



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE SANGRE
BOVINA A NIVEL DE LABORATORIO**

NÚMERO DEL PROYECTO: 629-765

**FREDY ALEXANDER AGUIRRE GÓMEZ
IVÁN CORONADO BENAVIDES
JAIME ANDRÉS DAZA CAÑÓN**

**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERIA
BOGOTÁ D.C.
2007**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE SANGRE
BOVINA A NIVEL DE LABORATORIO**

**FREDY ALEXANDER AGUIRRE GÓMEZ
IVÁN CORONADO BENAVIDES
JAIME ANDRÉS DAZA CAÑÓN**

**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERIA
BOGOTÁ D.C.
2007**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE SANGRE
BOVINA A NIVEL DE LABORATORIO**

NÚMERO DEL PROYECTO: 629-765

**FREDY ALEXANDER AGUIRRE GÓMEZ
IVÁN CORONADO BENAVIDES
JAIME ANDRÉS DAZA CAÑÓN**

**PROYECTO DE INVESTIGACION PRESENTADO COMO PRERREQUISITO
PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**DIRECTOR:
JORGE RENÉ SILVA LARROTTA**

**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERIA
BOGOTÁ D.C.**

2007

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Bogotá D.C., Noviembre 19 de 2007

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD LIBRE, por la formación académica.

A nuestro director de proyecto, JORGE RENÈ SILVA LARROTTA, por su apoyo incondicional, asesoría técnica y colaboración desinteresada para desarrollo exitoso de la investigación.

Al ingeniero RICARDO AUGUSTO RÌOS, por su asesoría y generosa colaboración para la elaboración de la investigación.

A los monitores de los diferentes laboratorios por su colaboración y disponibilidad en la atención de las solicitudes realizadas.

Al ingeniero **JORGE EDUARDO GONZÁLEZ** subgerente de operaciones de **FRIGODAN LTDA.** (Frigorífico Guadalupe) por suministrarnos la sangre bovina esencial para el desarrollo del proyecto

A nuestros padres y familiares por su amor, dedicación confianza, entrega y apoyo en toda nuestra carrera.

A todos y cada una de las personas que una u otra forma se involucraron en el desarrollo de este proyecto

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	1
INTRODUCCIÓN	4
1. OBJETIVOS	5
1.1 Objetivo General	5
1.2. Objetivos Específicos	5
2. MARCO TEORICO	6
2.1 Cooker (Digestor)	6
2.2 Composición de la Sangre	6
2.2.1 Composición Química de la Sangre	8
2.2.2 Composición Física de la Sangre	9
2.3 Métodos para la Obtención de Harina de Sangre	11
2.3.1 Secado Tradicional	11
2.3.2 Coagulación y Secado	12
2.4 Producción de Desechos de Matanza en los Mataderos Colombianos	14
2.5 Procesamiento y Utilización de los Desechos Comestibles	16
2.6 Comercialización de Desechos Comestibles en Colombia	18
3. DISEÑO PRELIMINAR	19
3.1 Primera Alternativa	20
3.2 Segunda Alternativa	22
3.3 Tercera Alternativa	24
4. CÁLCULOS DE DISEÑO PARA EL DESHIDRATADOR DE SANGRE BOVINA A NIVEL DE LABORATORIO	28
4.1 Cálculos de Resistencia de Materiales	28
4.1.1 Tamaño Optimo del Recipiente	28

4.1.2	Diseño del Recipiente	32
4.1.3	Diseño de los Álabes de Agitación	38
4.1.3.1	Presión Hidrostática	40
4.1.3.2	Fuerza de Arrastre de Material	44
4.1.3.3	Fuerza de Inercia	46
4.1.3.4	Torque y Potencia	47
4.1.4	Diseño del Eje de Agitación	49
4.1.4.1	Condiciones Iniciales	50
4.1.4.2	Diagrama Torsor.	52
4.1.4.3	Cargas Inducidas	52
4.1.4.4	Calculo del Diámetro Inicial (Carga Estática)	55
4.1.4.5	Calculo del Diámetro Final (Carga Cíclica)	56
4.1.4.6	Selección de Rodamientos	57
4.1.4.7	Cálculo de las Uniones Soldadas	61
4.1.4.8	Selección de Tornillos	64
4.2	Cálculos Térmicos	65
4.2.1	Determinación de la Energía Térmica para el Proceso	65
4.2.1.1	Transferencia de Calor	68
4.2.1.2	Aislante Térmico	74
5.	DISEÑO EXPERIMENTAL	77
5.1	Planteamiento del Problema	77
5.2	Objetivos	77
5.2.1	Objetivo General	77
5.2.2	Objetivos Específicos	77
5.3	Ejecución del Experimento	78
5.3.1	Muestras de Sangre	79
5.3.2	Pesaje de Muestras	79
5.3.3	Preparación del Deshidratador	80
5.3.4	Procesamiento	81
5.3.5	Obtención de Muestras	82
5.3.6	Determinación de pH	83

5.3.7	Determinación del Porcentaje de Humedad	84
5.4	Etapas Experimentales	86
5.5	Parámetros de Medición	86
5.5.1	El Peso	86
5.5.2	El pH	87
5.5.3	La Humedad	88
5.6	Resultados Experimentales y Modelo Estadístico	89
5.6.1	VARIABLES DEL PROCESO	89
5.6.2	Modelo Estadístico Propuesto	90
5.6.3	Obtención de los estimadores del modelo estadístico 2^k	97
5.7	Análisis de Resultados	99
5.7.1	Confiabilidad	99
5.7.2	Etapas Experimentales	101
6.	ANÁLISIS DIMENSIONAL	106
6.1	Análisis de los Experimentos con el Deshidratador de Sangre Bobina	108
6.1.1	Interpretación de las Interacciones	116
7.	CÁLCULOS DE DISEÑO PARA EL DESHIDRATADOR DE SANGRE BOVINA PROPUESTO PARA MATADEROS MUNICIPALES	121
7.1	Cálculos de Resistencia de Materiales	121
7.1.1	Tamaño Óptimo del Recipiente	121
7.1.2	Diseño del Recipiente	127
7.1.3	Diseño de los Álabes de Agitación	132
7.1.3.1	Presión Hidrostática	133
7.1.3.2	Fuerza de Arrastre de Material	142
7.1.3.3	Fuerza de Inercia	143
7.1.3.4	Torque y Potencia	144
7.1.4	Diseño del Eje de Agitación	146
7.1.4.1	Condiciones Iniciales	146

7.1.4.2	Diagrama Torsor.	147
7.1.4.3	Cargas Inducidas	148
7.1.4.4	Calculo del Diámetro Inicial (Carga Estática)	151
7.1.4.5	Calculo del Diámetro Final (Carga Cíclica)	151
7.1.4.6	Selección de Rodamientos	153
7.1.4.7	Cálculo de las Uniones Soldadas	156
7.1.4.8	Selección de Tornillos	159
7.2	Cálculos Térmicos	160
7.2.1	Determinación de la Energía Térmica para el Proceso	160
7.2.1.1	Transferencia de Calor	163
7.2.1.2	Aislante Térmico	169
8.	CONCLUSIONES	171
9.	BIBLIOGRAFÍA	174
10.	INFOGRAFÍA	176

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Composición General de la Sangre Entera	7
Figura 2.	Sistema de Secado Tradicional	12
Figura 3.	Coagulación, Prensado y Secado	13
Figura 4.	Coagulación y Deshidratación Continua, y Secado	13
Figura 5.	Esquema del Horno Digestor	21
Figura 6.	Maquina de Vapor	23
Figura 7.	Esquema del Deshidratador de Sangre Bovina a Nivel de Laboratorio	26
Figura 8.	Gráfica para Determinar el Tamaño Óptimo del recipiente	31
Figura 9.	Diagrama del Recipiente	32
Figura 10.	Distribución de los Álabes en el Eje de Agitación	39
Figura 11.	Presión Hidrostática Álabes 1	41
Figura 12.	Presión Hidrostática Álabes 2 y 4	43
Figura 13.	Presión Hidrostática Álabes 3	44
Figura 14.	Esquema del Eje	47
Figura 15.	Diagrama Torsor	52
Figura 16.	Diagrama de Cuerpo Libre	53
Figura 17.	Diagrama de Fuerza Cortante (V) y Momento Flector (M)	54
Figura 18.	Distribución de Rodamientos	57
Figura 19.	Dimensiones del Rodamiento	60
Figura 20.	Geometría de las Soldaduras	61
Figura 21.	Temperatura Media Logarítmica	72
Figura 22.	Aislante Térmico	74
Figura 23.	Resistencias Térmicas	75
Figura 24.	Pesaje de Muestras	80
Figura 25.	Preparación del Deshidratador	81
Figura 26.	Procesamiento	82
Figura 27.	Obtención de Muestras	83

Figura 28.	Determinación de pH	84
Figura 29.	Determinación de % de Humedad	85
Figura 30.	Porcentaje de Impactos Primera Etapa	102
Figura 31.	Porcentaje de Impactos Segunda Etapa	104
Figura 32.	Geometría del Álabe	107
Figura 33.	Tiempo - (%) de Humedad Final	111
Figura 34.	Flujo de Calor - (%) de Humedad Final	112
Figura 35.	Flujo de Calor - Tiempo (s)	113
Figura 36.	Presión - (%) Humedad Final	114
Figura 37.	Distancia - (%) Humedad Final	115
Figura 38.	Número π - % Humedad Final	119
Figura 39.	Gráfica para Determinar el Tamaño Óptimo del recipiente	124
Figura 40.	Diagrama del Recipiente	127
Figura 41.	Distribución de los Álaves en el Eje de Agitación	132
Figura 42.	Presión Hidrostática del Grupo A	135
Figura 43.	Presión Hidrostática del Grupo B y C	136
Figura 44.	Presión Hidrostática del Grupo D	138
Figura 45.	Distribución de los álabes para la posición vertical	140
Figura 46.	Álabes para la Posición más Sumergida	141
Figura 47.	Esquema del Eje	144
Figura 48.	Diagrama Torsor	148
Figura 49.	Diagrama de Cuerpo Libre	148
Figura 50.	Diagrama de Fuerza Cortante (V) y Momento Flector (M)	150
Figura 51.	Distribución de Rodamientos	153
Figura 52.	Dimensiones del Rodamiento	155
Figura 53.	Geometría de las Soldaduras	156
Figura 54.	Temperatura Media Logarítmica	167
Figura 55.	Aislante Térmico	169
Figura 56.	Resistencias Térmicas	170

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Componentes Importantes de la Sangre	5
Cuadro 2. Densidad de la Sangre	7
Cuadro 3. Viscosimetría y Reología de la Sangre Bovina	8
Cuadro 4. Densidad de la Sangre	12
Cuadro 5. Cantidades Promedio de Desechos Comestibles de Matadero Obtenidos en los Centros de Matanza de Colombia	12
Cuadro 6. Uso de la Sangre Entera para Consumo Animal	13
Cuadro 7. Resumen de la Utilización de los Productos Obtenidos de a Industrialización de los Desechos de Matadero por las Fabricas de Alimentos Balanceados para Animales	14
Cuadro 8. Cantidades Promedio de Producto Obtenido de la Industrialización de los Desechos Comestibles de Matadero en Colombia (Ton/mes)	14
Cuadro 9. Precios de Desechos de Matadero y Productos Obtenidos	15
Cuadro 10. Comparativo de Propuestas	23
Cuadro 11. Tabla de Juntas Soldadas	30
Cuadro 12. Fuerzas Soportadas por el Eje del Prototipo	47
Cuadro 13. Variables Primera Etapa	91
Cuadro 14. Variables Segunda Etapa	92
Cuadro 15. Datos Obtenidos de la Primera Etapa Experimental.	93
Cuadro 16. Datos Obtenidos de la Segunda Etapa Experimental.	95
Cuadro 17. Cuadro de Estimadores de los Efectos Primera Etapa	102
Cuadro 18. Cuadro de Estimadores de los Efectos Segunda Etapa	104
Cuadro 19. Variables Independientes	106
Cuadro 20. Variables Experimentales Durante las Pruebas	109
Cuadro 21. Tabla de Juntas Soldadas	123
Cuadro 22. Fuerzas Soportadas por el Eje del Prototipo	143

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A Planos Prototipo
- Anexo B Termografía Prototipo
- Anexo C Planos Deshidratador Propuesto

NOMENCLATURA

U	Coeficiente global de transferencia de calor ($W/m^2\ ^\circ C$)
A	Área de transferencia de calor (m^2)
ΔT	Temperatura media logarítmica ($^\circ C$)
ω	Velocidad de rotación (rev/min)
\dot{q}	Flujo de calor (W)
m	Masa de la sangre (kg)
T_o	Temperatura inicial de la sangre ($^\circ C$)
T_f	Temperatura final de la sangre
ΔT	Diferencia de temperatura ($^\circ C$)
h_{fg}	Diferencia de entalpías para un cambio de fase (kJ/kg)
h	Coeficiente de convección de la sangre al interior del prototipo ($W/m^2\ ^\circ C$)
D	Diámetro interno del tanque para la sangre (m)
K_s	Conductividad Térmica de la sangre ($W/m^\circ C$)
L_P	Diámetro de las aspas del agitador (m)
N	Velocidad del agitador (rad/s)
ρ	Densidad de la sangre (kg/m^3)
μ	Viscosidad de la sangre (Pa s)
c	Calor específico de la sangre a presión constante (kJ/kg $^\circ C$)
μ_b	Viscosidad a la temperatura global (Pa s)
μ_w	Viscosidad a la temperatura de pared (Pa s)
h_v	Coeficiente de convección del vapor ($W/m^2\ ^\circ C$)
C	Factor de corrección (adimensional)
g	Aceleración de la gravedad (m/s^2)
ρ_L	Densidad del agua líquida (kg/m^3)
ρ_v	Densidad del vapor (kg/m^3)
K	Conductividad Térmica del vapor ($W/m\ ^\circ C$)
μ_l	Viscosidad del vapor (Pa s)
T_{sa}	Temperatura del vapor ($^\circ C$)

T_s	Temperatura de la sangre ($^{\circ}\text{C}$)
S	Valor de esfuerzo del material (psi)
E	Eficacia de la junta
r_i	radio interno (m)
r_o	radio externo (m)
r	radio medio (m)
p_i	presión interna (Pa)
p_o	presión externa (Pa)
R	Resultante de presión que debe pasar por centroide de la carga distribuida.
γ	Peso específico (N/m^3)
z	Profundidad medida desde la superficie libre hasta el centroide del álabe.(m)
A	Área del álabe (m^2)
C_D	Coeficiente de arrastre
η_s	Factor de seguridad
S_y	Esfuerzo de fluencia del acero AISI 410 (MPa)
M	Momento (Nm)
T	Torque (Nm)
η_s	Factor de seguridad
S_y	Esfuerzo de fluencia del acero AISI 410 (MPa)
M_m	Momento medio (Nm)
S_e	Limite a la fatiga del acero AISI 410 (MPa)
K_f	Factor de concentración de esfuerzo
M_a	Momento alternante (Nm)
T_m	Torque (Nm)
K_{fS}	Factor de concentración de esfuerzo por fatiga
P_o	Carga estática equivalente del rodamiento
F_r	Carga real radial del rodamiento
F_a	Carga real axial del rodamiento

X_o	Factor de carga real radial del rodamiento
Y_o	Factor de carga real axial del rodamiento
S_o	Factor de seguridad de carga estática
C_o	Capacidad de carga estática
τ	Esfuerzo cortante (Pa)
F	Fuerza aplicada (N)
h_e	Altura teórica del cordón de soldadura (mm)
L_w	Longitud del cordón (mm)