 0,1$  ⊕ A

|         |              |       |        |               |                     |                              |         |     |     |
|---------|--------------|-------|--------|---------------|---------------------|------------------------------|---------|-----|-----|
|         |              |       |        | Tolerancia    | (Peso)              | Materiales: ACERO INOXIDABLE |         |     |     |
|         |              |       |        | $\pm 0,1$     | 4,49 kg             |                              |         |     |     |
|         |              |       |        | Fecha         | Nombre              | Denominación:                | Escala: |     |     |
|         |              |       | Dib.   | 23/01/14      | Alvaro Muñoz        |                              |         | Eje | 1:5 |
|         |              |       | Rev.   | 05/05/14      | Ing. Guamanquispe.J |                              |         |     |     |
|         |              |       |        | Apro.         | 05/05/14            | Ing. Guamanquispe.J          |         |     |     |
|         |              |       |        | UTA           |                     | Número del dibujo: 06 de 10  |         |     |     |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | Ing. Mecánica |                     | (Sustitución)                |         |     |     |

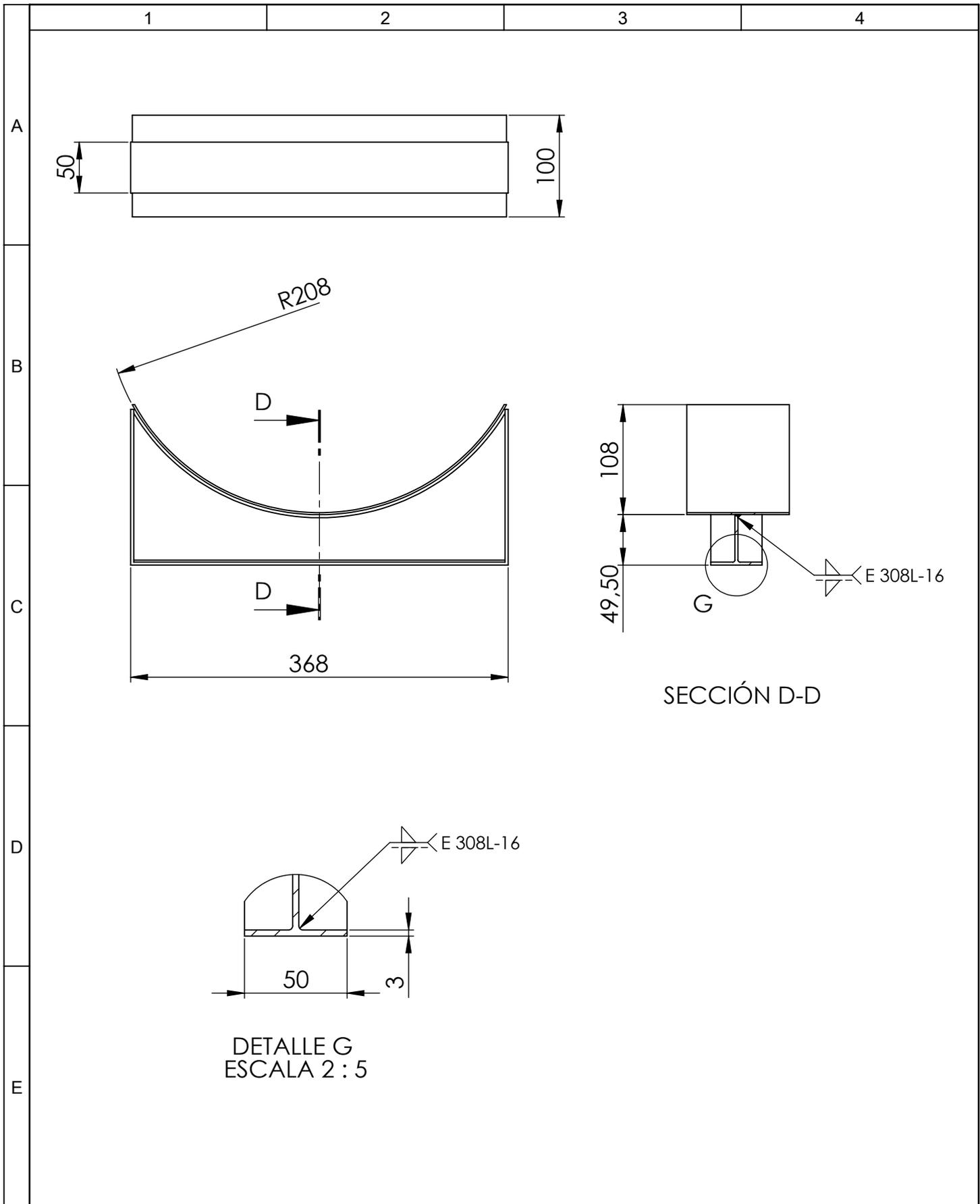


|         |              |       |        |                |                     |                              |  |
|---------|--------------|-------|--------|----------------|---------------------|------------------------------|--|
|         |              |       |        | Tolerancia     | (Peso)              | Materiales: ACERO INOXIDABLE |  |
|         |              |       |        | ±0,1           | 5,552 Kg            | Denominación:                |  |
|         |              |       |        | Fecha          | Nombre              | Tapa principal               |  |
|         |              |       |        | Dib. 23/01/14  | Alvaro Muñoz        | Escala:                      |  |
|         |              |       |        | Rev. 05/05/14  | Ing. Guamanquispe.J | 1:5                          |  |
|         |              |       |        | Apro. 05/05/14 | Ing. Guamanquispe.J | Número del dibujo: 07 de 10  |  |
|         |              |       |        | UTA            |                     | Número del dibujo: 07 de 10  |  |
|         |              |       |        | Ing. Mecánica  |                     | (Sustitución)                |  |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |                |                     |                              |  |

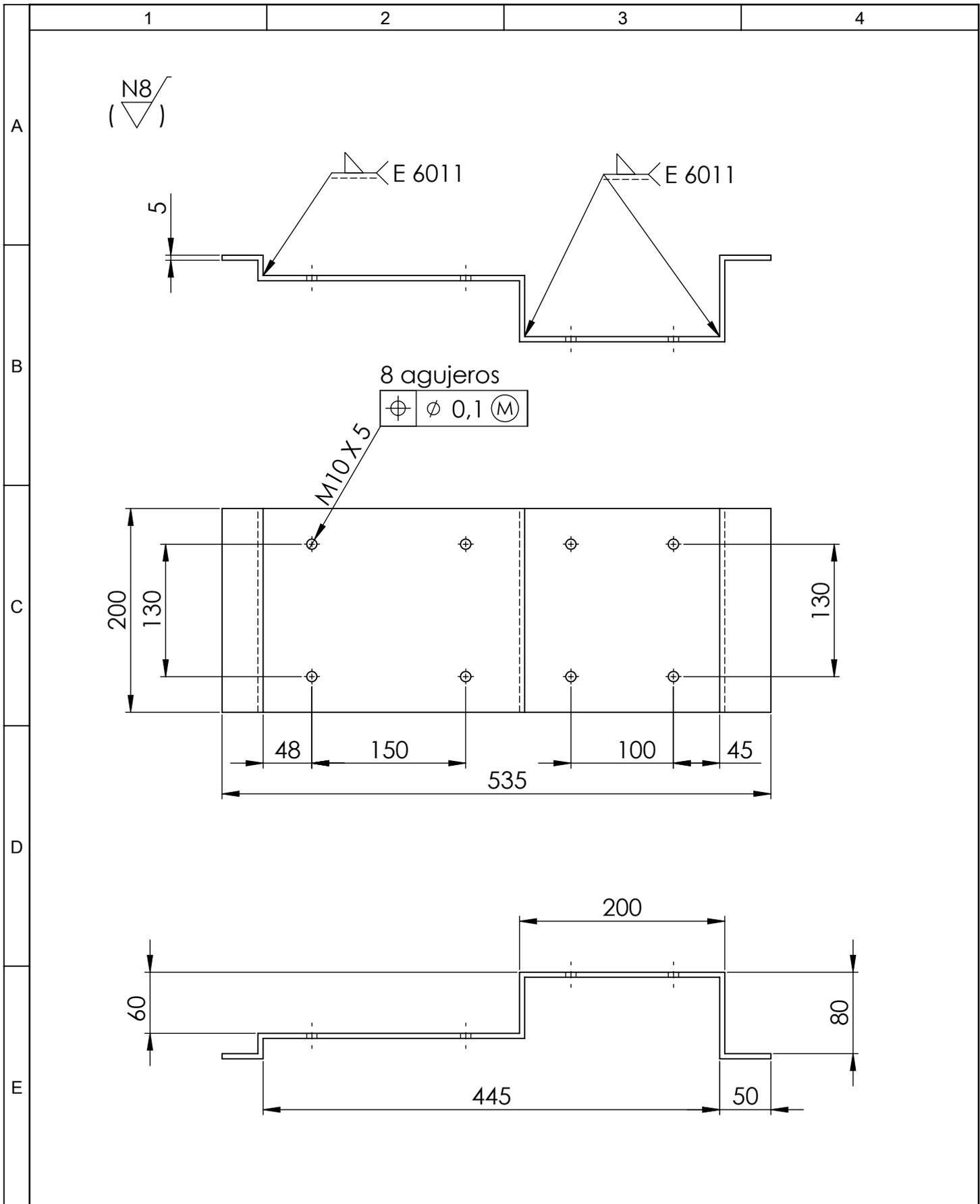
N8  
(▽)



|         |              |       |        |                      |                     |  |                |
|---------|--------------|-------|--------|----------------------|---------------------|--|----------------|
|         |              |       |        | Tolerancia           | (Peso)              | Materiales: ACERO INOXIDABLE           |                |
|         |              |       |        | $\pm 0,1$            | 3,808 kg            |  |                |
|         |              |       |        | Fecha                | Nombre              | Denominación:<br><b>Tapa posterior</b> | Escala:<br>1:5 |
|         |              |       | Dib.   | 23/01/14             | Alvaro Muñoz        |  |                |
|         |              |       | Rev.   | 05/05/14             | Ing. Guamanquispe.J |  |                |
|         |              |       |        | Apro.                | 05/05/14            | Ing. Guamanquispe.J                    |                |
|         |              |       |        | UTA<br>Ing. Mecánica |                     | Número del dibujo: 08 de 10            |                |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |                      |                     | (Sustitución)                          |                |



|         |              |       |        |               |                     |                              |         |         |     |
|---------|--------------|-------|--------|---------------|---------------------|------------------------------|---------|---------|-----|
|         |              |       |        | Tolerancia    | (Peso)              | Materiales: ACERO INOXIDABLE |         |         |     |
|         |              |       |        | ±0,1          | 2,188 kg            |                              |         |         |     |
|         |              |       |        | Fecha         | Nombre              | Denominación:                | Escala: |         |     |
|         |              |       | Dib.   | 23/01/14      | Alvaro Muñoz        |                              |         | Silleta | 1:5 |
|         |              |       | Rev.   | 05/05/14      | Ing. Guamanquispe.J |                              |         |         |     |
|         |              |       | Apro.  | 05/05/14      | Ing. Guamanquispe.J |                              |         |         |     |
|         |              |       |        | UTA           |                     | Número del dibujo: 09 de 10  |         |         |     |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | Ing. Mecánica |                     | (Sustitución)                |         |         |     |



|         |              |       |        |                      |                     |                                    |                |
|---------|--------------|-------|--------|----------------------|---------------------|------------------------------------|----------------|
|         |              |       |        | Tolerancia           | (Peso)              | Materiales: ACERO ASTM A36         |                |
|         |              |       |        | $\pm 0,1$            | 10,101 kg           |                                    |                |
|         |              |       |        | Fecha                | Nombre              | Denominación:<br><b>Base motor</b> | Escala:<br>1:5 |
|         |              |       | Dib.   | 23/01/14             | Alvaro Muñoz        |                                    |                |
|         |              |       | Rev.   | 05/05/14             | Ing. Guamanquispe.J |                                    |                |
|         |              |       | Apro.  | 05/05/14             | Ing. Guamanquispe.J |                                    |                |
|         |              |       |        | UTA<br>Ing. Mecánica |                     | Número del dibujo: 10 de 10        |                |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |                      |                     | (Sustitución)                      |                |