

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“DISEÑO DE CÁMARAS DE SECADO ARTIFICIAL PARA LA
LINEA DE PRODUCCION DE LADRILLOS EN LA CERAMICA
CORONA S.R.L.**

Por:

JOSE CRISTIAN SERRANO FLORES

**Perfil de Proyecto de Grado presentado a consideración a la “UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado
académico de Licenciatura en Ingeniería Industrial.**

Junio de 2024

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

Lic. Marcelo Segovia Cortez

DECANO

Lic. Gustavo Succi Aguirre

VICEDECANO

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Guisela Bruno Rios

Ing. Claudia Salazar Bellido

Ing. Osvaldo Aireyu Mosquera

ADVERTENCIA

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esta responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

A mis padres y seres queridos, quienes han sido la fuente de motivación e inspiración que ha hecho posible la realización de este proyecto. Su apoyo incondicional y amor han sido los pilares fundamentales que han guiado cada paso de este camino.

AGRADECIMIENTO

A Dios por sus bendiciones y por permitirme llegar a este momento.

A mi familia y seres queridos por todo el apoyo incondicional que me brindan.

Agradezco a todo el personal de Cerámica Corona por brindarme la oportunidad de desarrollar el presente proyecto.

Agradezco a mi docente guía Ing. Jaime Lujan por su paciencia y disposición para el desarrollo de este trabajo.

INDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

| | | |
|-------|----------------------------------|---|
| 1.1 | Antecedentes Generales | 1 |
| 1.2 | Objetivos del trabajo | 2 |
| 1.2.1 | Objetivo general | 2 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos | 2 |
| 1.3 | Justificación del proyecto | 2 |
| 1.3.1 | Justificación económica | 3 |
| 1.3.2 | Justificación Académica | 3 |
| 1.3.3 | Justificación Social | 3 |
| 1.4 | Metodología | 4 |
| 1.4.1 | Tipo de investigación | 4 |
| 1.4.2 | Tipo de Enfoque | 4 |
| 1.4.3 | Enfoque mixto | 4 |
| 1.4.4 | Tipo de Muestreo | 4 |

CAPÍTULO II

DESCRIPCION DE LA PLANTA

| | | |
|---------|---------------------------------------|----|
| 2.1 | Identificación de la empresa | 6 |
| 2.1.1 | Materias primas | 6 |
| 2.1.1.1 | Arcilla | 6 |
| 2.1.1.2 | Arena | 6 |
| 2.2 | Localización de la planta | 7 |
| 2.2.1 | Datos generales | 8 |
| 2.2.2 | Identificación de los productos | 8 |
| 2.2.3 | Estructura Organizacional | 10 |
| 2.2.3.1 | Organigrama | 10 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.3 | Distribución de planta..... | 14 |
| 2.4 | Maquinaria y equipos..... | 15 |
| 2.5 | Manejo de materiales..... | 18 |
| 2.5.1 | Descripción del proceso productivo | 18 |
| 2.6 | Operación y control | 20 |
| 2.6.1 | Descripción de las áreas principales | 20 |
| 2.6.1.1 | Área de recepción de la materia prima | 20 |
| 2.6.1.2 | Área de producción..... | 21 |
| 2.6.1.3 | Área de comercialización..... | 21 |
| 2.7 | Manejo de residuos o Eliminación de efluentes | 22 |
| 2.8 | Diagrama de flujo | 23 |

CAPÍTULO III

CONCEPCION Y DEFINICION DEL PROBLEMA

| | | |
|-----------|--|----|
| 3.1 | Identificación del problema | 26 |
| 3.1.1 | Árbol de problemas..... | 29 |
| 3.1.2 | Formulación del problema..... | 30 |
| 3.2 | Descripción de alternativas técnicas de solución..... | 30 |
| 3.2.1 | Diagnóstico del área de secado..... | 30 |
| 3.3 | Definiciones de condiciones y capacidad | 32 |
| 3.3.1 | Identificación de la situación problemática o definición | 32 |
| 3.4 | Selección de la alternativa de solución..... | 33 |
| 3.4.1 | Identificación de alternativas | 34 |
| 3.4.1.1 | Alternativa 1 | 34 |
| 3.4.1.1.1 | Secador Estático..... | 34 |
| 3.4.1.2 | Alternativa 2 | 35 |
| 3.4.1.1.2 | Secador continuo sistema de auto movimiento..... | 35 |
| 3.4.1.3 | Alternativa 3 | 36 |
| 3.4.1.1.3 | Secador rápido tipo talisca..... | 36 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 3.4.2 | Consulta con el experto en el tema | 37 |
| 3.4.3 | Selección de alternativa optima | 38 |
| 3.4.3.1 | Cuadro comparativo..... | 38 |
| 3.4.3.2.1 | Selección de la alternativa optima | 41 |
| 3.5 | Contribución científica a la industria cerámica | 42 |

CAPÍTULO IV

MARCO TEÓRICO

| | | |
|--------|---|----|
| 4.1 | Secado..... | 45 |
| 4.1.1 | Humedad relativa..... | 45 |
| 4.1.2 | Transferencia de calor en secadores | 45 |
| 4.1.3 | Mecanismo del secado en relación con la materia prima | 45 |
| 4.1.4 | Calentamiento de la pieza | 50 |
| 4.1.5 | Eliminación del agua de contracción | 50 |
| 4.1.6 | Eliminación del agua de porosidad..... | 51 |
| 4.1.7 | Relación secado y contracción de la pieza..... | 51 |
| 4.2 | Tipos de secado..... | 52 |
| 4.2.1 | Secado natural..... | 52 |
| 4.2.2 | Secado Artificial | 52 |
| 4.2.3 | Humedad relativa del aire | 52 |
| 4.2.4 | Temperatura del aire | 52 |
| 4.2.5 | Presión del aire..... | 53 |
| 4.2.6 | Generalidades de las curvas de secado | 53 |
| 4.2.7 | Curva de secado..... | 53 |
| 4.2.8 | Tiempo de secado | 54 |
| 4.2.9 | Periodo constante de secado | 54 |
| 4.2.10 | Periodo de caída de secado | 55 |
| 4.3 | Tipos de secadores | 55 |
| 4.3.1 | Secadores Estáticos..... | 55 |
| 4.3.2 | Secadores continuos..... | 56 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 4.3.3 | Secadores semicontinuos | 56 |
| 4.3.4 | Secadores Rápidos | 57 |
| 4.3.4.1 | Secadores Talisca..... | 57 |
| 4.3.4.2 | Secadores de balanza | 58 |
| 4.3.5 | Secadores a grandes volúmenes de aire | 59 |
| 4.4 | Ventilador | 59 |
| 4.4.1 | Clasificación de los Ventiladores | 59 |
| 4.4.1.1 | Atendiendo a su funcion | 59 |
| 4.4.1.1.1 | Ventiladores con envolvente que suele ser tubular..... | 59 |
| 4.4.1.1.2 | Ventiladores murales | 59 |
| 4.4.1.1.3 | Ventiladores de chorro..... | 59 |
| 4.4.1.2 | Atendiendo a la trayectoria del aire | 59 |
| 4.4.1.2.1 | Ventiladores centrifugos | 59 |
| 4.4.1.2.2 | Ventiladores Axiales..... | 60 |
| 4.4.1.2.3 | Ventiladores Transversales | 60 |
| 4.4.1.2.4 | Ventiladores Helicocentrifugos..... | 60 |
| 4.4.1.3 | Atendiendo a la presion del aire | 60 |
| 4.4.1.3.1 | Ventiladores de baja presion..... | 60 |
| 4.4.1.3.2 | Mediana presion..... | 60 |
| 4.4.1.3.3 | Alta presion..... | 60 |
| 4.4.1.4 | Atendiendo a las condiciones de funcionamiento..... | 60 |
| 4.4.1.4.1 | Ventiladores estandar..... | 60 |
| 4.4.1.4.2 | Ventiladores especiales..... | 61 |
| 4.4.1.5 | Atendiendo al sistema de accionamiento..... | 61 |
| 4.4.1.5.1 | Accionamiento directo..... | 61 |
| 4.4.1.5.2 | Accionamiento por trasmision | 61 |
| 4.4.1.6 | Atendiendo al control de las prestaciones..... | 61 |
| 4.5 | Mantenimiento..... | 61 |
| 4.5.1 | Mantenimiento Preventivo..... | 61 |
| 4.5.2 | Mantenimiento preventivo sistemático | 61 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.5.3 | Mantenimiento preventivo condicional | 62 |
| 4.5.4 | Mantenimiento Correctivo..... | 62 |
| 4.6 | Norma Boliviana 1211001..... | 63 |
| 4.6.1 | Condiciones Generales | 63 |
| 4.6.2 | Identificación | 63 |
| 4.6.3 | Requisitos obligatorios | 64 |
| 4.6.4 | Características usuales | 64 |
| 4.6.4.1 | Fisuras..... | 64 |
| 4.6.4.2 | Características Geometricas..... | 64 |
| 4.6.4.3 | Resistencia a la compresion..... | 65 |
| 4.6.4.4 | Absorcion de agua | 65 |
| 4.7 | Tipos de extractores | 65 |
| 4.7.1 | Extractores de humedad industriales | 65 |
| 4.7.2 | Extractores de humedad desecantes..... | 66 |
| 4.7.3 | Extractores silenciosos..... | 66 |
| 4.7.4 | Extractor de humedad con calefacción | 66 |
| 4.7.5 | Relación secado y contracción de la pieza..... | 66 |
| 4.8 | Mecanismos de transferencia de calor | 67 |
| 4.8.1 | Conducción..... | 67 |
| 4.8.2 | Convección | 68 |
| 4.8.3 | Radiación | 69 |
| 4.8.4 | Calor que absorbe el material | 69 |
| 4.8.5 | Calor Sensible..... | 69 |
| 4.9 | Velocidad de secado | 70 |
| 4.9.1 | Humedad..... | 70 |
| 4.9.2 | Volumen húmedo..... | 70 |
| 4.9.3 | Densidad | 71 |
| 4.9.4 | Velocidad del aire | 71 |
| 4.9.5 | Velocidad de masa | 72 |
| 4.9.6 | Coefficiente de transferencia de calor..... | 72 |

| | | |
|--------|-------------------------------------|----|
| 4.9.7 | Velocidad de secado | 72 |
| 4.9.8 | Tiempo de secado | 73 |
| 4.9.9 | Masa de agua | 73 |
| 4.9.10 | Humedad relativa | 74 |
| 4.10 | Principio de estandarización | 74 |
| 4.11 | Distribución de planta | 74 |
| 4.12 | Reducción de costos..... | 74 |
| 4.13 | Diagrama de flujo | 75 |
| 4.13.1 | Diagrama de flujo del proceso | 75 |
| 4.14 | Estudio financiero | 75 |
| 4.14.1 | Costos fijos | 75 |
| 4.14.2 | Costos variables | 76 |
| 4.14.3 | VAN..... | 76 |
| 4.14.4 | TIR | 76 |
| 4.14.5 | Flujo de caja..... | 76 |
| 4.14.6 | Activos fijos..... | 77 |
| 4.14.7 | Activos diferidos..... | 77 |

CAPÍTULO V

ESPECIFICACION Y DISEÑO DEL EQUIPO

| | | |
|-------|---|----|
| 5.1 | Introducción | 79 |
| 5.2 | Diagrama de flujo | 80 |
| 5.2.1 | Diagrama de flujo actual del secado | 80 |
| 5.2.2 | Diagrama de flujo Propuesto | 81 |
| 5.3 | Especificaciones del producto | 82 |
| 5.4 | Disposición de nuevo lay out propuesto | 82 |
| 5.5 | Propuesta de diseño | 85 |
| 5.5.1 | Lay out Cámaras de secado artificial propuestas | 88 |
| 5.6 | Sistema de secado de cerámica roja..... | 89 |
| 5.7 | Esquema de secado túnel | 90 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 5.8 | Balace de materia y energía..... | 91 |
| 5.9 | Diseño y dimensionamiento del o los equipos necesarios..... | 92 |
| 5.9.1 | Dimensiones de obras civiles..... | 92 |
| 5.9.2 | Volumen total ladrillos..... | 92 |
| 5.9.3 | Volumen cámara..... | 93 |
| 5.9.4 | Coeficiente de llenado..... | 93 |
| 5.10 | Cálculo de calor y espacio..... | 94 |
| 5.10.1 | Calculo térmico..... | 94 |
| 5.10.1.1 | Masa de agua y aire..... | 94 |
| 5.10.1.2 | Calculo de calor sensible..... | 95 |
| 5.10.1.3 | Calculo de calor por conveccion..... | 96 |
| 5.10.1.4 | Calculo de calor latente..... | 97 |
| 5.10.1.5 | Calor util..... | 97 |
| 5.10.2 | Caudal..... | 98 |
| 5.10.3 | Conjunto de ventiladores..... | 98 |
| 5.11 | Cinética del secado..... | 99 |
| 5.11.1 | Humedad..... | 100 |
| 5.11.2 | Porcentaje de Humedad relativa..... | 100 |
| 5.11.3 | Volumen húmedo..... | 101 |
| 5.11.4 | Densidad..... | 101 |
| 5.11.5 | Velocidad del aire..... | 102 |
| 5.11.6 | Velocidad de masa..... | 102 |
| 5.11.7 | Coeficiente de transferencia de calor..... | 103 |
| 5.11.8 | Velocidad de secado..... | 103 |
| 5.11.9 | Tiempo de secado..... | 104 |
| 5.11.10 | Alimentación y carga de las cámaras de secado..... | 104 |
| 5.12 | Análisis de rendimiento de tiempos..... | 106 |
| 5.13 | Maquinaria y equipo necesario..... | 109 |
| 5.14 | Especificación de los equipos..... | 110 |
| 5.14.1 | Estantes..... | 110 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 5.14.2 | Platos giratorios | 111 |
| 5.14.3 | Conjunto de ventiladores | 112 |
| 5.14.4 | Exhaustor más plataformas..... | 113 |
| 5.14.5 | Ventilador axial..... | 114 |
| 5.14.6 | Actuador empujador | 115 |
| 5.14.7 | Generador de aire caliente | 116 |
| 5.15 | Análisis de riesgo y limitaciones del proyecto | 116 |
| 5.15.1 | Análisis FODA | 117 |
| 5.15.2 | Estrategias para el análisis FODA | 118 |
| 5.15.2.1 | Estrategias MAX - MAX..... | 118 |
| 5.15.2.2 | Estrategias MIN - MAX | 118 |
| 5.15.2.3 | Estrategias MAX - MIN | 119 |
| 5.15.2.4 | Estrategias MIN - MIN | 119 |
| 5.16 | Aspectos medio ambientales y de sostenibilidad..... | 120 |
| 5.16.1 | Identificación de aspectos ambientales..... | 121 |
| 5.16.2 | Entorno de las cámaras de secado..... | 121 |
| 5.16.2.1 | Impacto en la fase de diseño | 121 |
| 5.16.2.1.1 | Impacto sobre el medio físico | 121 |
| 5.16.2.1.2 | Impactos sobre el medio biológico | 121 |
| 5.16.2.1.3 | Impactos sobre el medio socio-económico | 121 |
| 5.16.2.2 | Impacto en la fase de funcionamiento | 122 |
| 5.16.2.2.1 | Requerimiento de agua..... | 122 |
| 5.16.2.2.2 | Aguas residuales | 122 |
| 5.16.2.2.3 | Residuos de arcilla | 122 |
| 5.16.2.2.4 | Ruido..... | 122 |
| 5.16.2.2.5 | Consumo de energía eléctrica | 122 |
| 5.16.3 | Identificación de los aspectos ambientales | 123 |

CAPÍTULO VI
ANÁLISIS ECONÓMICO

| | | |
|----------|--|-----|
| 6.1 | Introducción | 125 |
| 6.2 | Cálculo de costo de capital | 125 |
| 6.2.1 | Inversiones de activos fijos y activos diferidos | 125 |
| 6.2.1.1 | Inversion en obras civiles | 126 |
| 6.2.2 | Inversiones de activos diferidos..... | 128 |
| 6.2.3 | Maquinaria y equipos..... | 129 |
| 6.3 | Costo de operación o capital de trabajo | 131 |
| 6.4 | Inversión de activos fijo..... | 132 |
| 6.5 | Inversión Total | 132 |
| 6.6 | Financiamiento..... | 133 |
| 6.7 | Costos de producción..... | 134 |
| 6.7.1 | Costos variables | 135 |
| 6.7.2 | Costos fijos | 136 |
| 6.8 | Depreciación de activos fijos | 137 |
| 6.9 | Depreciación de activos diferidos..... | 137 |
| 6.10 | Demanda | 138 |
| 6.11 | Ingresos | 139 |
| 6.12 | Flujo de caja..... | 140 |
| 6.13 | Análisis de rentabilidad | 141 |
| 6.13.1 | Indicadores financieros | 141 |
| 6.13.1.1 | VAN..... | 141 |
| 6.13.1.2 | TIR | 141 |
| 6.13.1.3 | RBC | 142 |
| 6.13.1.4 | Pay back..... | 142 |
| 6.13.1.5 | Analisis de costos y toma de decision | 142 |

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|-----|-----------------------|-----|
| 7.1 | Conclusiones..... | 145 |
| 7.2 | Recomendaciones | 147 |
| | Bibliografía | 149 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Fig. 2-1 Banco de arcilla | 6 |
| Fig. 2-2 Localizacion de la empresa | 7 |
| Fig. 2-3 Organigrama..... | 11 |
| Fig. 2-4 Distribución de planta..... | 14 |
| Fig. 2-5 Merma ladrillo seco..... | 22 |
| Fig. 2-6 Diagrama de flujo..... | 23 |
| Fig. 3-1 Área de secado..... | 26 |
| Fig. 3-2 Árbol de problemas | 29 |
| Fig. 3-3 Datos de capacidad de secado | 31 |
| Fig. 3-4 Datos Capacidades..... | 32 |
| Fig. 3-5 Secador Estático | 35 |
| Fig. 3-6 Secador continuo sistema de auto movimiento | 36 |
| Fig. 3-7 Secador rápido tipo talisca..... | 37 |
| Fig. 4-1 Capilar con agua libre..... | 46 |
| Fig. 4-2 Primera etapa de secado | 46 |
| Fig. 4-3 Variación de rendimiento del secado | 47 |
| Fig. 4-4 Variación de contenido de agua libre | 48 |
| Fig. 4-5 Contenido de humedad en la pieza..... | 49 |
| Fig. 4-6 Curva de secado..... | 54 |
| Fig. 4-7 Secadores estáticos | 55 |
| Fig. 4-8 Secadores Continuos | 56 |
| Fig. 4-9 Resistencia a la compresión..... | 65 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 4-10 Mecanismo de transferencia de calor | 67 |
| Fig. 5-1 Diagrama de flujo actual de secado..... | 80 |
| Fig. 5-2 Diagrama de flujo del secado propuesto | 81 |
| Fig. 5-3 Lay out propuesto de fabrica | 84 |
| Fig. 5-4 Propuesta de diseño | 85 |
| Fig. 5-5 Propuesta de secadero..... | 86 |
| Fig. 5-6 Propuesta de cámaras de secado..... | 87 |
| Fig. 5-7 Lay out cámaras de secado | 88 |
| Fig. 5-8 Flujo de calor..... | 90 |
| Fig. 5-9 Balance de materia | 91 |
| Fig. 5-10 Estantes..... | 110 |
| Fig. 5-11 Platos giratorios..... | 111 |
| Fig. 5-12 Autoviajantes..... | 112 |
| Fig. 5-13 Conjunto de quemador | 113 |
| Fig. 5-14 Ventilador Axial..... | 114 |
| Fig. 5-15 Actuador empujador | 115 |
| Fig. 5-16 Generador de calor | 116 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla II-1 Puestos de trabajo..... | 11 |
| Tabla III-1 Diferencias Secado natural vs Secado artificial..... | 34 |
| Tabla IV-1 Parámetros permitidos | 64 |
| Tabla IV-2 Características geométricas | 65 |
| Tabla V-1 Dimensiones cámaras de secado..... | 93 |
| Tabla V-2 Maquinaria y equipo necesario | 109 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|---|-----|
| Cuadro II-1 Datos generales..... | 8 |
| Cuadro II-2-2 Productos Ofertados..... | 8 |
| Cuadro II-3 Maquinaria y equipos | 15 |
| Cuadro III-1 Cuadro comparativo alternativas | 38 |
| Cuadro III-2 Método cualitativo por puntos | 41 |
| Cuadro V-1 Características ladrillo 6HER..... | 82 |
| Cuadro V-2 Análisis de secado natural..... | 106 |
| Cuadro V-3 Matriz FODA | 117 |
| Cuadro V-4 Identificación de aspectos ambientales | 123 |
| Cuadro V-1 Inversión de obras civiles..... | 126 |
| Cuadro VI-2 Activos diferidos..... | 128 |
| Cuadro VI-3 Maquinaria y equipos..... | 129 |
| Cuadro VI-4 Capital de trabajo..... | 131 |
| Cuadro VI-5 Inversión total | 132 |
| Cuadro VI-6 Plan de amortización..... | 134 |
| Cuadro VI-7 Costos variables | 135 |
| Cuadro VI-8 Costos fijos | 136 |
| Cuadro VI-9 Depreciación de activos fijos..... | 137 |
| Cuadro VI-10 Depreciación de activos diferidos..... | 137 |
| Cuadro VI-11 Demanda | 138 |
| Cuadro VI-12 Ingresos anuales..... | 139 |
| Cuadro VI-13 Flujo de caja..... | 140 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 1-1 Carta psicométrica..... | 153 |
| Anexo 2-1 Ficha técnica autoviajante..... | 155 |
| Anexo 2-2 Ficha técnica ventilador axial..... | 156 |
| Anexo 2-3 Ficha técnica Generador de calor..... | 157 |
| Anexo 2-4 Ficha técnica actuador empujador..... | 158 |
| Anexo 2-5 Exhaustor..... | 159 |
| Anexo 3-1 Cotización estructuras metálicas..... | 161 |
| Anexo 3-2 Cotización Generador de calor..... | 162 |
| Anexo 3-3 Cotización T&D..... | 163 |
| Anexo 4-1 Manual de procedimiento del secado..... | 165 |
| Anexo 4-2 Manual de función estantero entrada..... | 170 |
| Anexo 4-3 Manual de función estantero salida..... | 178 |
| Anexo 4-4 Manual de informe de estantes..... | 186 |
| Anexo 5-1 Promedio de temperaturas..... | 188 |
| Anexo 5-2 Calores específicos y densidades..... | 188 |
| Anexo 5-3 Características Térmicas..... | 189 |
| Anexo 5-4 Calores de fusión..... | 189 |
| Anexo 5-5 Renovaciones Recomendadas..... | 190 |
| Anexo 5-6 Ejercicio Guía..... | 191 |
| Anexo 5-7 Tablas de vapor..... | 192 |
| Anexo 5-8 Precio Glp..... | 193 |
| Anexo 5-9 Consumo de electricidad..... | 194 |