

---

## Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
1. Definición y formalización del proyecto de mejoramiento .....	2
1.1. Lugar de aplicación .....	2
1.1.1. Descripción del entorno.....	2
1.1.2. Descripción de la empresa.....	3
1.1.3. Estructura organizacional.....	5
1.1.4. Principales mercados de destino.....	7
1.1.5. Descripción del proceso productivo.....	8
1.2. Problemática .....	18
1.3. Objetivo general .....	20
1.4. Objetivos específicos .....	20
1.5. Justificación .....	21
1.6. Alcances .....	22
1.7. Resultados tangibles esperados .....	23
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	24
2. Marco teórico .....	25
2.1. Diagrama de flujo.....	25
2.2. Conceptos de transferencia de calor .....	26
2.2.1. Ciclo de refrigeración .....	27
2.2.2. Ciclo de refrigeración ideal.....	29
2.3. Estadística descriptiva.....	30
2.3.1. Descripción de parámetros .....	30
2.3.2. Descripción de gráficos.....	32
2.3.3. Diagrama causa - efecto .....	33
2.3.4. <i>Software R</i> .....	34

---

2.4.	Modelos de regresión causales .....	35
2.4.1.	Modelo regresión lineal .....	35
2.4.2.	Modelo aditivo generalizado.....	36
2.5.	Evaluación de proyectos .....	37
2.6.	Metodología de trabajo.....	38
2.6.1.	Alternativas metodológicas de solución.....	40
2.6.2.	Matriz de factores ponderados .....	40
2.6.3.	Matriz multi criterio para elección de la alternativa de desarrollo.....	41
CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA .....		43
3.	Diagnóstico de la problemática .....	44
3.1.	Análisis de la merma .....	44
3.1.1.	Análisis histórico .....	44
3.1.2.	Análisis actual .....	47
3.2.	Descripción del sistema de generación de frío .....	50
3.2.1.	Descripción de equipos industriales .....	51
3.2.2.	Características del túnel de enfriamiento rápido.....	55
3.3.	Cálculos de carga térmica.....	56
3.3.1.	Determinación de parámetros del proceso .....	56
3.3.2.	Calculo de carga por ingreso de cerdos .....	58
3.3.3.	Calculo de carga transmitida por paredes .....	61
3.3.4.	Calculo de cargas por iluminación.....	63
3.3.5.	Calculo de cargas térmicas por puertas abiertas.....	64
3.3.6.	Calculo de carga térmica por motores.....	65
3.3.7.	Otras cargas térmicas y factor de seguridad .....	66
3.3.8.	Carga térmica total.....	66
3.4.	Balance de capacidad.....	67
3.5.	Sistemas de enfriamiento rápido por aire en el mundo.....	68

---

3.6. Análisis causa – efecto.....	72
CAPÍTULO 4: ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA MERMA.....	77
4. Estudio y análisis de la pérdida de peso.....	78
4.1. Muestreo estadístico .....	78
4.1.1. Definición de variables de estudio.....	78
4.1.2. Determinar tamaño de la muestra .....	80
4.2. Modelo de regresión lineal .....	80
4.2.1. Formulación de hipótesis .....	82
4.2.2. Ecuación general .....	83
4.2.3. Análisis de significancia .....	84
4.2.4. Coeficiente de determinación.....	84
4.2.5. Supuestos del modelo lineal .....	85
4.3. Modelo aditivo generalizado (GAM) .....	90
4.3.1. Desarrollo modelo GAM básico.....	92
4.3.2. Comparación de modelos GAM .....	93
4.3.3. Validación del modelo.....	97
4.4. Análisis del modelo .....	98
4.4.1. Significancia de las variables .....	98
4.4.2. Influencia de las variables en la merma .....	99
4.5. Conclusiones del análisis.....	105
CAPÍTULO 5: PROPUESTAS DE SOLUCIÓN .....	107
5. Propuestas de Solución .....	108
5.1. Propuesta 1: Cambio de Evaporadores.....	108
5.1.1. Cálculo de cargas térmicas .....	108
B. Carga por ingreso de los cerdos .....	110
5.1.2. Carga térmica total sector 1 .....	113
5.1.3. Balance de capacidad Sector 1.....	113

---

5.1.4.	Descripción de equipos .....	114
5.1.5.	Matriz multi – criterio .....	117
5.1.6.	Matriz de ponderación.....	119
5.1.7.	Calculo de evaporadores que se requieren cambiar .....	119
5.1.8.	Disminución de la merma .....	120
5.2.	Propuesta 2: Incorporar un nuevo evaporador .....	121
5.2.1.	Descripción de equipos .....	121
5.2.2.	Disminución de la merma .....	123
5.3.	Propuesta 3: Ampliación del túnel de enfriamiento rápido .....	124
5.3.1.	Cálculo cargas térmicas nuevo sector.....	126
5.3.2.	Dimensionamiento de equipos .....	128
5.3.3.	Disminución de la pérdida de peso .....	130
5.4.	Resumen de las propuestas de solución.....	131
5.5.	Prueba práctica de funcionamiento de alternativas de solución .....	132
CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN ECONÓMICA .....		135
6.	Evaluación Económica .....	136
6.1.	Consideraciones para la evaluación.....	136
6.2.	Alternativa 1 .....	137
6.2.1.	Inversión en Activos .....	137
6.2.2.	Inversión en Implementación del Proyecto .....	137
6.2.3.	Costos de Operación .....	138
6.2.4.	Costos de servicios básicos .....	139
6.2.5.	Beneficios .....	140
6.2.6.	Flujo de Caja Puro .....	141
6.2.7.	Análisis de sensibilidad .....	142
6.3.	Alternativa 2 .....	143
6.3.1.	Inversión en Activos .....	143

---

6.3.2.	Inversión en Implementación del Proyecto .....	143
6.3.3.	Costos de operación .....	143
6.3.4.	Costos de servicios básicos .....	144
6.3.5.	Beneficios .....	144
6.3.6.	Flujo de Caja Puro .....	144
6.3.7.	Análisis de sensibilidad .....	145
6.4.	Alternativa 3 .....	146
6.4.1.	Inversión en Activos .....	146
6.4.2.	Inversión en Implementación del Proyecto .....	146
6.4.3.	Costos de Operación .....	147
6.4.4.	Costos de servicios básicos .....	148
6.4.5.	Beneficios .....	148
6.4.6.	Flujo de Caja Puro .....	149
6.4.7.	Análisis de Sensibilidad.....	150
6.5.	Comparación de Alternativas .....	151
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES.....		153
BIBLIOGRAFÍA.....		160
ANEXOS.....		162

---

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Organigrama.....	6
Ilustración 2: Mercados de destino de exportación .....	7
Ilustración 3: Diagrama proceso productivo general. ....	9
Ilustración 4: Diagrama de flujo del proceso del cerdo (Parte 1) .....	14
Ilustración 5: Diagrama de flujo del proceso del cerdo (parte 2).....	15
Ilustración 6: Diagrama de flujo del proceso del cerdo (parte 3).....	16
Ilustración 7: Diagrama de flujo del proceso del cerdo (parte 4).....	17
Ilustración 8: Túnel de enfriamiento rápido .....	19
Ilustración 9: Simbología de diagramas de flujo .....	25
Ilustración 10: Ciclo de Carnot.....	29
Ilustración 11: Compresión a vapor.....	30
Ilustración 12: Curva de distribución normal .....	32
Ilustración 13: Esquema de causa - efecto .....	34
Ilustración 14: Descripción de elaboración flujo de caja .....	38
Ilustración 15: Ciclo de refrigeración .....	51
Ilustración 16: Evaporadores .....	51
Ilustración 17: Consumo de refrigerante (NH <sub>3</sub> ) por cada equipo industrial. ....	53
Ilustración 18: Compresor reciprocante.....	54
Ilustración 19: Condensador. ....	55
Ilustración 20: Diagrama causa-efecto de la pérdida de peso en el cerdo.....	76
Ilustración 21: Evaporador 1 .....	114
Ilustración 22: Evaporador 2 .....	116
Ilustración 23: Mini layout propuesta 2.....	122
Ilustración 24: <i>layout</i> propuesta 3 .....	124
Ilustración 25: Compresor pistón de la empresa .....	165
Ilustración 26: Compresor tornillo de la empresa .....	166
Ilustración 27: Condensador de la empresa.....	167
Ilustración 28: Evaporador de la empresa.....	167

---

## Índice de Tablas

Tabla 1: Nivel de correlación.....	36
Tabla 2: Matriz de factores ponderados para desarrollo de alternativa tecnológica .....	41
Tabla 3: Matriz de multi criterio .....	42
Tabla 4: Evaporador zona 1 .....	52
Tabla 5: Evaporador zona 2.....	52
Tabla 6: Evaporador zona 3.....	52
Tabla 7: Evaporador zona 4.....	52
Tabla 8: Otras especificaciones de los evaporadores .....	53
Tabla 9: Medidas TER por sector.....	56
Tabla 10: Medidas en 5 puntos del cerdo .....	58
Tabla 11: Variación de la temperatura en razón del tiempo por sector.....	58
Tabla 12: Otras cargas térmicas y factores de seguridad .....	66
Tabla 13: Cargas térmica total por sector .....	66
Tabla 14: Cargas térmicas de los evaporadores por sector .....	68
Tabla 15: Carga térmica total de evaporadores y compresores .....	68
Tabla 16: Comparación del sistema de enfriamiento de Coexca versus otras tecnologías .....	71
Tabla 17: Resultados obtenidos por R para modelo lineal múltiple .....	83
Tabla 18: Resultados de $R^2$ y $R^2$ ajustado .....	85
Tabla 19: Resultados de prueba Jarque-Bera y Shapiro-Wilk .....	87
Tabla 20: Prueba <i>t-student</i> .....	88
Tabla 21: Test Breusch-Pagan .....	89
Tabla 22: Test <i>Durbin-Watson</i> .....	89
Tabla 23: Factores de inflación de la varianza .....	90
Tabla 24: Comparación entre modelo lineal y GAM básico .....	91
Tabla 25: Coeficiente paramétrico .....	92
Tabla 26: Significancia de las variables .....	93
Tabla 27: Matriz de correlación (parte 1).....	94
Tabla 28: Matriz de correlación (parte2).....	94
Tabla 29: Comparación entre modelos GAM para la merma del cerdo .....	96
Tabla 30: Prueba <i>Jarque-Bera</i> y <i>Shapiro-Wilk</i> para modelo GAM.....	98
Tabla 31: Prueba Fisher para modelo GAM.....	99

---

Tabla 32: Conclusión del modelo final GAM (parte 1) .....	105
Tabla 33: Conclusión del modelo final GAM (parte 2) .....	106
Tabla 34: Tiempo y temperatura por sector .....	110
Tabla 35: Otras cargas y factores de seguridad sector 1 .....	113
Tabla 36: Resumen cargas térmicas sector 1 .....	113
Tabla 37: Balance de capacidad sector 1 .....	114
Tabla 38: Característica evaporador 1 .....	115
Tabla 39: Características evaporador 2 .....	116
Tabla 40: Matriz multi criterio para evaporadores propuesta 1 .....	118
Tabla 41: Matriz de ponderación evaporadores propuesta 1.....	119
Tabla 42: Comparación capacidad actual y futura capacidad .....	120
Tabla 43: Promedio de parámetros para pronóstico.....	120
Tabla 44: Pronóstico de merma .....	120
Tabla 45: Características evaporadores actuales de la empresa .....	121
Tabla 46: Capacidades por tipo de evaporador.....	122
Tabla 47: Dimensiones sector 1.....	123
Tabla 48: Dimensiones evaporador .....	123
Tabla 49: Medidas TER alternativa 2 .....	125
Tabla 50: Tiempo por sector .....	125
Tabla 51: Potencia de sector 5 .....	129
Tabla 52: pronóstico propuesta 3.....	130
Tabla 53: Parámetros pronóstico propuesta 3.....	130
Tabla 54: Merma para propuesta 3. ....	131
Tabla 55: Detalle prueba de funcionamiento.....	133
Tabla 56: Merma prueba de funcionamiento.....	133
Tabla 57: Activos alternativa 1. ....	137
Tabla 58: Costos operacionales alternativa 1.....	139
Tabla 59: Servicios básicos alternativa 1. ....	140
Tabla 60: Condiciones funcionamiento alternativa 1. ....	140
Tabla 61: Ventas alternativa 1 parte a. ....	141
Tabla 62: Ventas alternativa 1 parte b. ....	141
Tabla 63: Indicadores rentabilidad alternativa 1.....	142
Tabla 64: Análisis sensibilidad alternativa 1.....	143
Tabla 65: Activos alternativa 2. ....	143



Tabla 66: Costos operacionales alternativa 2.....	144
Tabla 67: Servicios básicos alternativa 2. ....	144
Tabla 68: Indicadores rentabilidad alternativa 2. ....	145
Tabla 69: Análisis sensibilidad alternativa 2. ....	145
Tabla 70: Activos alternativa 3. ....	146
Tabla 71: Costos operacionales alternativa 3.....	147
Tabla 72: Servicios básicos alternativa 3. ....	148
Tabla 73: Detalle operacional alternativa 3. ....	148
Tabla 74: Ventas alternativa 3 parte a. ....	149
Tabla 75: Ventas alternativa 3 parte b. ....	149
Tabla 76: Indicadores rentabilidad alternativa 3. ....	150
Tabla 77: Análisis sensibilidad alternativa 3. ....	151
Tabla 78: Comparación alternativas.....	152
Tabla 79: Ganancia de calor sensible por infiltraciones de aire.....	164
Tabla 80: Flujo de caja Alternativa 1. ....	172
Tabla 81: Flujo de caja Alternativa 2. ....	173
Tabla 82: Flujo de caja Alternativa 3. ....	174

---

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Participación en el mercado de los cerdos.....	3
Gráfico 2: Porcentaje de participación de los accionistas.....	4
Gráfico 3: Porcentaje de exportación por país. ....	8
Gráfico 4: Promedio de merma por año .....	45
Gráfico 5: Distribución mensual de la merma.....	46
Gráfico 6: Distribución merma por año y mes .....	46
Gráfico 7: Aumento de la producción .....	47
Gráfico 8: Merma por hora de producción.....	48
Gráfico 9: Merma por rango de pesos.....	49
Gráfico 10: Distribución diaria de la merma .....	50
Gráfico 11: Cargas térmicas totales .....	67
Gráfico 12: Campana de Gauss de modelo lineal múltiple .....	86
Gráfico 13: Cuartil - cuartil .....	87
Gráfico 14: Cuartil - cuartil para modelo GAM.....	97
Gráfico 15: Peso inicial v/s merma.....	100
Gráfico 16: Temperatura y humedad relativa sector 1 v/s merma .....	101
Gráfico 17: Temperatura y humedad relativa sector 2 v/s merma .....	102
Gráfico 18: Merma v/s temperatura sector 4 .....	103
Gráfico 19: Merma v/s cantidad de cerdos.....	104
Gráfico 20: Calor sensible por infiltración de aire .....	163

---

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Transferencia de calor por conducción .....	26
Ecuación 2: Transferencia de calor por radiación emitida .....	27
Ecuación 3: Transferencia de calor por radiación por absorción .....	27
Ecuación 4: Transferencia de calor por convección .....	27
Ecuación 5: Media muestral.....	31
Ecuación 6: Media poblacional .....	31
Ecuación 7: Moda .....	31
Ecuación 8: Varianza .....	32
Ecuación 9: Regresión lineal múltiple .....	36
Ecuación 10: Modelo aditivo generalizado .....	36
Ecuación 11: Carga térmica de ingreso del producto .....	59
Ecuación 12: Carga transmitida por paredes .....	61
Ecuación 13: Carga térmica por puertas abierta .....	64
Ecuación 14: Modelo lineal múltiple para estimar la merma del cerdo .....	81
Ecuación 15: Ecuación general de la merma del cerdo.....	83
Ecuación 16: Modelo GAM básico para la merma del cerdo.....	92
Ecuación 17: Estimación de la merma (modelo GAM avanzado) .....	98
Ecuación 18: Razón de transferencia de calor .....	108
Ecuación 19: Coeficiente de tiempo.....	109
Ecuación 20: Razón de transferencia de calor .....	110