

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO ARTIFICIAL
PARA LA PRODUCCION DE LA LADRILLERA LA VICTORIA**

TELEMA MENDOZA NARVAEZ

**Trabajo de Grado presentado como requisito para
optar al título de Ingeniera Mecánico**

CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR

FALCULTAD DE INGENIERIA MECANICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.

2000

Cartagena de Indias, Mayo del 2000.

Señores:

**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
Ciudad**

Respetados señores:

Me permito presentar el proyecto de grado titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO ARTIFICIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE LA LADRILLERA LA VICTORIA**, como requisito para obtener el título de Ingeniera Mecánico.

Agradeciendo la atención prestada.

Atentamente,

TELEMA MENDOZA NARVAEZ

RESUMEN

La finalidad de la desecación artificial es sustraer la humedad contenida en una materia sólida sin alterar sus propiedades. Esta humedad puede ser tan sólo adherida (superficial), llenar los poros (capilar) o impregnar toda la masa del cuerpo (constitucional). La desecación natural consiste en hacer que la humedad sea absorbida por el aire atmosférico (a lo sumo favoreciendo su circulación), quedando así la desecación supeditada al estado del tiempo.

La desecación artificial que nos ocupa es la efectuada por el calor, en el aire. Este absorbe el agua evaporada; por consiguiente, no debe estar saturado y ha de renovarse continuamente.

La tensión de los vapores, en el cuerpo húmedo, se produce calentándolo por contacto con aire seco caliente. Este provendrá de los gases de chimeneas expulsados por los hornos que contienen un alto grado de calor que en la actualidad no está siendo aprovechado y que se expulsa al ambiente contribuyendo de manera directa a la contaminación.

Nota de Aceptación

Presidente

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias, Mayo del 2000.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA	3
1.1 RESEÑA HISTORICA	3
1.2 LOCALIZACION	3
1.2.1 Conocimiento General del corregimiento de Bayunca.	4
1.2.2 Aspectos Geográficos.	4
1.2.3 Aspectos Demográficos.	4
1.2.4 Aspecto Urbanístico.	5
1.2.5 Aspecto Económico	6
1.3 OBJETIVOS INDUSTRIALES	6
1.4 ORGANIZACIÓN	6
1.4.1 Organización Formal.	6
1.4.2 Funciones.	8
1.4.3 Administración de Personal.	8
1.4.4 Control y Evaluación de los Sistemas.	9
1.5 RECURSOS DISPONIBLES	13
1.5.1 Materia Prima.	13

	Pág.
1.5.1.1 Composición de la Arcilla.	13
1.5.1.2 Propiedades de la Arcilla.	14
1.5.2 Mano de Obra.	17
1.5.3 Descripción de los Productos y Procesos Básicos.	17
1.5.3.1 Características de los Ladrillos.	17
1.5.3.2 Características de las Tejas.	25
2. PROCESOS DE FABRICACION DE PRODUCTOS	28
2.1 EXTRACCION	28
2.2 PREPARACION DE LA ARCILLA	29
2.2.1 Máquinas Cilindros Lisos o Laminadores.	29
2.2.2 Trituradores.	30
2.2.3 Mezcladora de Arcilla.	30
2.3 MOLDEO DE LA PASTA	30
2.4 SECADO DEL LADRILLO	31
2.5 COCCION DEL LADRILLO	33
2.5.1 Pre calentamiento.	33
2.5.2 Calentamiento.	33
2.5.3 Cocción.	34
2.5.4 Enfriamiento.	34
3. PRINCIPIOS DEL SECADO TERMICO DEL LADRILLO	36
3.1 CARACTERISTICAS DEL AIRE	36

3.1.1 Humedad Relativa del Aire HR.	36
3.1.2 Temperatura del Aire.	37
3.1.3 Velocidad del Aire.	38
3.1.4 Presión del Aire.	38
3.2 CARACTERISTICAS DEL LADRILLO	38
3.2.1 Contenido de Humedad del Ladrillo.	38
3.2.2 Densidad.	41
4. SISTEMAS DE SECADO	45
4.1 SECADO NATURAL	45
4.2 SECADO ARTIFICIAL	46
4.2.1 Cámaras de Secado Artificial.	47
4.2.1.1 Dimensiones.	47
4.2.1.2 Materiales de Construcción.	48
4.2.1.3 Aislamiento Térmico.	48
4.2.1.4 Hermetismo.	49
4.2.1.5 Ventilación controlada.	49
4.2.2 Circulación de Aire de Secado.	49
4.3 SISTEMAS DE APOORTE DE ENERGIA	51
4.3.1 Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo.	51
4.3.2 Gas Natural.	52
4.3.3 Carbón.	52
	Pág.
4.3.4 Energía Eléctrica.	53

4.3.5 Energía Solar.	53
4.3.6 Sistemas de Mixtos.	54
4.4 CONTROL Y OPERACIÓN DEL SECADOR	54
4.4.1 Conducción Manual.	56
4.4.2 Conducción Semi-Automática.	56
4.4.3 Conducción Automática.	57
5. CLASIFICACION DE LAS CAMARAS DE SECADO	59
5.1 PRESECADORES	59
5.1.1 Presecador bajo techo con ventiladores y costados cubiertos.	60
5.1.2 Presecador con calefacción.	60
5.1.3 Presecador con calefacción y recirculación de aire.	61
5.2 SECADORES	61
5.2.1 Secadores Convencionales.	62
5.2.2 Secadores continuos o túneles.	64
5.2.3 Deshumidificadores.	64
5.2.4 Secadores Solares.	65
5.2.5 Sistemas Especiales.	66
6. PERIODOS DE DESECACIÓN	68
6.1 PERIODO DE VELOCIDAD CONSTANTE	68
6.2 PERIODO CON DISMINUCION DE LA VELOCIDAD DE SECADO	69
	Pág.
6.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EFICACIA DEL SECADO	70
6.3.1 Velocidad máxima de secado.	70

6.3.2 Distribución del calor.	72
6.3.3 Conservación del calor.	72
7. DISEÑO DEL SECADERO	73
7.1 DIMENSIONES DE LA CAMARA DE SECADO	73
7.2 PAREDES	74
7.2.1 Ladrillos Refractarios Aislantes.	74
7.2.2 Espesor	75
7.2.3 Cálculo de Transferencia de Calor de la Pared.	76
8. GENERACION DEL CALOR	79
8.1 ESTEQUIOMETRIA DE LA COMBUSTION	79
8.2 TIPOS DE COMBUSTION	80
8.3 CALOR	80
8.3.1 Calor Disponible.	81
8.3.2 Ignición.	82
8.3.3 Temperatura de la Llama.	82
8.4 REGULACION DE LA COMBUSTION	82
8.5 CARBON	83
8.5.1 Origen.	83
8.5.2 Composición y Poder Calorífico del Carbón.	83
	Pág.
8.5.3 Humedad Total.	83
8.5.4 Materia Volátil.	84
8.5.5 Carbono Fijo.	84

8.5.6 Las Cenizas.	84
8.6 PRODUCCION DEL CALOR	85
8.7 RENDIMIENTO	85
9. CALCULO CONSUMO DE COMBUSTIBLE	86
9.1 CARACTERISTICAS DE DESECACIÓN DEL LADRILLO	86
9.1.1 Tiempo de Secado.	86
9.1.2 Cantidad de Aire requerida para el Secado.	87
9.2 CALCULO CANTIDAD DE COMBUSTIBLE	88
9.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACION AUTOMATICA DE CARBON	90
9.3.1 Cálculo Dimensiones del Cilindro.	91
9.3.2 Cálculo de Potencia requerida	91
10. MOVIMIENTO DE LOS GASES EN EL SECADERO	94
10.1 DISEÑO DE LOS DUCTOS	94
10.2 SELECCIÓN DEL VENTILADOR	95
10.3 CHIMENEA	97
10.3.1 Tiro.	97
10.3.2 Producción del Tiro en el Hogar.	98
	Pág.
10.3.3 Producción del Tiro en la Chimenea.	99
11. MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE SECADO.	101
12. MANTENIMIENTO	103
12.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO	103
12.1.1 Mantenimiento Correctivo	103

12.1.2 Mantenimiento Periódico.	103
12.1.3 Mantenimiento Programado.	103
12.1.4 Mantenimiento Preventivo.	104
12.1.5 Mantenimiento Predictivo.	104
12.1.6 Mantenimiento Bajo Condiciones.	104
12.2 ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.	104
12.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS.	105
13. EVALUACION IMPACTO AMBIENTAL	106
13.1 LIMITACIONES DEL ESTUDIO	106
13.2 SISTEMA ENERGETICO Y MEDIO AMBIENTE	106
13.3 CONTAMINANTES Y SUS CONTROLES POR LEGISLACION	106
13.3.1 Características y Efectos de algunos de los principales contaminantes del aire y del agua.	106
13.3.2 Legislación Existente e Instituciones Involucradas.	108
13.3.3 Monitoría.	109
13.3.4 Controles de Emisión.	110
	Pág.
14. PROGRAMA DE SECADO	111
15. ANALISIS DE RESULTADOS	112
15.1 ANÁLISIS COMPARATIVO	
112	
15.2 CALCULO DEL TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN	113
16 RECOMENDACIONES	115
17 CONCLUSIONES	117

BIBLIOGRAFIA	119
ANEXOS	121

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Población Económicamente Activa del Corregimiento de Bayunca por Actividad Económica 1993.	5
Tabla 2. Análisis Químico de la Arcilla.	14
Tabla 3. Valores Mínimos que deben cumplir los ladrillos para las Pruebas de Absorción de Agua, Resistencia a la Flexión y a la compresión.	24
Tabla 4. Punto de Equilibrio Higroscópico para ciudades de Colombia.	40
Tabla 5. Análisis Comparativo de Combustibles Típicos.	81
Tabla 6. Metros cúbicos necesarios para absorber; saturandose a distintas temperaturas, 4000 Kg de agua contenidos en 5000 ladrillos.	87

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Análisis de la situación actual de la Ladrillera la Victoria.	11
Cuadro 2. Productos fabricados por la Ladrillera.	26
Cuadro 3. Características y efectos de los principales contaminantes del aire.	107
Cuadro 4. Algunos Controles de Emisiones.	110
Cuadro 5. Programa de Producción Semanal.	111

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Localización del Corregimiento de Bayunca.

Anexo 2. Esquema de Producción de la Ladrillera.

Anexo 3. Higrómetro.

Anexo 4. Sicrómetro.

Anexo 5. Formato Contenido de Humedad CH de las probetas.

Anexo 6. Colectores Solares.

Anexo 7. Presecadores.

Anexo 8. Cámara con Ventilador Centrífugo.

Anexo 9. Cámara con Ventiladores en costados laterales.

Anexo 10. Túnel Secado Continuo.

Anexo 11. Circuito Frigorífico.

Anexo 12. Deshumidificadores con ductos.

Anexo 13. Secadores Solares.

Anexo 14. Secador Solar con Circuito de Ventilación.

Anexo 15. Selección de Ladrillos Refractarios Catalogo ERECOS.

Anexo 16. Selección del Motorreductor del Alimentador Automático.

Anexo 17. Coeficientes de Fricción.

Anexo 18. Selección del Ventilador.

Anexo 19. Cuadros de Mantenimiento L.E.M.

Anexo 20. Notas de Lubricación.

Anexo 21. Notas Eléctricas y Electrónicas.

Anexo 22. Notas Mecánicas.

Anexo 23. Programación del Mantenimiento Preventivo.

Anexo 24. Presupuesto.

INTRODUCCION

Este proyecto es una guía completa para la construcción de un Secadero, basada en los principios de Diseño de Ingeniería. Facilita al lector información que complementa de manera eficaz la teoría y práctica en el tema de ladrillos de construcción y sus procesos de fabricación.

Con el **DISEÑO DEL SISTEMA DE SECADO ARTIFICIAL** se obtendrá un proceso continuo que permite la combinación de sistemas y ciclos para maximizar el uso de los recursos energéticos disponibles y el aprovechamiento de las pérdidas irreversibles.

Por tratarse de un Diseño particular su desarrollo depende del conocimiento detallado de las necesidades a suplir; es por ello que en el primer capítulo se realiza una inducción a la empresa, La Ladrillera La Victoria, su localización, situación actual y las soluciones y correctivos a implantar para lograr el punto óptimo de producción, con el máximo de rendimiento, mínimas pérdidas de energía y contaminación al ambiente.

Posteriormente se avanza en la definición de los diferentes sistemas de secado que existen, escogiendo el más adecuado a implementar en nuestra ladrillera teniendo en cuenta las

características del proceso y que el costo de construcción sea razonable para ser estudiado por la Junta Directiva y que el proyecto se convierta en una alternativa viable para ser ejecutado.

Continúa con el diseño de cada uno de los elementos constituyentes del secadero, teniendo en cuenta las características del material a secar, el medio por el cual se realizará este el proceso y las condiciones que este debe poseer.

Se muestra de forma clara e ilustrativa la forma en que se debe realizar la construcción del Secadero, con especificaciones y materiales accesibles en el mercado regional.

Se dictan recomendaciones, programa de secado y un manual de mantenimiento que permitirán una vida útil razonable del Sistema de Secado y obtener el punto óptimo de operación respecto al proceso completo de fabricación del ladrillo.

1. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA

1.1 RESEÑA HISTORICA

La fábrica Ladrillera la Victoria se fundó en el año 1.981 por iniciativa de los señores **PABLO MARTINEZ Y FERNEY MENDOZA**, que llegaron a Cartagena con la idea de construir una empresa de este tipo mientras trabajaban en otra.

Iniciaron labores con una pequeña máquina galletera construida por ellos mismos de manera artesanal. En la actualidad cuentan con equipos mecánicos movidos por motores, que han permitido mejorar en calidad y rendimiento; y así encontrarse en igualdad de condiciones para competir con las otras empresas similares.

1.2 LOCALIZACION

La fábrica funciona en un terreno propio de 4 hectáreas ubicado en la carretera de la cordialidad, población de Bayunca (Bolívar), Kilometro 15.

1.2.1 Conocimiento General del Corregimiento de Bayunca. En sus inicios el corregimiento fue un asentamiento dirigido por el cacique Bayunca de ahí deriva su nombre. Su fundación se sitúa hacia el año 1.700 aproximadamente. Hoy día, debido a la colonización, se ha convertido en corregimiento del distrito de Cartagena de Indias.

1.2.2 Aspectos Geográficos. El corregimiento queda ubicado en la Zona Norte del Distrito de Cartagena, a 29 Km sobre la carretera La Cordialidad, respecto a su macrolocalización en la Costa Atlántica, se encuentra ubicado al norte del Departamento de Bolívar y hacia el sudoeste de la Costa Atlántica (Anexo 1).

Posee un relieve plano, lo que hace que la zona sea, inundable, presentando una vegetación abundante de Mangle y Matarratón.

El clima es cálido con una temperatura media de 32°C, siendo los meses de mayor lluviosidad Agosto y Octubre. Por su territorio pasa un arroyo llamado Matagente.

1.2.3 Aspectos Demográficos. De conformidad con las proyecciones estadísticas del DANE, la población total es de 6.300 habitantes, con una tasa de natalidad de 0.5% y de mortalidad de sólo el 0.1%.

La población económicamente activa (P.E.A) está ubicada en la media de la población representando un 50.3% de la misma.

Tabla 1. Población Económicamente Activa del Corregimiento de Bayunca por Actividad Económica 1.993

ACTIVIDAD ECONOMICA	P.E.A	%
Agricultura	2900	91.5
Ganadería	96	3.02
Pesca	0	0
Minería	0	0
Comercial	134	4.22
Industria	0	0
Servicios	39	1.23

Fuente Encuesta

Se presentan fenómenos demográficos de migraciones, principalmente hacia Cartagena y Venezuela, en busca de mejores oportunidades de empleo.

1.2.4 Aspectos Urbanísticos: Tiene una morfología urbana rectangular con mayor formación hacia la orilla de la Carretera Troncal. Está constituido por 1100 viviendas de ocupación predominante bifamiliar, construidas de ladrillo con techo de Eternit. No tienen servicios públicos de agua y alcantarillado, sólo de energía eléctrica.

Las obras públicas que conforman el equipamiento urbano del corregimiento son: templo religioso, inspección de policía, puesto de salud, telecomunicación, colegios; careciendo la población de canchas deportivas, puesto de correo, parques, plaza de mercado y matadero.

1.2.5 Aspecto Económico: La actividad económica más importante es la Agricultura siendo los principales productos yuca, maíz y plátano; con una producción anual variable y es vendida en la cabecera del municipio.

1.3 OBJETIVOS INDUSTRIALES

Ladrillera La Victoria es una empresa de tipo comercial, dedicada a la fabricación y comercialización de productos que vienen a suplir una necesidad existente en la industria de la construcción

1.4 ORGANIZACIÓN

La empresa tiene una estructura organizativa usual propia de empresas pequeñas, con gerente, jefe de ventas, auxiliar de ventas, contador, auxiliar de contabilidad, y supervisión de planta. Esta se detalla en la Figura 1.

1.4.1 Organización Formal. Este término involucra una estructura bien definida que puede ser descrita en términos de autoridad, poder, subordinación y responsabilidad. El propósito del diseño organizacional es el de proporcionar condiciones que faciliten el alcance óptimo de los objetivos, limitando la amplitud de las posibilidades de comportamiento de los miembros de la organización.

La empresa no cuenta con un diseño organizacional, conducta común en muchas entidades pequeñas y medianas de nuestro medio. Esto no implica su inexistencia informal; de hecho las personas que pertenecen a la empresa, conocen sus principales funciones y algunos de los cargos existentes.

1.4.2 Funciones. Las funciones describen formas específicas del comportamiento asociado a determinadas tareas. Dentro de la organización éstas funciones constituyen patrones de comportamiento requeridos de todas las personas desempeñan una parte en cada relación funcional.

La Ladrillera no posee un manual de funciones, donde se especifique cada uno de los cargos existentes y sus respectivas funciones. La inexistencia de un manual de funciones a la vez que se opone al logro de los objetivos organizacionales perjudica a los empleados por cuanto se oponen a la especialización de las tareas, el desconocimiento de las obligaciones y responsabilidades y desde luego crea pautas para que los empleados sean utilizados indistintamente para muchas tareas hasta llegar a sobrecargarlos de trabajo.

1.4.3 Administración de Personal. La función de la administración de personal es la de integrar y coordinar los recursos organizacionales, tales como: aspectos de relaciones, salarios, comunicaciones, evaluación del desempeño, decisiones sobre entrenamiento y promociones, seguridad industrial, etc.

El proceso de selección de empleados es realizado por el dueño y generalmente es por recomendación, juega un papel importante en el momento de seleccionar un empleado las referencias, historial y aspecto físico.

La empresa no posee políticas de entrenamiento y capacitación de personal, los conocimientos requeridos para el desempeño de sus cargos fueron adquiridos por medio de la experiencia en trabajos iguales o similares a éstos.

La Fábrica no cuenta con el equipo y los implementos de seguridad que son exigidos por la oficina del trabajo de acuerdo con el tipo de industria, los trabajadores son reacios a utilizarlos debido a las condiciones de temperatura en la que laboran y por cuanto no se han impuesto medidas drásticas y aún más, debido a la falta de concientización tanto del patrono como de los empleados.

1.4.4 Control y Evaluación de los Sistemas. La principal forma de comunicación es verbal, lo que indica bajo volumen de documentos; sin embargo existen algunos y a través de ellos se ejerce el control.

Los siguientes son los nombres establecidos por la empresa para cada uno de los formatos utilizados internamente.

Orden de Compra. Se diligencia cada vez que la empresa necesita adquirir algún tipo de suministro.

Factura de Ventas. Es diligenciado por el jefe de ventas con original y dos copias.

Recibo de Caja. Tramitado cada vez que la empresa hace efectivo un cobro.

Remisiones. Con el cual el comprador retira sus productos de la planta.

Control de Citas I.S.S. Elaborado por la secretaria cuando un trabajador requiere de los servicios del I.S.S.

Control Diario de Producción. Relación de la cantidad producida diariamente la cantidad endagada (introducida al horno) y desendagada (salida de horno), así como la cantidad en los patios.

Certificado de Retención en la Fuente: Diligenciado cada vez que se realiza un pago de retención en la fuente.

Informe de Préstamo de Herramienta.

Entrega de Materiales y Repuestos. De parte del almacenista, cuando el mecánico y el operador retiran repuestos o materiales.

Tarjeta de Control de Tiempo. Supervisan la hora de entrada y salida de los obreros.

Informe de Ingresos y Egresos.

El siguiente cuadro describe la administración actual de la empresa, sus distintas fallas, analizando detalladamente la correcta organización que es determinante para mejorar la producción y calidad.

Cuadro 1. Análisis de la situación actual de la Ladrillera La Victoria.

FACTOR	DESCRIPCION DE LA SITUACION ACTUAL	SOLUCIONES A IMPLEMENTAR
--------	------------------------------------	--------------------------

1	<p>La responsabilidad de la calidad está delegada por parte de la Junta Directiva de la Empresa al gerente de planta, quien posee la capacidad para desarrollar planes que conduzcan al mejoramiento de la calidad.</p> <p>A pesar de ello, no se tiene claridad en cuanto a las metas y políticas de calidad y los procedimientos que permitan un seguimiento a la calidad.</p>	<p>Definir las políticas y metas de calidad por escrito y darlas a conocer en todos los estamentos de la empresa.</p> <p>Establecer los objetivos de calidad con participación tanto de las directivas como del personal de planta</p>
2	<p>El responsable de la fabricación es el gerente de planta</p> <p>No existen normas escritas que contemplen el procedimiento, máquinas, e inspecciones que se deben llevar para el desarrollo del proceso.</p>	<p>Iniciar el control del proceso mediante la utilización de las cartas de control e ir actualizándolas una vez se implanten, contratando estudiantes en práctica que actualicen las herramientas estadísticas.</p>
3	<p>Los procedimientos que se siguen a los proveedores en cuanto a evaluación de la calidad s, precio, cantidad y fecha de entrega son idóneos</p>	<p>Se recomienda conformar un equipo con un miembro del departamento de compras, uno de producción y otro de control de calidad con el objetivo de mantener el contacto con el proveedor y evaluarlo constantemente.</p>
4	<p>Se llevan cuatro controles al proceso productivo.</p> <p>Revisión del 100% al producto al finalizar cada operación utilizando métodos empíricos y la experiencia de los operarios.</p>	<p>Establecer puntos de control en cada etapa del proceso.</p> <p>Involucrar al personal.</p>
5	<p>Se tiene un departamento de ventas encargado del mercadeo de sus productos</p> <p>Los estudios del comportamiento del producto en el mercado y la base de datos de sus clientes con renovados en periodos constantes.</p>	<p>Identificar las necesidades y fuentes de calidad en el mercado.</p> <p>Realizar una investigación de mercados, para medir el comportamiento del producto en el mercado.</p>
6	<p>No se posee para la certificación de la calidad un lugar destinado para las pruebas y ensayos.</p>	<p>Diseñar e implantar un laboratorio destinado a realizar pruebas y ensayos tanto a la materia prima como a cada características crítica del proceso.</p>

	Las especificaciones de sus productos se rigen por las normas nacionales e internacionales	Elaborar fichas históricas de los equipos de medición.
7	La detección de fallas en los diferentes puntos del proceso. de la producción es realizada por la experiencia de sus operarios para las acciones correctivas	Recolección de la información de fallas en el momento y registro en formatos.
8	La selección y entrenamiento del personal La calidad del producto es responsabilidad del gerente de planta el cual se rige por parámetros internos los cuales no son los más idóneos.	Organizar un departamento de recursos humanos el cual se encargará de la selección, capacitación entrenamiento y velar continuamente por la seguridad e higiene industrial del personal. Iniciar un seguimiento de un grupo representativo para verificar las especificaciones de las normas del ICONTEC.
9	La metodología para evaluar y calificar la producción se rige por criterios y normas propias de la empresa.	Todo cambio en la planificación y producción deberá ser documentado y expuesto en lugar visible.
10	No existen los procedimientos escritos para los procesos, maquinarias, equipos, selección, entrenamiento y capacitación del personal. Para su seguimiento se rigen normas propias de la empresa.	Aplicar la normalización estipulada en los proyectos elaborados en la empresa. Realizar la codificación de cada una de las normas.
11	Sólo se identifican los costos operativos de fabricar un producto y las variables que inciden en los costos de calidad, pero no se han establecido técnicas para controlarlos.	Elaborar un modelo de costos de calidad.
12	Se controla el número de ladrillos defectuosos solo a la salida del horno después de cocidos.	Realizar pruebas de laboratorio a una serie de muestras para controlar las propiedades mecánicas.

13	<p>El mantenimiento, limpieza, orden y aseo de la planta son idóneos.</p> <p>Salto y secuencia inadecuada de las operaciones</p> <p>Se tiene almacenamiento tanto para el ladrillo ya moldeado y quemado</p>	<p>Aplicar las sugerencias aportadas por estudios realizados para la reorganización de las líneas de producción, almacenamiento de unidades en hornos.</p>
14	<p>Los secaderos están mal ubicados (detrás de los hornos) e impiden el paso de las corrientes de aire</p> <p>El manejo del material en algunas operaciones no es tratado bien generando desperdicios.</p>	<p>Aprovechar el calor perdido de los hornos para el secado de los ladrillos</p>

1.5 RECURSOS DISPONIBLES

1.5.1 Materia Prima. La materia prima básica es la arcilla, puesto que ésta es una roca sedimentaria que proviene de las descomposiciones de los feldepastos, existen muchas variaciones de las propiedades y composición de la arcilla.

1.5.1.1 Composición¹ de la Arcilla. Los constituyentes principales de la arcilla son sílice, alúmina y productos hidratados de la descomposición de las rocas aluminosas y silicatadas; la arcilla no es la expresión genuina del terreno de donde procede, y la diversidad de su origen es la causa de la variedad de sus clases. Esta variedad está aún aumentada por la presencia de elementos extraños a la arcilla, por los cambios en la formación de depósitos y por otras

¹ BLANCO, Francisco.DAZA, Jairo.OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA LADRILLERA LA VICTORIA. Tesis de Grado de la CUTB, 1998. Anexo 2

causas determinantes sobre la composición química. Sobre un mismo yacimiento se encuentran arcillas completamente distintas, unas más magras, otras más grasas.

La arcilla localizada en los patios de la Ladrillera la Victoria presenta la siguiente composición química:

Tabla 2. Análisis Químico de la Arcilla

MUESTRA	1	2	3
PH, Unidades	7,00	8,60	7,60
Carbonato de Calcio (C _a CO ₃) %	0,05	NIL	NIL
Cal Libre (C _a O)%	1,44	1,91	1,94
Oxido de Aluminio(Al ₂ O ₃) %	1,91	1,11	0,55
Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)%	6,12	10,27	2,8
Sílice (SiO ₂)%	78,7	18,2	83,7
Oxido de Magnesio (MgO)%	1,92	3,57	2,2
Sulfato (SO ₄)%	0,025	0,03	0,005
Cloruros (CL) %	0,14	0,06	0,03
Humedad (H ₂ O)%	9,5	14,7	8,25
Pérdidas por Ignición a 1000°C	10,6	15,8	9,4

1.5.1.2 Propiedades de la Arcilla. La bondad de una arcilla para ladrillos depende de diversas circunstancias determinadas por su plasticidad, capacidad de absorción y cesión de agua, capacidad aglutinante, contracción en el secado y cocido, y comportamiento al calor.

Plasticidad. Se define como la capacidad para formar una masa plástica (pasta) con el agua. Esta masa puede ser moldeada fácilmente, pero conserva la suficiente rigidez para

evitar la deformación, las arcillas secas no son plásticas, y es necesario agregar una cierta cantidad de agua para producir la plasticidad requerida. La función del agua es la de formar una capa alrededor de las partículas escamosas de arcilla, de tal modo que facilite su orientación paralela y el movimiento bajo presión (Figura 2).

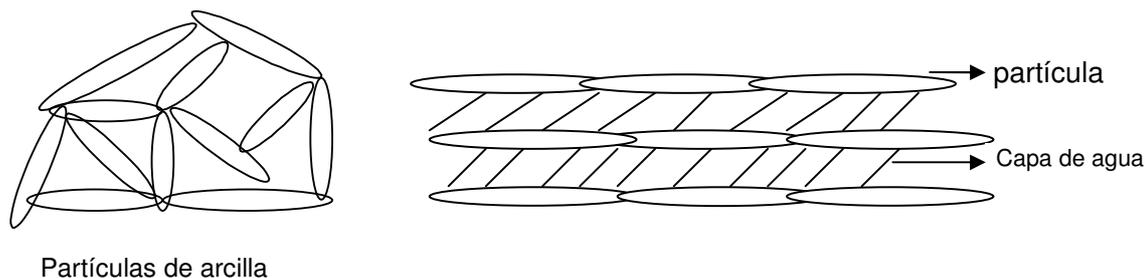


Figura 2. Plasticidad de la Arcilla.

La cantidad de agua necesaria para hacer plástica la arcilla depende del tamaño y la forma de las partículas del material, sus características superficiales y presencia de electrólitos. Existe un contenido mínimo de agua definido, por debajo del cual la arcilla deja de comportarse como un material plástico y se comporta como sustancia friable o desmezurable, conocido como límite plástico de la arcilla. Si se aumenta la proporción de agua la arcilla se vuelve más plástica hasta que se alcanza el punto en el cual empieza a fluir y se vuelve húmeda y pegajosa, conocido como límite líquido. La diferencia en el contenido de agua entre el límite de líquido y el límite plástico es el índice de plasticidad, y representa el límite de plasticidad de la arcilla.

Capacidad Aglutinante. Posee la arcilla capacidad aglutinante cuando húmeda puede llegar a admitir entremezclada en su masa cierta cantidad de materias pulverulentas más o menos granulosas y dejando secar el material obtenido, llega a alcanzar en este estado

cierta resistencia mecánica. Las arcillas grasas se caracterizan por poseer una fuerte plasticidad junto con una notable capacidad aglutinante

Capacidad de Absorción. La capacidad de absorción de agua está determinada por la mayor o menor facilidad de humectación, que produce esponjamiento de las partículas de arcilla, que detendrán el paso del agua en mayor cantidad cuando esta es magra.

Contracción de la Arcilla. Está determinada por la disminución de volumen sufrida en el secado y cocción de las piezas moldeadas; en estos procesos se reducen los espacios porosos intermedios. Las arcillas grasas se contraen más que las magras.

Comportamiento al Calor. El comportamiento de la arcilla al calor depende de su contenido de fundentes (ácido silicio, cal, óxido de hierro magnesio y álcalis). De la mayor o menor cantidad de estos componentes depende una mayor o menor cantidad de reblandecimiento de la arcilla, reblandecimiento que pasando por el estado vitrificado, puede llegar a la fusión. Las arcillas pobres en fundentes requieren más calor para la cocción que las ricas.

1.5.2 Mano de Obra. El personal que labora en la planta muestra un nivel de educación bajo, ya que el 60% cuenta con estudios de primaria el 5% apenas saben leer y escribir, el 22 % no saben leer ni escribir, mientras que el restante 13% posee estudios de bachillerato (8° y 9° año). Los cargos de electricista y mecánicos son desempeñados por empleados que han hecho cursos técnicos en el SENA.

No es de extrañar esta situación por cuanto el personal utilizado en las áreas operativas son no calificados; quienes adquieren las habilidades necesarias en el desempeño de sus cargos mediante la experiencia en el mismo oficio. En este aprendizaje juega un papel importante sus tareas rutinarias y sencillas. Los cargos existentes en las diferentes secciones son los siguientes:

Sección de Extracción. Operador de cargador- Operador de Volquetas.

Sección de Moldeo Operador de maquinado – Estedero – Boquillero - Muleros.

Sección de Secado. Muleros

Sección de Horno. Operador de Cargador – Tapapuertas - Desendagador

1.5.3 Descripción de los Productos y Procesos Básicos

1.5.3.1 Características de los Ladrillos. Definición. Se conoce con el nombre de ladrillo, a un elemento simple macizo o no prácticamente macizo, con estrías o sin ellas, comúnmente en forma de prisma rectangular, formado a base de un material arcilloso y endurecido en su forma acabada o terminada por acción calorífica o química.

El proceso de quemado se realiza por lo general en hornos especiales cuyas temperaturas fluctúan entre los 700 y los 1.200°C, y es aquí donde el ladrillo adquiere una mayor resistencia a la compresión y un colorido que va desde el amarillo al rojo vivo. Este

material, se usa generalmente para muros de carga, muros divisorios, así como malchanes de refuerzo; en ocasiones sirve para pisos y enchapes.

Clasificación. Puede realizarse de acuerdo al proceso de cocción, a la forma física o al uso. La más utilizada de los anteriores es la que hace referencia a su forma según la cual puede ser macizo o hueco.

Ladrillo macizo. Ladrillo fabricado a mano o a máquina sin perforaciones en su interior o con perforaciones que puedan llegar hasta un 20% de ser volumen, sus características son:

Mayor peso, por tanto, mayor resistencia a la compresión.

Resiste muy bien a la acción del fuego por su forma maciza.

Aislante del ruido

Tiempo de secado y cocción mayor.

No presenta problemas de cruces, empates en construcción con ladrillos a la vista.

Es más fácil de cortar que el hueco; hay menos desperdicios.

Ladrillo hueco. Ladrillo fabricado a mano o a máquina con perforaciones en su interior superior al 20 % de su volumen. Sus características son:

Poco peso con relación al macizo por tener menor cantidad de material.

Poder aislante, al ser hueco, contiene una cantidad considerable de aire en su interior, lo cual hace se forme una cortina aislante al frío y al calor.

Baja resistencia a los esfuerzos de compresión y flexión con relación al macizo, en razón de su menor peso.

Fácil de transportar; manualmente es más fácil cargar ladrillos huecos que ladrillos macizos.

Tiempo de secado y cocción más corto por sus paredes delgadas.

Más cantidad de mano de obra para evitar que los huecos queden a la vista en muros.

Características Generales de los Ladrillos. Las cualidades de un buen ladrillo están dadas por la refinación de la arcilla y sus ingredientes, el control de temperatura de fusión, la plasticidad de la arcilla húmeda, la contracción, la resistencia, el color y la porosidad, todo para lograr las siguientes características:

Homogeneidad, es decir la ausencia de fisuras y defectos.

Uniformidad y firmeza del grano.

Igualdad de sus dimensiones, para facilitar su colocación.

Regularidad de la forma, lo que exige una superficie lisa, aristas vivas y ángulos rectos para que las medidas de morteros resulten uniformes.

Facilidad para ser cortadas, aunque no es indispensable en la mayoría de los casos, es útil para preparar ángulos y molduras. El ladrillo debe ser resistente pero fácil de quebrar.

Dureza que implica resistencia a la compresión y a la flexión.

Sonoro a la percusión.

Propiedades Físico-mecánicas del ladrillo. Los ensayos más frecuentes para medir las características físicas y mecánicas de los ladrillos son:

Resistencia a la Compresión. Para hallar la resistencia a la compresión puede utilizarse cualquier máquina de compresión, provista de plato con rótula de segmento esférico, teniendo en cuenta que las superficies de contacto de los apoyos sean iguales o mayores que las de la muestra de prueba.

Antes de ensayar las muestras se deben analizar y hacer paralelas las caras de cargas y perpendiculares a las otras aristas, mediante la aplicación de una capa compuesta por una mezcla que contenga azufre en proporciones de 40 a 60% (en peso) con la arcilla u otro material inerte. Las muestras se deben ensayar después de dejar enfriar las capas durante un período de tiempo mínimo de 2 horas. Si las muestras tienen depresiones, se llenarán con pasta de cemento Portland, que se dejará fraguar durante 24 horas después de las cuales se procederá a la aplicación de las capas. Luego las muestras se centran con respecto a la rótula de manera que la carga se aplique en la dirección de su espesor. Hasta la mitad de la carga máxima supuesta se aplica ésta a cualquier velocidad, la carga restante se aplica gradualmente en un tiempo no inferior al minuto ni superior a 2 minutos.

La norma ASTM C-67 indica que se deben ensayar 5 unidades para tomar el promedio de los valores obtenidos.

La resistencia a la compresión es:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad A = b \times L$$

Donde:

σ = Resistencia a la compresión, en Kgf/cm².

P = Carga de rotura, en Kgf.

A = Area de la sección bruta, en cm²

b = ancho de la muestra, en cm.

L = Longitud de la muestra, en cm.

Resistencia a la Flexión. Para hallar la resistencia a la flexión se puede utilizar cualquier máquina para ensayos de flexión, siempre que los apoyos tengan una longitud por lo menos igual al ancho de la muestra de prueba y asegure su contacto total o permanente con la muestra.

Para la realización de esta prueba las muestras se desecan en estufa a temperatura de 110°C durante 24 horas. Después de esto se coloca la muestra con su cara mayor sobre los apoyos. Se hace descender la pieza superior hasta obtener un contacto directo con la superficie en el centro de la luz. Las tres líneas de contacto se mantendrán paralelas. Se aplica la carga hasta la rotura de las muestras. La resistencia a la flexión o módulo de rotura se calcula por la siguiente ecuación:

$$\sigma_f = \frac{Mc}{I} \quad M = \frac{PL}{4}$$

En la cual:

σ_f = Resistencia a la flexión, en Kgf/cm²

M= Momento de flexión, en Kgf x cm.

L= Luz entre apoyos, en cm.

P= Carga de rotura, en Kgf.

c= Distancia de la línea neutra a la fibra mas alejada, en cm.

I= Momento de inercia, en cm⁴.

Absorción del Agua. Se requiere para éste experimento una balanza que permita lecturas por lo menos de .5% del peso de la muestra.

a. Ensayo en frío durante 24 horas. Se usan medios ladrillos y se ensayan 5 muestras. El procedimiento es el siguiente:

Se desecan las muestras en un horno de 110°C durante 24 horas por lo menos.

Se dejan enfriar las muestras hasta temperatura ambiente.

Se pesan las muestras.

Se sumergen en agua destilada a temperatura de 15 a 30°C durante 24 horas.

Se sacan del agua y se secan con paño húmedo.

Se pesan. Esta operación debe hacerse dentro de los 15 minutos siguientes al paso anterior.

La absorción de cada muestra expresada en porcentaje se calcula por la siguiente expresión:

$$ABSORCION = \frac{(P_2 - P_1)}{P_1} \times 100$$

En donde:

P_1 = Peso de la muestra desecada.

P_2 = Peso de la muestra después de 24 horas de sumergida.

b. Ensayos de agua hirviente durante 5 horas. Se usan ladrillos y se ensayan 5 muestras.

El procedimiento es el siguiente:

Se desecan las muestras en un horno a 110°C, durante 24 horas.

Se pesan las muestras.

Se sumergen en agua fría durante 24 horas.

Se calienta el agua hasta llegar a la ebullición en él termino de una hora y se deja a esa temperatura durante 5 horas y se dejan enfriar hasta temperatura ambiente, durante un tiempo de 16 horas. Para esta etapa del ensayo las muestras deben apoyarse sobre el fondo del recipiente de tal manera que el agua circule por todas las caras de la muestra.

Se sacan las muestras del agua y se secan con paño húmedo

Se pesan las muestras durante los 5 minutos siguientes a la etapa anterior.

c. Coeficiente de Saturación. Se define por medio de la siguiente relación:

$$\text{Coeficiente de Saturación} = \frac{(P_2 - P_1)}{(P_3 - P_1)}$$

Donde, P_1 = Peso seco.

P_2 = Peso después de sumergido 24 horas en agua fría.

P_3 = Peso saturado después de 5 horas en agua hirviendo.

Los ladrillos ensayados deben cumplir con las especificaciones de la Tabla 3.

Tabla 3. Valores Mínimos que deben cumplir los ladrillos para las Pruebas de Absorción de Agua, Resistencia a la Flexión y a la Compresión

TIPO*	Resistencia mínima a la compresión en kgf/cm ² de Sección bruta				Resistencia mínima a la flexión en kgf/cm ²	% de absorción máxima
	Promedio de 5 unidades		Individual		Promedio de 5 unidades	Promedio de 5 unidades
	Ladrillo macizo	Ladrillo hueco	Ladrillo macizo	Ladrillo hueco	Ladrillo macizo o hueco	Ladrillo macizo o Hueco
I	300	70	250	60	40	12
II	200	50	150	40	30	16
III	30	40	60	30	20	20

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS ICONTEC. Ladrillos cerámicos. NTC 451 1.972.

*Clasificación de los ladrillos en función de su resistencia mínima a la compresión.

1.5.3.2 Características de las Tejas. Para las tejas las características generales son: No deben presentar fisuras, grietas, exfoliaciones, laminaciones y desconchados que tengan una longitud considerable, ni roturas ajenas al proceso de fabricación, debe tener un color rojizo y ser sonoro a la percusión. Los ensayos realizados a las tejas son los siguientes:

Resistencia a la Flexión. Se realiza en una máquina de ensayos adecuada para la flexión con cargas concentradas. Las tejas deben soportar una carga mínima de rotura de 1400N para un promedio de 5 Tejas y de 1100N para la unidad.

Resistencia al Impacto. Este ensayo consiste en dejar caer desde una altura de 500mm una esfera de acero de 100g sobre las tejas que se encuentran apoyadas en un lecho de arena. Las tejas deben soportar el impacto sin presentar rotura ni desconchados.

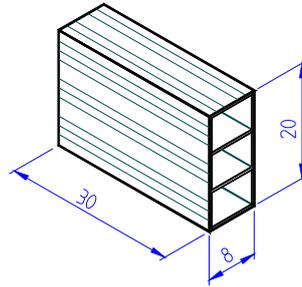
Absorción. La absorción media de las Tejas debe ser inferior al 10%, en caso de sea superior se debe realizar el ensayo de permeabilidad, verificando que no se presente gotas en la superficie inferior de la teja. En la toma de muestra y recepción del producto, la producción se divide en lotes de 500 unidades, luego se extraen 10 unidades al azar para comprobar las dimensiones, si más de tres no cumplen, se extraerán del lote 10 unidades más y si dentro de estas se encuentran que más de tres unidades no cumplen el mismo requisito, se rechaza el lote. En cuanto los requisitos de resistencia a la flexión y al impacto se toman tres unidades para cada caso. Si dos o tres unidades cumplen, es aceptado el lote. Si solo una cumple, se deben tomar tres unidades adicionales y si todas cumplen se debe aceptar el lote; de lo contrario es rechazado.

A continuación se presenta un cuadro referencial de los productos fabricados por la Ladrillera la Victoria.

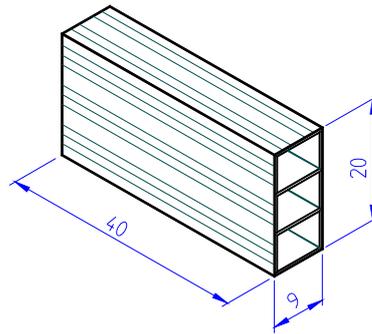
Cuadro 2. Productos fabricados por la Ladrillera.

--

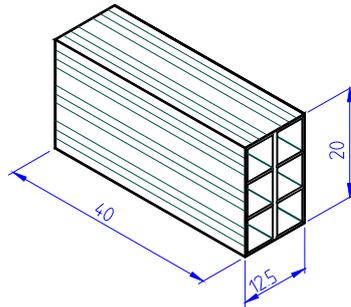
1. Ref. 3
Largo : 30 cm
Ancho : 20 cm
Alto : 8 cm
Peso Unit. : 4 kg
U/M2 : 16.5



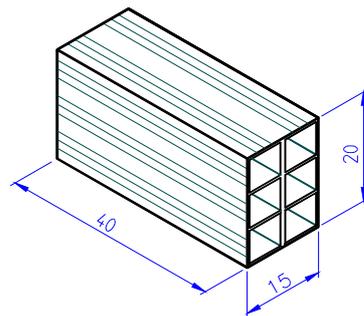
2. Ref. 4
Largo : 40 cm
Ancho : 20 cm
Alto : 9 cm
Peso Unit. : 6 kg
U/M2 : 12.5



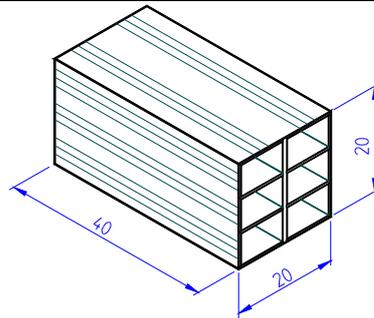
3. Ref. 5
Largo : 40 cm
Ancho : 20 cm
Alto : 12.5 cm
Peso Unit. : 8 kg
U/M2 : 12.5



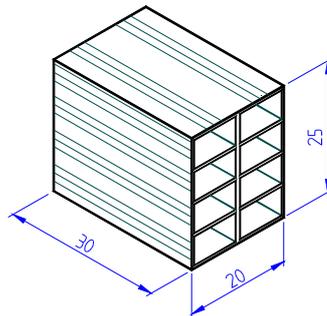
4. Ref. 6
Largo : 40 cm
Ancho : 20 cm
Alto : 15 cm
Peso Unit. : 9 kg
U/M2 : 12.5



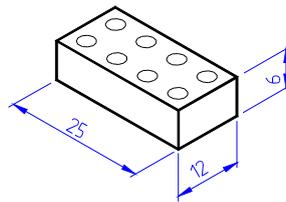
5. Ref. 7
Largo : 40 cm
Ancho : 20 cm
Alto : 20 cm
Peso Unit. : 11 kg
U/M2 : 12.5



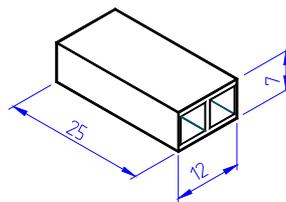
6. Ref. 8
Largo : 30 cm
Ancho : 20 cm
Alto : 25 cm
Peso Unit. : 12 kg
U/M2 : 13



7. Ref. Tolete 1
Largo : 25 cm
Ancho : 12 cm
Alto : 6 cm
Peso Unit. : 3.5 kg
U/M2 : 54



8. Ref. Tolete 2
Largo : 25 cm
Ancho : 12 cm
Alto : 7 cm
Peso Unit. : 3 kg
U/M2 : 48



2. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS

Para la fabricación del ladrillo es necesario cumplir una serie de etapas que permitirán obtener el producto final. En la Ladrillera la Victoria, luego de su reciente optimización, el procedimiento de fabricación se realiza como indica el esquema del Anexo 2 y cuyo diagrama de flujo es el siguiente:

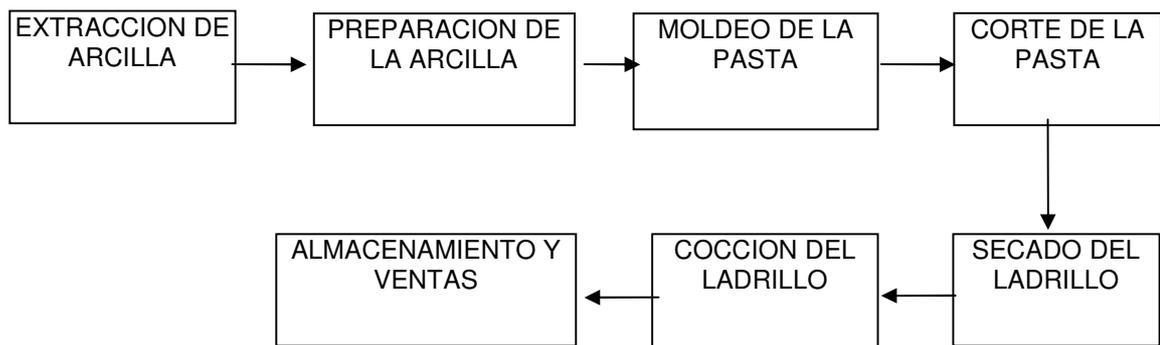


Figura 3. Diagrama de flujo de la producción.

2.1. EXTRACCIÓN DE LA ARCILLA

Una vez determinada la localización del yacimiento de arcilla se procede a elegir la maquinaria apropiada para la extracción, la cual depende de la dureza del material, la

pendiente del depósito y del estado en que debe suministrarse el material a la planta. En general estas maquinarias suelen ser: Palas mecánicas, eléctricas y diesel, Rascadores de ruedas movidas por animales o tractores o por grúas, Excavadoras de arrastre y cepilladoras

2.2. PREPARACIÓN DE ARCILLA

La preparación tiene como parte principal la eliminación de los nódulos de cal o inclusiones pítreas. Esto se consigue con la utilización de máquinas, que al mismo tiempo que mejoran la capacidad aglutinante de la arcilla, hacen inofensiva la acción de la cal mediante una fina trituración y disgregación de la naturaleza de la arcilla, que facilita también una rápida y uniforme absorción de agua. En la fábrica la arcilla pasa directamente del yacimiento a los procesos de trituración, mezcla y moldeo.

Las maquinarias requeridas dependiendo de la dureza del material, contenido de humedad, tamaño inicial y deseado del producto final e impurezas; pueden ser:

2.2.1 Máquinas de cilindros lisas o laminadores. Se clasificaran preparadoras y en afinadoras.

Máquina de cilindros preparadores. Consiste en un par de cilindros que pueden ser lisos o dentados, del mismo diámetro y que giran a la misma velocidad.

Máquina de cilindros afinadores. Posee dos cilindros con camisas recambiables de metal muy duro, que giran a velocidades distanciados solo de 1 a 3mm, ejerciendo esfuerzos de compresión y cizallamiento que destruyen la estructura natural de la arcilla.

2.2.2 Trituradores

Rodillos trituradores. Para arcillas dura, son accionados por engranajes o cintas, lisos o estriados, acanalados o dentados.

Trituradores Giratorios. Que obtienen un producto fino

Trituradores de Mandíbula. De articulación simple y doble que pueden reducir cualquier roca dura.

2.2.3 Mezcladora de Arcilla. Tiene por objeto homogeneizar y humectar la arcilla. Consiste en una cuba horizontal en cuyo interior hay un eje horizontal giratorio portador de unas piezas trazadas en hélice que impulsan y mezclan la arcilla hacia la parte final de la cuba.

2.3 MOLDEO DE LA PASTA

El moldeo de la arcilla depende de las propiedades plásticas y de flujo de ésta. Los métodos de moldeo se dividen de acuerdo a la condición de la pasta en: líquida, plástica, semiseca y seca. Los métodos pueden ser manual y de extrusión.

Extrusora. La máquina moldeadora de ladrillos tiende a obtener ladrillos en crudo que pueden colocarse independientemente de canto en los secadores.

Una prensa de extrusión con vacío se compone de un mezclador de arcilla, cámara de vacío, hélice empujadora que gira en el interior del cilindro de la prensa, cabezal prensador y boquilla. En la mezcladora de arcilla usualmente se efectúa el precalentamiento de la masa con vapor de agua. En la cámara de vacío se realiza el desaire de la masa y en parte se elimina el vapor de agua de las cintas delgadas y cordones de masa. En la prensa, el vacío se crea mediante una bomba.

Las distintas velocidades de la masa que fluye por el cabezal de la prensa de extrusión se distribuyen en parábola y la masa en su desplazamiento tiende a curvarse sobre sí misma. Al penetrar la masa en la boquilla su rotación se detiene y varía la velocidad del flujo.

2.4 SECADO DEL LADRILLO.

El objeto del secado de los productos cerámicos además de la remoción del agua, la cual puede causar problemas durante la cocción, es el de endurecerlos con el propósito de permitir su endagado en el horno. El secado proporciona una materia prima de mayor calidad. La principal ventaja técnica que se obtiene de un correcto secado es la mayor resistencia mecánica, con la cual el ladrillo soporta mayores cargas de esfuerzos.

El contenido de agua total en la masa consiste de agua de contracción (entre las partículas) y de agua en los poros. La eliminación del agua de contracción lleva consigo la disminución del volumen del cuerpo, lo que aumenta las fuerzas de atracción de las partículas produciéndose una resistencia mayor en la arcilla seca, en comparación con su resistencia cuando está húmeda. La compactación excesiva debido al secado puede producir el agrietamiento y alabeo del ladrillo, si el secado es demasiado rápido.

En la alfarería artesanal suele secarse en la atmósfera durante varios días, en un espacio techado, de paredes abiertas. Para el secado artificial los productos se secan en hornos especiales a temperaturas de 85 a 96°C, con aire que tenga gran humedad que evita el secado excesivo en la superficie. La humedad del aire de secado y la temperatura para ese fin se adecuan de tal modo que la rapidez de evaporación del agua en la superficie sea casi igual a la difusión de agua desde la parte interior a la superficie del cuerpo; lo que permite el secado relativamente rápido, sin deterioro, agrietamiento y combaduras del material.

Para aminorar la contracción en el secado de arcillas muy plásticas estas se mezclan con arena fina

La eliminación del agua en los poros no produce compactación, y puede llevarse a cabo con aire seco a 110°C, o a temperaturas mayores. Esto puede realizarse como una etapa del proceso de secado.

2.5. COCCIÓN DEL LADRILLO.

Por el cocido se pretende convertir un artículo de arcilla moldeado y secado ("crudo") en un producto permanente que posea la resistencia requerida, durabilidad y una mejor apariencia. La temperatura del cocido depende del carácter de la arcilla y de las propiedades que se deseen obtener del producto, puede variar desde 900 a 1400°C, en las cuales se llevan a cabo cambios químicos en la arcilla.

Para agrupar las reacciones físicas y químicas que tienen lugar, el proceso de cocción se divide en 4 etapas:

2.5.1 Pre calentamiento. Es la etapa inicial del cocido y se da a temperaturas de 110 a 260° C en las que se eliminan los últimos vestigios de humedad higroscópica. El tiempo que dura esta etapa depende del contenido de humedad de cada pieza como del conjunto. Debe conseguirse una velocidad de calentamiento lenta, un rápido aumento en la temperatura dará como resultado el agrietamiento del ladrillo.

Grandes volúmenes de aire en exceso en el comienzo de la etapa, evitarán la condensación del agua evaporada en partes frías del conjunto.

2.5.2 Calentamiento. Se tienen cambios al alcanzar las temperaturas 425 a 650°C. En este punto, los minerales de arcilla se descomponen en Sílice y Alúmina, y se libera el agua combinada químicamente, según la reacción:



En este punto, la arcilla pierde su capacidad de formar una masa plástica con el agua y no se puede moldear otra vez. La temperatura se incrementa hasta 800°C, en un tiempo de 8 horas.

2.5.3 Cocción. A temperaturas de 800 a 900°C, hay que conservar las condiciones oxidantes del horno, para asegurar que se queme toda la materia orgánica contenida y que se efectúe la oxidación de las píretas de hierro. A temperatura de 900 a 1000°C, se inicia la fusión o vitrificación y disminuye la porosidad conforme se inicia la compacción por recocido. La vitrificación es resultado de una formación gradual del líquido que llena los espacios porosos. Cuando se enfría, el líquido solidifica en una matriz vítrea por medio de la aglutinación de partículas inertes. Del grado de vitrificación dependen propiedades como la resistencia en frío, la durabilidad, la porosidad y la densidad.

A los 1400°C se alcanza la vitrificación total, a temperaturas mayores no se produce ninguna compacción ulterior ni disminuye la porosidad, pero se produce fusión, que aumenta mucho la resistencia del cuerpo.

2.5.4 Enfriamiento. Tradicionalmente tiene lugar en condiciones naturales, tardando entre 3 y 4 días aproximadamente, pero la remoción de aire lo acelera. La velocidad de enfriamiento debe ser lenta hasta una temperatura de 500°C, para lo cual es necesario dejar enfriar el conjunto durante 24 horas sin permitir la entrada del aire. Un enfriamiento demasiado rápido puede dar lugar a la aparición de tensiones que ocasiona agrietamientos, bien sea inmediatamente o después de la extracción de los ladrillos del horno.

La Figura 4 muestra los cambios que se presentan al recocer productos de arcilla y cada una de las distintas etapas.

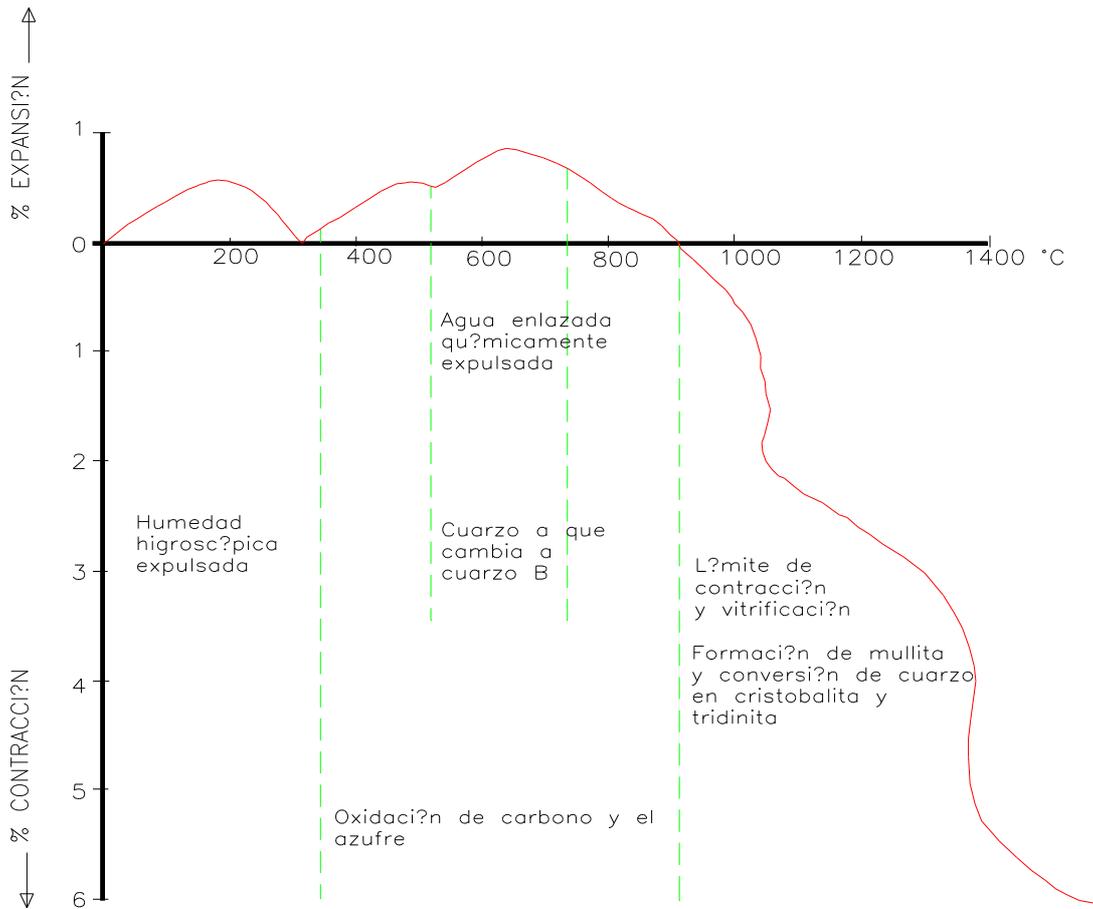


Figura 4. Cambios que se presentan al recocer productos de Arcilla.

3. PRINCIPIOS DEL SECADO TERMICO DEL LADRILLO.

El secado consiste en evacuar el exceso de agua que contiene el ladrillo en el menor tiempo, al menor costo y obteniendo la mejor calidad posible.

En el proceso de secado térmico el aire calienta el ladrillo y evacua la humedad que se encuentra en él. Es necesario conocer una serie de características y propiedades físicas del aire y del ladrillo para comprender este proceso.

3.1 CARACTERÍSTICAS DEL AIRE.

El aire debe tener unas condiciones particulares de humedad, temperatura, velocidad y presión para poder realizar un buen secado.

3.1.1 Humedad Relativa del Aire HR. El aire ambiente contiene agua en forma de vapor. La humedad relativa HR indica el contenido de vapor de agua, es decir, la humedad del aire y depende de la presión atmosférica y de la temperatura del lugar, las cuales varían dentro de ciertos límites para un lugar determinado; por esta razón se calcula una HR promedio.

En el proceso de secado el aire se comporta como una esponja; entre más seco, mayor su capacidad para absorber vapor de agua, hasta llegar a un tope máximo de contenido de agua.

La medición de HR puede hacerse por medio de un higrómetro o, en forma más accesible, por medio del aparato elemental llamado sicrómetro.

El higrómetro es un aparato calibrado para medir la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y entregar una lectura de HR en porcentaje (Anexo 3).

El sicrómetro consta de un par de termómetros, uno de ellos tiene cubierto el bulbo de mercurio con una gasa humedecida en permanencia con agua destilada y registra la temperatura de bulbo húmedo. El segundo termómetro no presenta ningún aditamento especial y mide la temperatura de bulbo seco. La diferencia entre las temperaturas de ambos termómetros se llama depresión sicrométrica y permite calcular la humedad relativa HR correspondiente. (Anexo 4).

3.1.2 Temperatura del Aire. A medida que aumenta la temperatura del aire, también aumenta su capacidad para secar o absorber humedad. Para aumentar la temperatura del aire es necesario suministrar energía. Las fuentes corrientes de energía son: carbón, ACPM, gas natural, electricidad, energía solar utilizada directamente sobre el ladrillo o captada por colectores solares que calientan el aire suministrado a una cámara de secado.

3.1.3 Velocidad de Aire. El aire caliente debe circular a través de las pilas a una velocidad tal que garantice la evacuación del agua contenida en el ladrillo. El aire es en general propulsado por ventiladores eléctricos, que consumen no menos de la cuarta parte de la energía eléctrica requerida para calentar el aire (Hornos Eléctricos). La velocidad del aire se calcula a partir del caudal de los ventiladores y de la distribución del ladrillo dentro de la cámara. Se mide por medio del anemómetro.

3.1.4 Presión del Aire. Debe ser suficiente para que circule de manera uniforme a través de todos los ladrillos distribuidos dentro de la cámara. Es una característica de los ventiladores que se calcula a partir de las restricciones impuestas al recorrido del aire se mide por medio de un manómetro.

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL LADRILLO.

Para escoger un proceso de secado adecuado es necesario controlar su cantidad de agua o contenido de humedad CH y conocer su densidad.

3.2.1 Contenido de Humedad del Ladrillo CH. La arcilla es un material poroso que contiene agua bajo tres formas:

Agua Libre. Es el agua que llena las cavidades entre las células. Es fácil de evacuar con poco consumo de energía.

Agua Higroscópica. Es el agua contenida en las paredes de las células. Para evacuarla es necesario suministrar al ladrillo mayor cantidad de energía.

Agua de Constitución. Forma parte integral de la estructura molecular que compone la arcilla. Solo puede evacuarse mediante la cocción.

Se considera seco el ladrillo cuando ha perdido toda el agua libre y parte del agua higroscópica, hasta llegar a un contenido de humedad de equilibrio CHE con la humedad relativa HR del aire ambiente.

Para un lugar con temperatura y humedad relativa HR determinadas existe entonces un contenido de humedad de equilibrio CHE del ladrillo que es el valor mínimo al cual puede mantenerse, en ese lugar, el contenido de humedad CH del material (Tabla 4. Contenido de humedad de equilibrio CHE de ciudades de Colombia). La diferencia entre la temperatura de bulbo húmedo permite conocer la HR y CHE correspondiente.

Al perder toda el agua higroscópica se conoce como Arcilla Anhidra y el contenido de humedad CH es nulo.

El contenido de humedad CH se define como la relación, medida en porcentaje %, entre el peso del agua contenida y el peso de la arcilla anhidra o sin agua.

$$CH = \frac{(PH) - (PA)}{(PA)} \cdot 100 (\%)$$

Donde:

PH= Peso Húmedo

PA= Peso Anhído

La diferencia entre el peso húmedo y el peso anhído es el peso de agua que contiene el material.

Tabla 4. Punto de Equilibrio Higroscópico para ciudades de Colombia

CIUDAD	HR PROM(%)	T.PROM (°C)	CHE (%)
Armenia	77	22	15
Barranquilla	76	28	14
Bogotá	80	11	16
Bucaramanga	75	22	14
Cali	75	24	14
Cartagena	79	28	15
Cúcuta	66	27	12
Ibagué	80	21	16
Manizales	78	18	16
Medellín	69	21	13
Montería	82	27	16
Neiva	67	26	12
Pasto	79	17	16
Popayán	79	17	16
Riohacha	74	27	14
Santa Marta	74	27	14
Sincelejo	77	28	15
Tunja	80	13	16
Valledupar	70	28	13
Villavicencio	75	25	14

Para determinar el contenido de humedad CH se puede utilizar el método de doble pesada, en el que experimentalmente a varias probetas de arcilla se les someterá a condiciones similares a las de secado. Se requiere para tal fin: una pesa de precisión, un horno eléctrico de secado (mufla) con temperatura controlada y ventilación para evacuar la humedad resultante del secado de las probetas.

Se utiliza el formato del Anexo 5 para anotar los datos obtenidos de la prueba. El peso Anhídrido se halla después de someter las probetas a un secado continuo en la mufla por un tiempo que varía entre 20 y 48 horas, en el que no se detecta cambio alguno en su peso.

También, el contenido de humedad CH se puede obtener mediante medidores eléctricos que ofrecen lecturas bastante precisas.

3.2.2 Densidad. La densidad es la relación entre la masa y el volumen de la pieza. Se acostumbra tomar la masa como el peso del cuerpo, y la densidad se mide entonces en unidades de peso sobre unidades de volumen.

A medida que avanza el secado y el ladrillo pierde agua, varía su peso y su volumen; teniendo éstas densidades diferentes estando húmedo, a medio secar, o del todo seco.

Para el cálculo de la densidad de la pasta moldeada se debe tener en cuenta su:

Porosidad. La porosidad es una medida o índice del volumen de todos los poros presentes en el material. Los poros pueden estar abiertos o cerrados. Los primeros suelen estar interconectados entre sí por medio de conductos o capilares. Los poros cerrados pueden estar dentro de partículas individuales o formar espacios aislados dentro de la matriz del cuerpo, de tal modo que el material es impermeable al líquido o al gas, a pesar de su alta porosidad.

En consecuencia se pueden distinguir dos clases de porosidad, aparente y real. La primera conocida como porosidad efectiva, se expresa como el porcentaje de volumen de los poros abiertos con respecto al volumen exterior del material considerado y se calcula por:

$$P(\%) = \frac{W - D}{W - S} \times 100$$

Donde:

W: Peso del cuerpo remojado, se mide al pesar la muestra remojada, después de eliminar el exceso de agua de la superficie al frotarla suavemente en un paño húmedo.

D: Peso sólido seco

S: Peso del sólido suspendido en agua después de haber sido remojado de tal modo que los poros abiertos en el cuerpo se llenen completamente.

La porosidad real representa el volumen de los poros abiertos y de los cerrados en el volumen del cuerpo.

$$PORCENTAJE DE POROSIDAD = \frac{Sg - Bd}{Sg} \times 100$$

Sg: Gravedad específica o densidad del sólido (Densidad real).

Bd: Densidad total del Sólido.

$$Bd = \frac{D}{W - S} = \frac{D}{V}$$

V: Volumen total del cuerpo (incluyendo los poros)

La densidad real se calcula triturando el material hasta obtener un polvo fino para eliminar todos los poros internos que se encuentran dentro de las partículas, sobre un picnómetro.

$$D_{real} = \frac{\text{Peso del material pulverizado}}{\text{Volumen de liquido desplazado}}$$

Disminución de la resistencia debida a los poros es:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-n\phi_p}$$

σ : Resistencia a la rotura del cuerpo poroso

σ_0 : Resistencia a la rotura del cuerpo no poroso

n = Constante (4 a 7)

ϕ_p : Fracción del volumen de los poros.

Permeabilidad. Es la propiedad que permite a los fluidos penetrar a través de sus poros bajo un gradiente de presión. Las velocidades de flujo de los fluidos incompresibles, a través de la masa porosa, se pueden calcular a través de la Ley de Darcy.

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = \frac{1}{\alpha} \times \eta \times \mu$$

Donde:

$\frac{\Delta P}{\Delta L}$: Gradiente de presión a través del medio poroso de espesor L

μ : Velocidad específica de flujo ($\mu = \frac{Q_v}{A}$ Índice o velocidad de flujo volumétrico) o (

$\mu = \frac{Q_m}{A}$ Índice o velocidad de flujo de masa por unidad de área).

α : Coeficiente de permeabilidad.

4. SISTEMAS DE SECADO.

El ladrillo puede secarse de dos maneras: natural y artificial. Para seleccionar el sistema adecuado de secado además de conocer los principios, ventajas y limitaciones de cada uno, se deben tener en cuenta condiciones referentes al ladrillo (dimensiones, cantidades, contenido de humedad CH y calidad del secado), con el lugar (temperatura, vientos, humedad relativa HR) y con las condiciones económicas (tiempo y espacio disponibles para realizar el secado). Es así como no existe una solución única para secar el ladrillo, sino una serie de soluciones posibles para unas condiciones dadas.

4.1 SECADO NATURAL

Es la forma más simple de secar el ladrillo. Consiste en la exposición directa al medio ambiente, la temperatura, la humedad relativa HR, la velocidad y presión del aire ambiente llevan a cabo el secado hasta el contenido de humedad de equilibrio. CHE del lugar. El secado natural se realiza en patios de secado que son terrenos planos, de piso duro y compactado, situados en lugares no inundables, que poseen un buen drenaje, libres de obstáculos y vegetación que impidan la libre circulación del viento.

En el patio de secado se dispone el ladrillo formando pilas. Un apilado correcto es fundamental para obtener un buen resultado de secado. Entre las pilas se dejan pasadizos de 60 cm y corredores suficientes para permitir la circulación de los medios de transporte del ladrillo. No se expone el ladrillo directamente al sol para evitar grietas y en lugares con vientos demasiados fuertes este puede controlarse anteponiendo a las pilas mamparas con persianas regulables.

La duración del secado natural depende de las variaciones climáticas del lugar y del contenido de humedad CH inicial del ladrillo.

Las ventajas del secado natural son su bajo costo de implementación y consumo nulo o muy bajo de energía. Debido a la lentitud del proceso y a las diferencias de temperatura del día y la noche, el secado es uniforme, el ladrillo presenta pocos defectos. Los mayores inconvenientes del secado natural son su dependencia de las variaciones climáticas, su lentitud y el requerir una superficie importante en el patio.

4.2 SECADO ARTIFICIAL.

El secado artificial es el proceso por el cual se elimina el agua contenida en la pieza mediante el empleo de temperatura, presión, velocidad y humedad relativa del aire, diferentes a las proporcionadas por el ambiente natural.

El secado artificial es un proceso rápido que reduce el tiempo de secado y bien controlado proporciona un producto de mayor calidad.

4.2.1 Cámaras de secado artificial. La cámara de secado es el recinto en el cual se coloca el ladrillo que se va a secar. Debe poseer ciertas características de construcción que le permiten resistir condiciones diferentes de trabajo.

Para lograr un control de los cuatro factores que condicionan el proceso; humedad relativa HR, temperatura, velocidad y presión del aire, el secador debe contar con los siguientes cuatro elementos básicos: la cámara propiamente dicha, el sistema de circulación de aire de secado, el dispositivo de calentamiento del aire y los medios de control de las condiciones de secado.

4.2.1.1 Dimensiones. Las dimensiones de la cámara de secado dependen de la cantidad y de las dimensiones de las piezas a secar, de las condiciones de ocupación del espacio impuestos por el tipo particular de secadero, de la forma como debe manipularse el ladrillo en el interior de la cámara, y de los medios de acceso de las muestras que deben distribuirse en lugares estratégicos de las pilas, para que sean representativas de la evolución del secado.

Para obtener una mayor eficiencia, el volumen de la cámara debe ser tan cercano como sea posible a un cubo. Una forma de medir esta eficiencia es por medio del valor de la relación

llamado "coeficiente de llenado", el cual es igual al cociente entre el volumen de ladrillos V_L y el volumen de la cámara V_c .

$$\frac{V_L}{V_c} = \frac{\text{Volumen de ladrillos}}{\text{Volumen de la cámara}}, \text{ varía entre 0,35 y 0,50}$$

4.2.1.2 Materiales de construcción. Las cámaras de secado deben construirse con materiales capaces de soportar los choques que pueden ocurrir durante los procesos de carga y descarga del ladrillo, además de asegurar que cumplan las otras características requeridas para un correcto secado (aislamiento térmico, hermeticidad a las fugas de aire, resistencia a la corrosión).

Los materiales más utilizados son la mampostería de ladrillo para su construcción. El piso debe resistir a las pesadas cargas de ladrillo y facilitar el drenaje de agua, la junta entre el techo y los muros debe impedir la salida del aire y del calor, las puertas deben permitir la facilidad de maniobrar durante el carga y descarga de las piezas.

4.2.1.3 Aislamiento térmico. El aislamiento térmico de las cámaras de secado tiene por objeto evitar que el calor del aire se fugue hacia el ambiente exterior más frío.

Cuando el aire húmedo de secado produce condensación de agua sobre las caras internas de los muros, es necesario mejorar el aislamiento de la cámara por medio de un espesor de aislante. Si este es propenso a estropearse a causa de la humedad, debe protegerse su cara interna por medio de una barrera impermeable. Para la parte exterior de los muros deben tenerse en cuenta los efectos de la intemperie y de los vientos.

4.2.1.4 Hermetismo. Las fugas de aire deben evitarse para lograr un mejor control de la circulación del mismo dentro de la cámara. En las paredes, el techo y los puntos de contacto de ambos, no deben existir lugares donde el aire circule libremente entre el interior y el exterior. Las puertas de acceso, los postigos de ventilación controlada y los puntos de paso de las tuberías, cables y ductos de aire, llevan empaques adecuados para permitir el movimiento relativo de las partes cuando este debe existir, pero impedir el libre paso del aire de secado al exterior.

4.2.1.5 Ventilación controlada. Las cámaras de secado están provistas de postigos o ventilas que permiten la salida del aire húmedo ya servido y su reemplazo por aire ambiente más seco. Según sea el grado de tecnificación de la cámara de secado, los postigos funcionan en forma manual o por medio de un mecanismo accionado automáticamente; algunas cámaras tienen ventiladores destinados a la evacuación del aire húmedo. Las únicas cámaras de secado que no requieren postigos de evacuación son los deshumidificadores, los cuales reciclan en permanencia el mismo aire, puesto que poseen un sistema que permite extraer el agua del aire húmedo a medida que se desarrolla el proceso de secado.

4.2.2 Circulación del aire de secado. El aire es el vehículo que transporta la humedad al exterior del ladrillo. Para que el aire efectúe su trabajo dentro de la cámara, debe poseer una presión suficiente que lo haga circular a cierta velocidad y le permita vencer los obstáculos que encuentra en su recorrido. Este efecto se logra por medio del viento en el secado natural y de manera más efectiva y controlable, por medio de ventiladores en el secado artificial.

Las características más importantes a determinar en un ventilador son el caudal y la presión estática. El caudal es el volumen de aire que el ventilador trasega o mueve por unidad de tiempo, se mide en unidades de volumen por unidad de tiempo, el caudal implica que el aire circule a través de las pilas de ladrillos con suficiente velocidad. La presión estática es la ejercida por el aire sobre las paredes de la cámara de secado y es un indicativo de la fuerza que el aire debe aplicar sobre las superficies que se oponen a su libre circulación para vencer los obstáculos que ellos representan. La unidad más común para medir la presión estática de un ventilador es la longitud de columna de agua (milímetros de columna de agua, mmH₂O y en pulgadas de columna de agua, inH₂O).

Existen dos tipos de ventiladores que pueden utilizarse en las cámaras de secado, centrífugos y axiales. Los ventiladores centrífugos proporcionan bajos caudales a presiones estáticas altas y se componen de una carcasa metálica en forma de voluta o caracol, al interior de la cual gira una rueda compuesta de palas o aspas.

Los ventiladores axiales tienen la forma de una hélice compuesta por varias aspas curvas que giran alrededor de un eje, la hélice se encuentra al interior de una carcasa en forma de cilindro. El secado del ladrillo necesita en general altos caudales y presiones estáticas bajas; por esta razón, y porque en principio son menos costosos que los centrífugos, es más corriente que se utilicen ventiladores axiales para trasegar el aire dentro de la cámara de secado. Los ventiladores centrífugos se usan donde por razones de ahorro de espacio el diseño de la cámara así lo requiere.

4.3 SISTEMAS DE APORTE DE CALOR

El secado térmico requiere el aporte de energía en forma de calor. El calor suministrado debe ser suficiente para elevar la temperatura del aire dentro de la cámara, romper los enlaces químicos entre las moléculas de agua y componentes de la arcilla, y luego evaporar el agua, además de compensar las pérdidas de calor por las paredes, piso, techo, por las chimeneas y otros dispositivos de la cámara que están en contacto con el exterior. La forma corriente de aportar el calor necesario consiste en calentar directamente el aire de secado, o calentarlo, de manera indirecta, poniéndolo en contacto con superficies calientes o intercambiadores de calor, estas dos formas de calentar el aire dependen de la fuente de producción de energía que se utilice para realizar el secado.

4.3.1 Combustible líquidos derivados del petróleo. Existen dos maneras de utilizar estos combustibles para calentar el aire de secado. La más simple consiste en producir la combustión por medio de un quemador que calienta superficies metálicas de intercambio, las cuales a su vez calientan el aire de secado cuando este entra en contacto con ellas. Este sistema es de bajo rendimiento térmico y presenta riesgos de incendio.

La otra forma de utilizar estos combustibles consiste en alimentar calderas. Las calderas trabajan por medio de una combustión a presión mayor a la atmósfera, lo que permite un mayor rendimiento térmico, los gases de combustión entran en contacto con una serie de tuberías de intercambio por las que circula un fluido a presión más o menos alta, estas tuberías llegan a lugares estratégicos de la cámara de secado, donde por medio de la

superficie de intercambio calienta el aire de secado; el fluido frío regresa a la caldera donde reinicia el ciclo de calentamiento.

Las calderas son aparatos costosos y complejos compuestos de una serie de grupos como motobombas eléctricas de circulación, válvulas de seguridad, trampas de vapor, tanques de almacenamiento del fluido de circulación y de combustible, controles eléctricos, etc.; necesidad de mano de obra calificada para su operación y mantenimiento.

4.3.2 Gas Natural. Al igual que los combustibles líquidos, el gas puede ser utilizado como fuente de energía directa o para alimentar calderas. Utilizado de manera directa tienen la ventaja de que, al no ser tóxicos sus gases de combustión, no es necesario utilizar sistemas de intercambio de calor y pueden entonces ser dirigidas a la cámara de secado. Debido a los riesgos de explosión, en las instalaciones que funcionan con gas deben tenerse precauciones especiales.

4.3.3 Carbón. La aplicación corriente del carbón como fuente energética es por medio de estufas simples que permiten su combustión directa del combustible y poseen un sistema de intercambio para calentar aire limpio de secado.

Aunque estos son sistemas de menor rendimiento térmico, debido a la combustión directa y el sistema de intercambio, son aparatos simples y fáciles de implementar, siendo el carbón un combustible corriente y barato.

4.3.4 Energía Eléctrica. La manera más eficiente de utilizar energía eléctrica para calentar el aire de secado consiste en energizar una bomba de calor, las cámaras de secado basadas en este principio se llaman deshumidificadores. Estos tienen la singular característica de poder recircular el mismo aire durante todo el proceso de secado (al aire caliente y húmedo se le extrae el agua, se recalienta y se hace circular de nuevo); esta particularidad los convierte, comparados con los otros sistemas que funcionan con reemplazo del aire de secado saturada por el aire ambiente tomado del exterior, como una opción de secado adecuada en lugares donde el aire ambiente es bastante húmedo. Los deshumidificadores poseen un sistema de resistencias eléctricas que trabajan automáticamente cuando se requiere un mayor calentamiento del aire.

La energía eléctrica puede también en forma más simple e inmediata, calentar el aire de secado al ponerlo en contacto con una serie de resistencias eléctricas. Esta es una solución cómoda y fácil de instalar si se dispone de un buen suministro de electricidad, pero costosa, tanto en la instalación que requiere un transformador de gran potencia, como en la operación que genera un alto consumo de energía.

4.3.5 Energía Solar. Por medio de colectores solares es posible calentar aire que se conduce directamente a la cámara de secado.

Su principio básico de funcionamiento consiste en lograr el calentamiento de una superficie buena conductora de calor, que a su vez transfiere ese calor al aire. Un colector de aire

simple puede lograrse adaptando el techo de una edificación. El Anexo 6 ilustra algunos tipos de colectores solares de aire.

El colector solar puede ser parte integral de la cámara o estar construido aparte y unido a la cámara por medio de túneles o ductos que conducen el aire.

4.3.6 Sistemas Mixtos. Es posible combinar varias fuentes de calor para obtener un sistema mixto de aporte de calor. Por ejemplo: La energía solar puede calentar el aire en el día, y una estufa de carbón, una caldera, un quemador o un sistema eléctrico, pueden suplir el calor necesario durante la noche. A pesar de que los sistemas mixtos introducen complejidad en el diseño y aumento en los costos de construcción, son soluciones adecuadas para adaptarse a las facilidades energéticas de un lugar. También se adapta a los cambios progresivos de producción.

4.4 CONTROL Y OPERACIÓN DEL SECADOR.

En el proceso de secado es necesario controlar condiciones relacionadas con la cámara de secado, los medios disponibles para llevar a cabo el proceso y la operación del secador.

La velocidad y presión del aire dentro del secador se fijan al escoger los ventiladores. La temperatura se mide por medio de termómetros (de mercurio, alcohol, tensión de vapor, resistencia eléctrica), su lectura puede ser directa o por medio de aguja indicadora o digital. Para medir la humedad relativa HR del aire se utiliza un sicrómetro o higrómetro.

Los medios que deben tenerse en cuenta para realizar el secado son: el tiempo disponible, la humedad relativa HR del aire ambiente utilizado, la cantidad y continuidad de la energía disponible, la uniformidad en el recorrido del aire interior de la cámara y la precisión de las medidas que controlan el proceso.

El cuarto de control de secado, anexo a la cámara o tan cerca de esta como sea posible, debe contener una mesa de trabajo, la mufla, la balanza, herramientas manuales para fabricar las muestras, la documentación necesaria (los formatos de control de secado, los programas de secado, las tablas de depresión sicrométrica, la humedad relativa HR del aire y contenido de humedad de equilibrio CHE del producto, un diagrama del aire húmedo), y un archivo para la información ya procesada.

La conducción correcta del secado requiere un buen apilado: los separadores gruesos por ejemplo, facilitan la circulación del aire pero disminuyen su velocidad y reducen la carga en el secador. Las dimensiones de las pilas dependen del volumen disponible dentro del secador, de las dimensiones del ladrillo, de la altura permisible sin comprometer la estabilidad de la pila, de la forma como debe realizarse la manipulación de cargue y descargue del secador, y de la búsqueda de una circulación uniforme del aire a través de la pila.

4.4.1 Conducción Manual. Se resume en los cinco pasos siguientes:

Paso 1. Posicionar las pilas de ladrillo en la cámara.

Paso 2. Medir el contenido de humedad CH del ladrillo (Método de doble pesada o por medio de un medidor eléctrico).

Paso 3. Distribuir las muestras testigos en las pilas.

Paso 4. A medida que avanza el secado, el control del programa requiere la vigilancia del contenido de humedad de las muestras testigos. Debe también vigilarse la posible aparición de defectos por medio de las probetas.

4.4.2 Conducción Semi-Automática. Se trata de una conducción manual asistida, en la cual se controlan los órganos de calentamiento, humidificación y ventilación por medio de sistemas motorizados como válvulas magnéticas, neumáticas o eléctricas. El operario escoge valores de temperatura y humedad relativa HR correspondientes al programa de secado y la automatización se encarga de mantener invariable los valores; cuando el chequeo de las muestras testigos indique un cambio en los valores de temperatura y humedad relativa, el operario realiza el ajuste. Se procede entonces en pasos sucesivos según el programa de secado. En general, el control del proceso se logra por medio de lecturas sicrométricas: se leen las temperaturas de bulbo seco y húmedo, y su diferencia permite conocer la humedad relativa HR y el contenido de humedad CH correspondientes.

La Figura.5 muestra el diagrama de un secado controlado con sicrómetro.

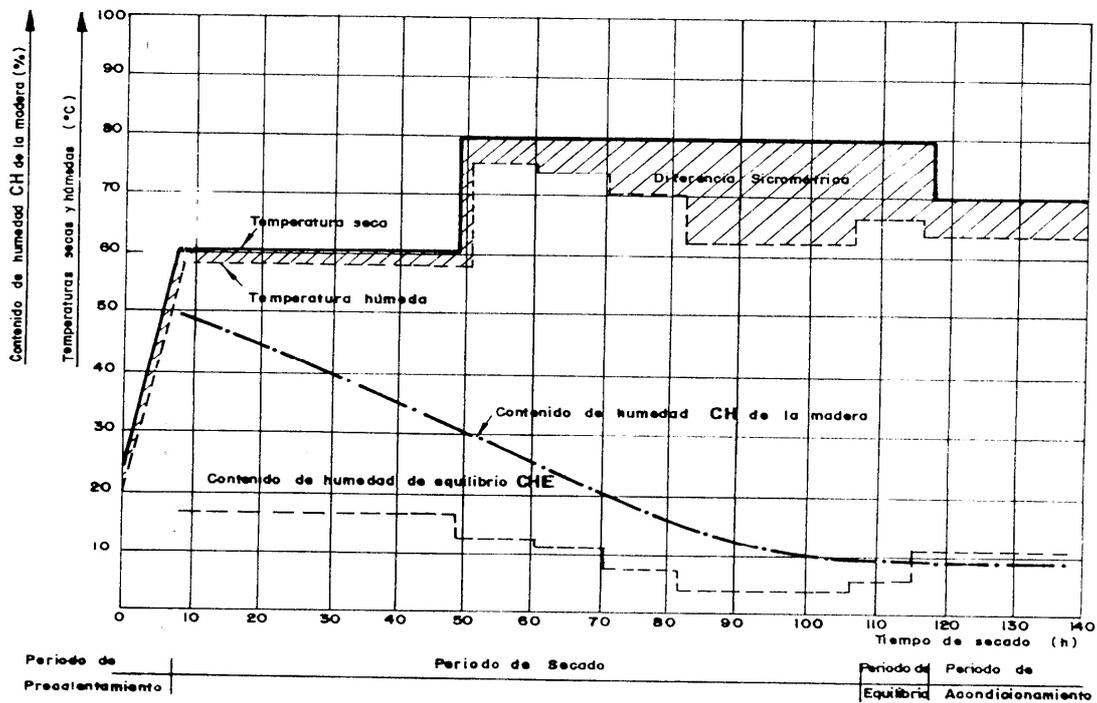


Figura 5. Diagrama de secado controlado con sicómetro.

Muchas de las válvulas de control utilizadas en la conducción semi-automática son aparatos simples que trabajan solo en dos posiciones límites (abiertos o cerrados), lo que resta exactitud al control de secado. La evolución de las muestras de control debe seguirse en permanencia desde el exterior, por medio de sondas eléctricas similares a las utilizadas para medir el contenido de humedad.

4.4.3 Conducción Automática. En la conducción automática el secado se lleva a cabo sin necesidad de operarios. En sus orígenes era basada en un programa de secado establecido en forma experimental que controlaba la temperatura y la humedad relativa del aire mediante la aplicación de uno de los dos criterios siguientes: el primero, establecer escalas

de variación cada cierto tiempo, el segundo, establecer escalas de variación cada que el gradiente de secado alcance ciertos valores determinados (el gradiente o velocidad de secado es la variación del contenido de humedad del producto en función del tiempo).

Los primeros medios utilizados para estos controles automáticos fueron discos de cartón graduados montados en un mecanismo giratorio; sobre las escalas graduadas de los discos se grafican continuamente, los valores de la temperatura seca y la depresión sicrométrica.

En la actualidad, los computadores permiten establecer un extraordinario intercambio de información, y por medio de sondas que vigilan en todo momento el aire y el producto, el computador puede adaptar el proceso según las variaciones que se presenten a medida que el secado avanza.

5. CLASIFICACION DE LAS CAMARAS DE SECADO

La clasificación de las cámaras de secado puede hacerse en función de las posibilidades de lograr dentro de ellas en efectivo control de las condiciones del aire. Se pueden llamar presecadores a las cámaras simples de control de aire poco estricto o inexistente; los secadores, en cambio, son cámaras en las cuales las condiciones del aire pueden ser controladas completamente para garantizar el correcto seguimiento de un programa de secado.

5.1 PRESECADORES

Son cámaras simples y económicas, a menudo transportables, en las cuales es corriente encontrar fugas de aire y pérdidas de calor. En las más elementales, el aire no circula sino que atraviesa las pilas de ladrillo y sale luego al exterior. Otros modelos de presecadores recirculan el aire y poseen ventilas que son accionadas periódicamente para evacuar el aire húmedo y reemplazarlo por aire ambiente. Para pequeñas producciones los presecadores pueden ser suficientes; para producciones mayores, los presecadores son un paso anterior al secado propiamente dicho. Los presecadores pueden entonces considerarse como

aparatos que realizan un secado al aire libre acelerado, en el cual la temperatura del aire puede llegar hasta los 50°C. A continuación se describen las variantes más corrientes de presecadores.

5.1.1 Presecador bajo techo con ventiladores y costados cubiertos. Uno de los cuatro costados de la cámara es un bastidor en el que se instalan los ventiladores, el costado opuesto es libre para permitir el paso directo del aire; los dos costados laterales van cubiertos para evitar distorsiones en el recorrido del aire. El secado se realiza por medio del aire ambiente que los ventiladores envían a través de las pilas, el cual atraviesa la cámara y va luego al exterior. Debido a su simplicidad, este tipo de presecadores puede ser portátil, lo cual lo hace más práctico y adaptable a condiciones variables de secado.

5.1.2 Presecador con calefacción. El sistema puede hacerse más eficiente implementando una fuente de calor que aumente la temperatura del aire propulsado por los ventiladores. El presecador con calefacción reduce el tiempo de secado pero genera mayores costos, sobre todo si se tiene en cuenta que en estos aparatos el sistema de calefacción trabaja con bajos rendimientos debido a las pérdidas de calor.

Un caso particular de presecador con calefacción es el túnel de secado, en el cual el aire caliente penetra por uno de los extremos, y a medida que recorre el túnel en sentido de la longitud pasando a través de pilas sucesivas dispuestas en vagonetas sobre rieles, se va humedeciendo paulatinamente hasta abandonar el secador por el extremo opuesto con una humedad relativa cercana a la saturación. Las vagonetas se desplazan en sentido opuesto al

flujo de aire y presentan un grado de sequedad escalonado desde ladrillo seco, a la salida, hasta ladrillo húmedo a la entrada al túnel del tren de vagonetas.

5.1.3 Presecador con calefacción y recirculación de aire. Si a los presecadores con calefacción se les implementa un sistema de recirculación de aire dentro de la cámara, se obtiene un secador en el cual es posible lograr un mejor control de las condiciones de secado. En la medida en que este tipo de cámara permita una calidad aceptable de secado, prácticamente se convierte en un secador. El Anexo 7 ilustra varios modelos corrientes de presecadores.

5.2 SECADORES

Los secadores son cámaras en las cuales puede lograrse un control efectivo, un rendimiento considerable y una buena calidad del producto seco. Un secador debe cumplir con los siguientes principios de diseño: la cámara es estanca (no permite fugas de aire) y aislada térmicamente; la circulación del aire es uniforme y regular, posee un control estricto de la humedad relativa HR y de la temperatura del aire.

En el secado térmico existen dos maneras de controlar las condiciones del aire. La primera, más simple, barata y común, consiste en evacuar el aire saturado o caso saturado y reemplazarlo por aire menos húmedo a temperatura ambiente; la principal desventaja de este procedimiento consiste en que el aire húmedo evacuado es caliente, existe una fuga de

calor que debe ser recuperada por el calentamiento del aire ambiente de reemplazo; cuando el aire ambiente es muy frío o muy húmedo requiere mayor cantidad de energía para lograr las condiciones estipuladas por el programa de secado y disminuye en consecuencia el rendimiento del proceso. La segunda forma consiste en condensar el vapor de agua contenida en el aire de secado para convertirlo en líquido y sacarlo entonces del secador; con base en este principio funcionan los secadores llamados deshumidificadores.

5.2.1 Secadores convencionales. Los secadores convencionales operan a temperaturas del orden de 40 a 80°C al inicio y de 70 a 93°C al final del secado, con una velocidad del aire de 1.5 a 2.5 m/seg. El proceso de secado toma de 2 a 4 días para obtener un contenido de humedad CH del producto entre el 18 y 20%.

La cámara de secado debe responder a las características ya estudiadas. Se coloca comúnmente ventiladores axiales en la parte superior y se separa de las pilas por medio de un cielo raso; cuando la cámara tiene un ancho mayor de 2.5m, es aconsejable utilizar ventiladores reversibles que invierten el sentido del flujo del aire a través de la pila.

El Anexo 8 muestra una cámara que funciona con un ventilador centrifugo y el Anexo 9 esquematiza dos secadores cuyos ventiladores están colocados en los costados laterales.

El sistema de calentamiento corriente en los secadores convencionales consiste en producir vapor de agua por medio de una caldera y circular este vapor por una serie de tuberías de intercambio de calor que está situadas al interior de la cámara de secado, de manera tal que al ser atravesadas por el aire que impulsan los ventiladores, éste se calienta con el calor

cedido por el vapor de agua, el cual se condensa y regresa a la caldera para reiniciar el ciclo de calentamiento.

Las calderas funcionan por medio de ACPM, carbón, a presiones de trabajo de unas 80 lb/in²; otros medios menos corrientes de producir el calor necesario para el secado, consiste en utilizar resistencias eléctricas o quemadores que calientan el aire de secado directamente (quemadores de gas) o indirectamente (quemadores de ACPM).

La variación de la humedad relativa del aire dentro del secador se logra mediante el control de postigos o chimeneas. Las chimeneas de admisión de aire se colocan en la zona de succión de los ventiladores y la evacuación en la zona de presión.

Las ventajas de los secadores convencionales consisten en el empleo de fuentes de energía baratos y fáciles de obtener, y el tiempo razonable que emplea el proceso de secado. Las desventajas son: el mantenimiento de la caldera y el tratamiento necesario del agua; cierta dificultad para controlar la humedad relativa del aire, la necesidad de renovar el aire, proceso en el que se tienen pérdidas de calor hasta un 75% por concepto de calentamiento del aire ambiente de reemplazo.

5.2.2 Secadores continuos o túneles. Los secadores continuos son túneles de hasta 40m de longitud en los cuales se disponen, a lo largo, los elementos de calefacción y los ventiladores encima de un cielo raso; la evacuación y el remplazo del aire se efectúan por medio de chimeneas. Debido a sus condiciones de trabajo, en las cuales el aire atraviesa y no recircula, es difícil lograr un control homogéneo de la temperatura y la humedad relativa

sobre toda la longitud del túnel; solo las condiciones del aire de entrada son controlables con exactitud.

Para lograr un mejor control de las condiciones del aire se han ideado comportamientos sucesivos, separando la longitud total por medio de cortinas metálicas; así mismo, se mejoran las limitaciones del sistema agregando secciones iniciales que precalientan el ladrillo utilizando el aire húmedo y caliente que evacuan las chimeneas del túnel, y al final, una sección de acondicionamiento con condiciones independientes de circulación del aire y temperatura: El Anexo 10 muestra la configuración de un túnel de secado continuo.

5.2.3 Deshumidificadores. Los deshumidificadores son secadores que trabajan con base en un circuito frigorífico que se compone de cuatro componentes: el compresor (que es la fuente de potencia del sistema), el condensador (o batería caliente), la válvula reductora de presión y el evaporador (o batería fría). El circuito se inicia en el compresor, que aumenta la presión del fluido frigorífico gaseoso (Freón 12 o 22); el fluido pasa luego al condensador, donde se convierte en líquido a presión y libera calor; de allí se dirige a la válvula reductora donde disminuye su presión, después pasa al evaporador donde se evapora tomando calor del medio ambiente; por último, el circuito se cierra con el regreso del gas a baja presión al compresor, desde donde inicia un nuevo ciclo. (Anexo 11). El aire a utilizar en la cámara pasa por la bomba de calor donde se le purga el agua, la cual se recoge en un recipiente y se lleva al exterior por medio de una manguera; el aire se calienta luego y regresa a la cámara para realizar un nuevo ciclo a través del ladrillo. El

deshumidificador recicla entonces el mismo aire de secado y no precisa de ventilas para intercambio de aire con el exterior.

La bomba de calor es corriente que se encuentre en el interior de la cámara de secado, con la desventaja de entrar en contacto directo con el aire de secado cargado de agentes químico, en modelos más especializados la bomba de calor está separada de la cámara por medio de una pared y la circulación del aire se realiza por medio de ductos (Anexo 12)

Los deshumidificadores funcionan a temperaturas relativamente bajas, requiriendo para mayores temperaturas equipos adicionales; siendo solo propicios para producciones medianas.

5.2.4 Secadores Solares. Existen tres tipos básicos de secadores solares; los dos primeros son aparatos simples limitados que deben clasificarse como presecadores; el tercer tipo más complejo, es el único que según la definición puede clasificarse como secador. El primer tipo de secador solar tiene el colector solar integrado a la cámara de secado y un circuito único de ventilación que propulsa el aire a través del ladrillo. Cuando las condiciones de humedad o temperatura del son inaceptables, este se cambia por aire ambiente accionando un sistema de ventilas (Anexo 13). Con respecto al secado al aire libre se reduce el tiempo de secado a la mitad en verano y a una tercera parte en invierno. El segundo tipo de secador tiene la cámara separada del colector solar y un sistema único de ventilación lleva el aire caliente del colector a la cámara y lo propulsa a través de la cámara una sola vez (túnel) o lo recircula regresándolo al colector para calentarlo de nuevo (se hace necesario purgar la

humedad del aire). Estos presecadores llegan a rendimientos del 20 al 30%; es posible acoplar el colector solar con otra fuente energética diferente para poder obtener un secador mixto.

El tercer tipo de secador solar permite un control completo de las condiciones de secado y puede convertirse en un secador mixto. Este secador posee tres circuitos independientes de circulación del aire: el circuito interno que circula el aire en la cámara a través del ladrillo, el circuito solar que trasega el aire a través del colector solar, y el circuito intercambio de aire con el exterior, que permite extraer de la cámara el aire cargado de humedad y reemplazarlo por aire ambiente. Por medio de un proceso automático, un control que regula las condiciones de secado arranca los circuitos de ventilación (Anexo 14). Este tipo de secador acoplado a una fuente de calor permite continuar el secado durante la noche, puede ser tan efectivo como los secadores convencionales y deshumidificadores.

5.2.5 Sistemas Especiales. Otros métodos de secado utilizados son:

El secado al vacío que logra mayor rapidez en la evacuación del agua del producto, así como su ebullición a temperaturas relativamente bajas. Se realiza en cámaras cilíndricas de acero, con tapas esféricas que resisten a la presión atmosférica cuando se hace el vacío interior; disponen de un medio de aporte de calor (resistencias o intercambiadores), de un dispositivo para eliminar el agua y de controles para regular el proceso de secado. Este sistema sofisticado puede reducir el tiempo de secado una quinta parte, respecto al tiempo empleado en los secaderos convencionales.

El secado por medio de microondas basado en ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia, se comporta de manera similar al secado clásico con aire caliente y húmedo, pero el tiempo de secado se reduce de manera significativa.

El secado químico se basa en la utilización de productos hidrófilos (que absorben el agua) como ciertas soluciones de cloruro de sodio; que al contacto con el ladrillo acelera la salida del agua. Este secado es de poca utilidad práctica.

El secado por radiación infrarroja y por radiación electromagnética consiste en el calentamiento del ladrillo sometido al efecto de estas radiaciones. Son procedimientos costosos, poco desarrollados que pueden reducir en algunas horas el proceso de secado.

El secado a alta frecuencia se efectúa colocando un cuerpo resistente al paso de la corriente entre dos electrodos conectados a un generador de alta frecuencia, el cuerpo se constituye de un condensador dieléctrico que se calienta desde el centro hacia por efecto de una fuerte agitación molecular.

6. PERIODOS DE DESECACION

6.1 PERIODO DE VELOCIDAD CONSTANTE

En el comienzo del proceso de secado, cuando la arcilla contiene aún el mínimo suficiente de agua para llenar los espacios vacíos, existirá una película continua de agua sobre la superficie de las partículas. El agua debe moverse a través de los poros hacia la superficie para compensar de este modo las pérdidas por evaporación. En todos los casos, salvo en los excepcionales, en los que la velocidad de secado es muy alta o que la arcilla se presenta muy finamente dividida, el agua se moverá debido a las fuerzas de capilaridad tan rápidamente como sea eliminada. La pieza se contraerá en un volumen equivalente a la del agua perdida hasta que las partículas se pongan en contacto, momento en el cual el aire penetrará en el interior de los poros para sustituir al agua. Poco después la velocidad de secado empieza a disminuir para mantener una película superficial continua. Este punto se denomina “punto crítico” y corresponde aproximadamente al momento en que cesa la contracción.

La velocidad está expresada en términos relativos a la temperatura, humedad y velocidad del aire y se indica en la Figura 6.

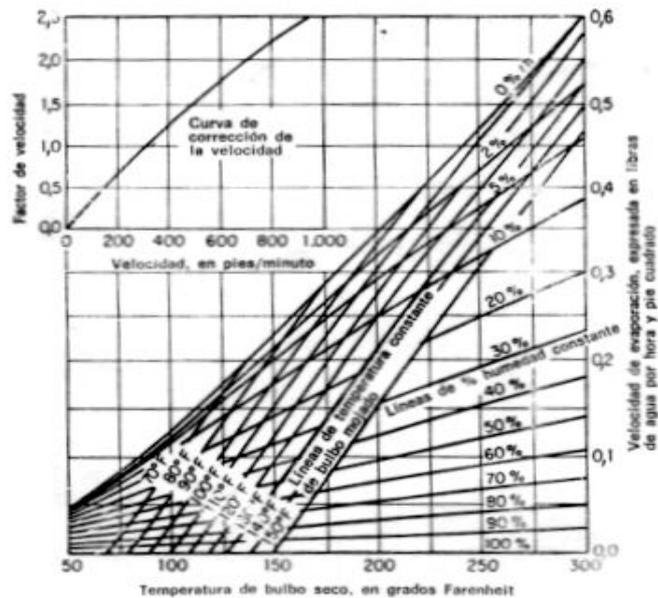


Figura 6. Gráfico de evaporación para una superficie libre de agua.

6.2 PERIODO CON DISMINUCION DE LA VELOCIDAD DE SECADO

Más allá del punto crítico, la película superficial continua se rompe y el agua de la superficie retrocede hacia el interior de los capilares, produciendo el color claro que presenta la arcilla en este estado. A medida que el secado prosigue, cada vez más el agua del interior de la estructura se convierte en vapor, siendo necesario para ello que aquella se mueva a través de los capilares casi vacíos hacia la superficie.

En la Figura 7 se muestra de qué modo se vería la sección aumentada de la arcilla en distintas etapas del proceso de secado. En A, las partículas de arcilla se encuentran perfectamente separadas por la película de agua, que circula continuamente sobre la superficie. En B, la cantidad de agua ha disminuido hasta que las partículas se tocan unas

con otras, pero todavía existe una película superficial continua. En C, el agua ha descendido hasta el punto de que la capa superficial se rompe y el nivel retrocede en el interior de los poros englobando cierta cantidad de aire en la estructura. En D, el contenido en agua ha decrecido aún más, hasta que solo se encuentra en aquellos lugares donde las partículas se hallan más próximas. Estas cuatro situaciones se muestran conjuntamente en una curva típica de velocidad de secado para el caso de una arcilla, como la que muestra la Figura 8.

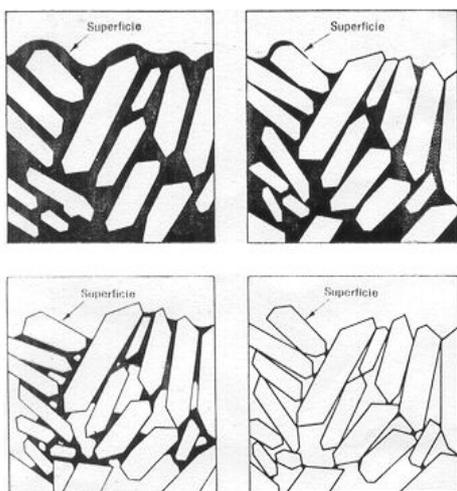


Figura 7. Diferentes etapas de secado

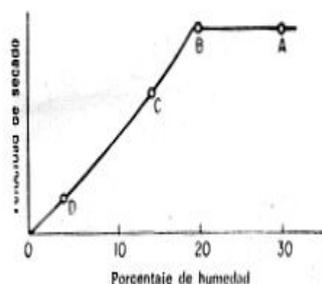


Figura 8. Curva típica de velocidad de secado de una arcilla

La última porción del agua se elimina lentamente debido a que sufre el proceso de absorción sobre la superficie de las partículas secas. Sin embargo, prácticamente no es necesario en ningún caso eliminar los últimos trazos de agua. De hecho, una pieza que esté totalmente seca resulta quebradiza y difícil de manejar.

6.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EFICACIA DEL SECADO

Cuando se someten al proceso de secado los artículos de arcilla, la operación debe llevarse a cabo lo más rápidamente posible para evitar una amplitud y costo excesivo por parte del equipo de secado.

6.3.1 Velocidad máxima de secado. Esta se determina mediante las tensiones que se producen en el ladrillo y la capacidad del cuerpo para resistirlas. La tendencia al agrietamiento es una función del gradiente de humedad, de la pendiente de la curva de contracción y de la flexibilidad de su estructura. La única variable susceptible de control durante la operación es el gradiente de humedad, para una velocidad de secado alta, puede disminuirse solamente la viscosidad del agua que circula por los capilares. La viscosidad del agua disminuye bastante rápido con la acción de la temperatura, tal como se indica en la Figura 8 que explica la razón por la cual, el ladrillo debe ser calentado rápidamente hasta alcanzar la temperatura máxima en una atmósfera saturada antes de que la mayor parte del proceso de secado tenga lugar.

El tamaño de las piezas influye en la duración del tiempo necesario para el secado. Macey ha demostrado que, bajo condiciones de secado constantes, diferentes cubos de varios tamaños se secan en tiempos proporcionales a la longitud del lado del cubo; además cuanto mayor sea la pieza, mayor será su tendencia a resquebrajarse. Cuando el contenido de agua es lo suficientemente bajo como para situarse bajo el contenido crítico, la contracción cesa y el proceso de secado puede llevarse a cabo tan rápidamente sin producir una presión demasiado grande que pudiera hacer estallar la pieza.

6.3.2 Distribución del calor. La circulación de aire debe ser ajustada para proporcionar calor al ladrillo a la velocidad deseada y, al mismo tiempo arrastrar el vapor de agua. Para conseguir de la misma forma el secado de todos los ladrillos, debe recircular un gran volumen de aire proporcionando al mismo tiempo una adecuada distribución de velocidad.

6.3.3 Conservación del calor. Se necesita una cantidad determinada de calor para evaporar el agua, además es necesario suministrar calor para el aire que queda en el secadero, para lograr calentar los ladrillos y para las pérdidas de este a través de las paredes. Por lo tanto un secadero eficaz debe poseer el mínimo volumen de salida de gases, que puede lograrse por medio de una recirculación manteniendo siempre las paredes bien aisladas.

7. DISEÑO DEL SECADERO

7.1 DIMENSIONES DE LA CAMARA DE SECADO

Cantidad de Piezas a secar = 10.000 Ladrillos

Posición de los Ladrillos = Uno sobre el otro

Número de Cámaras = Dos Cámaras

Dimensión del Ladrillo = 40 x 20 x 20 cm (Dimensión mayor).

Coefficiente de llenado = 0.35 - 0.5

Basado en las dimensiones del ladrillo y la cantidad de piezas a secar se calcula el volumen que estos ocupan obteniéndose:

$$\text{Volumen de Ladrillos} = \frac{40 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3 \times 1 \text{ m}^3 \times 10.000}{10^6 \text{ cm}^3} = 160 \text{ m}^3$$

Utilizando un coeficiente de llenado de 0.5 se tiene:

$$\frac{\text{Volumen de Ladrillos}}{\text{Volumen de la camara}} = 0.5 \quad \text{Volumen de la camara} = \frac{320 \text{ m}^3}{2 \text{ camaras}} = 160 \text{ m}^3$$

DIMENSIONES

Alto = 4m

Ancho = 4m

Largo = 10m

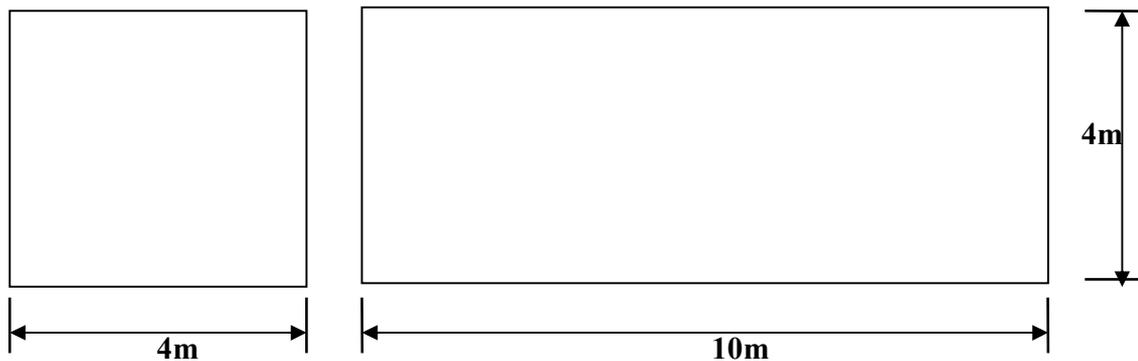


Figura 9. Dimensiones de la Cámara de Secado.

7.2 PAREDES.

La pared del horno tiene la finalidad primaria de retener el calor en la cámara. Para que su función sea satisfactoria, la pared estará constituida por una capa a de ladrillo refractario aislante y otra b, en el exterior, de ladrillo común (Figura 10).

7.2.1 Ladrillos Refractarios Aislantes. Se ha seleccionado un ladrillo UA20 de ERECOs, que se caracteriza por su baja densidad, la cual le confiere una baja conductividad térmica. Esta propiedad los hace óptimos para ser empleados en hornos donde el ahorro energético es una importante condición de diseño. Sus propiedades aparecen en el Anexo 15.

7.2.2 Espesor. El espesor de pared depende de las condiciones de trabajo. Desde el punto de vista de la estabilidad, cuanto más alta sean las paredes, mayor deberá ser su grosor.

Para la altura de 4m se recomienda un espesor de pared² de 13 ½” y se colocan normalmente en capas a tizón. El número de ladrillos requeridos por pie cuadrado es de 19.2 (UA20 9 x 4 ½ x 2 ½ “).

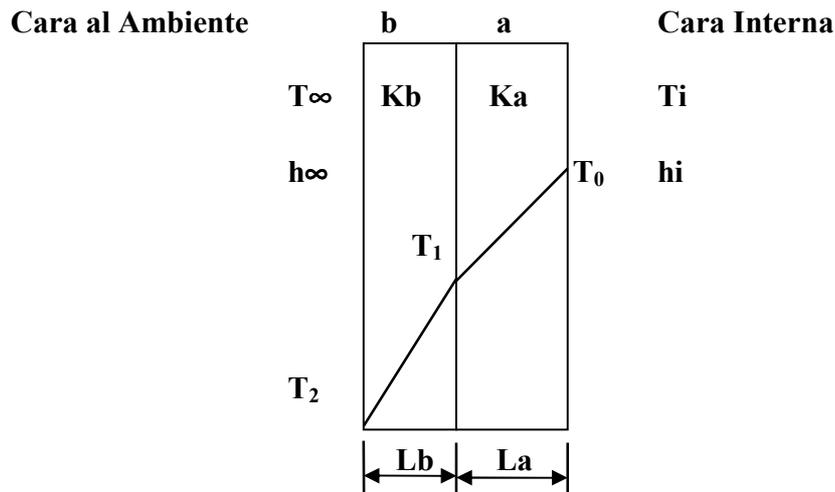


Figura 10. Condiciones a las que está sometida la pared.

$$K_a = 0.206 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m } ^\circ\text{C}} \quad L_a = 0.2286\text{m}$$

$$K_b = 0.283 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m } ^\circ\text{C}} \quad L_b = 0.2\text{m}$$

7.2.3 Cálculo de Transferencia de Calor de la Pared. En las condiciones de trabajo las paredes están sometidas a convección por parte del aire de secado impulsado por el ventilador. De lo que se concluye:

² NORTON, F.H. REFRECTORIOS. 4ª Edición. De. Blume; Barcelona, 1971. Pág. 415.

$$Q_{conv} = Q_{cond}$$

La pared esta sometida a las siguientes condiciones:

Temperatura Exterior $T_2 = 50^\circ\text{C}$

Temperatura Ambiente $T_c = 25^\circ\text{C}$

Temperatura Interior del Secadero $T_i = 150^\circ\text{C}$

Capacidad de la Cámara = 5.000 ladrillos.

El calor transmitido por conducción se calcula por:

$$Q_{cond} = \frac{KA(Th - Tc)}{L}$$

Donde:

Q: Razón de flujo de calor, $\frac{Kcal}{hr}$

A: Area de pared normal al flujo de calor, m^2 .

Th: Temperatura de la superficie caliente de la pared, $^\circ\text{C}$.

Tc: Temperatura de la superficie fría de la pared, $^\circ\text{C}$.

K: Conductividad térmica del material de la pared, $\frac{Kcal}{hr m^\circ C}$

L: Espesor de la pared, m.

Para el caso del calor transferido por convección, su ecuación es:

$$Q_{conv} = h A (Ts - T\alpha)$$

Ts: Temperatura en la superficie de la pared, $^\circ\text{C}$.

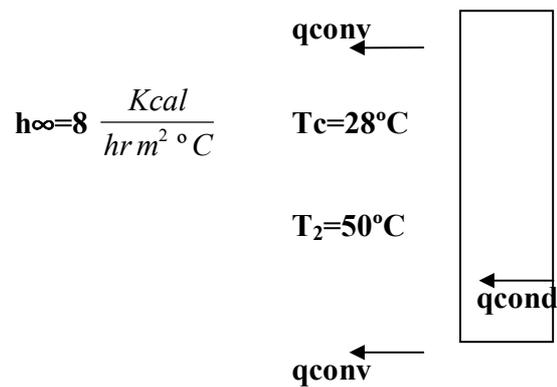
T_{∞} : Temperatura del fluido circundante, °C.

h : Coeficiente convectivo de transferencia de calor, $\frac{Kcal}{hr m^2 \text{ } ^\circ C}$

Para facilitar el diseño se tiene en cuenta el flujo unitario de calor definido como:

$$q = \frac{Q}{A}$$

Parte Externa del Secadero (convección)



Reemplazando se obtiene:

$$q = \frac{Q_{conv}}{A} = h_{\infty}(T_2 - T_c) = 8 \cdot (50 - 28) = 176 \frac{Kcal}{hr m^2}$$

Parte interna del Secadero (convección)

$$q = h_i (T_i - T_o) \Rightarrow 176 = 12 (150 - T_o) \Rightarrow T_o = 135.3^\circ C$$

Parte interna del Secadero (conducción)

$$q = \frac{Ka (T_o - T_i)}{La} \Rightarrow 176 = 0.206 (135.3 - T_i) \Rightarrow T_i = 60^\circ C$$

8. GENERACIÓN DEL CALOR

8.1 ESTEQUIOMETRÍA DE LA COMBUSTIÓN

El proceso de combustión es la mayor fuente de energía para la industria. La combustión se define como la combinación de materiales combustible con oxígeno a velocidades que permitan el desprendimiento de calor sensible.

La energía contenida en el combustible, está definida por su poder calorífico, o cantidad de calor liberada por combustión por unidad de peso o volumen (BTU/lb o BTU/ft³). La fuente normal de energía es el aire.

Para fines prácticos, la combustión involucra la oxidación de tres elementos: carbono, hidrógeno y azufre. Primordialmente tres reacciones químicas tienen lugar:



8.2 TIPOS DE COMBUSTIÓN. La combustión obtenida por la reacción de proporciones exactas de combustible y oxígeno para obtener una completa conversión a dióxido de carbono, vapor de agua y dióxido de azufre es denominada una combustión perfecta o estequiométrica. En la práctica esta combustión no ocurre dada la imposibilidad de la mezcla perfecta de las moléculas de combustible y las de oxígeno; sin embargo esta se puede lograr usando un exceso de aire del 10 al 30% (se consigue en los gases de chimenea el oxígeno entre 2% y menos de 5% de base húmeda).

Por otra parte la deficiencia de aire impide la combustión completa de combustible perdiéndose gran potencial de su poder calorífico. Además ocasiona llamas largas que pueden producir puntos calientes, humos densos y oscuros con componentes contaminantes.

8.3 CALOR

La cantidad de calor obtenida al quemar combustible depende de la composición del mismo, la Tabla 5 indica las composiciones aproximadas y valores térmicos de algunos combustibles comerciales más comunes.

En la mayoría de casos se proporcionan tanto los valores térmicos brutos como netos. Las diferencias entre estos se relaciona con el calor de vaporización de agua, liberándose una mayor cantidad de calor aprovechable cuando el agua del vapor se condensa (esta frecuentemente se evita debido a los problemas de corrosión).

Tabla 5. Análisis Comparativo de Combustibles Típicos.

Combustible	Análisis % peso				Valor Calorífico KJ/Kg*	
	C	H	S	Ceniza	Bruto (HHV)	Neto (LVH)
Gas Natural	75	25	–	–	55570	50076
Propano	82	18	–	–	50244	46260
Butano	83	17	–	–	49489	45715
Nafta	85	15	0.03	–	48231	44624
Kerosene	86	13.7	0.07	–	46134	43240
Aceite	86	13.2	0.3	–	45631	42821
Fuel Oil No 4	87	12.5	0.7	0.02	44792	42150
Fuel Oil No 6	87	12	1.0	0.03	44498	41898
Fuel Oil No 8	86	11.5	2.5	0.08	43450	41437
Carbón Bitumi-	80	5.5	1.5	5.0	32839	31665
Carbón Coque	85	0.5	1.0	12	29358	29148
Carbón Vegetal	–	–	–	–	33552	–
Madera	–	–	–	–	20131	–
Bagazo	–	–	–	–	6291	–

*KJ/KG es igual a 2.33 BTU/lb.

8.3.1 Calor Disponible. Es el calor utilizable para un fin específico (salida útil) y para contrarrestar las pérdidas térmicas excepto las que ocurren en gases de escape. El calor disponible por unidad de volumen es:

$$AH = HHV - \text{Pérdida total de gases de combustión} = LHV - \text{Pérdida total}$$

Donde:

AH. Calor disponible (available heat)

HHV. Poder calorífico superior (higher heating value)

LHV. Poder calorífico inferior (lower heating value).

8.3.2 Ignición. Usualmente la ignición se efectúa agregando calor de una fuente externa a la mezcla, hasta que el calor de las reacciones de la combustión sea mayor que la pérdida de calor al ambiente.

8.3.3 Temperatura de la Llama. Es la temperatura más alta producida en la combustión. Teóricamente, la más alta temperatura de llama ocurre cuando aire y combustible son mezclados en proporciones estequiométricas exactas, y es máxima cuando la pérdida de calor al ambiente es mínima. Los combustibles más comunes producen temperaturas de llamas en el rango de 1850 a 2100°C.

8.4 REGULACIÓN DE LA COMBUSTIÓN

La combustión puede ser controlada dosificando la cantidad de aire o combustible disponible para ser quemados. El control del aire se efectúa de las siguientes maneras:

Regulando la proporción en que el aire es alimentado.

Regulando la mezcla de aire-combustible la cual es influenciada por el diseño del emparrillado.

8.5 CARBÓN

8.5.1 Origen. El carbón se originó a partir de los restos de descomposición interrumpidas de árboles, arbustos, helechos, musgos, lianas y otras formas de vida vegetal, que florecieron en lodazales y pantanos enormes hace muchos millones de años, durante periodos prolongados de clima húmedo y tropical y precipitaciones pluviales abundantes. El precursor del carbón, fue la turba, que se formó mediante la acción bacteriana y química sobre los desechos de plantas. Las acciones subsiguientes de calor, la presión y otros fenómenos físicos transformaron la turba para convertirla en las diversas clases de carbón que se conocen en la actualidad. Debido a los diversos grados de cambios metamórficos durante este proceso, el carbón no es una sustancia uniforme, no hay dos carbones que sean iguales en ningún aspecto.

8.5.2 Composición y poder calorífico del carbón. La composición se da en general de dos modos, por el análisis aproximado y el final, expresados en porcentajes de peso. Los carbonos y poderes caloríficos aumentan al incrementar la categoría mientras que la humedad y contenido de materia volátil disminuyen.

8.5.3 Humedad Total. El carbón se compone de humedad inherente o ligada y humedad de fondo. La primera es un indicativo de la calidad del carbón en su estado natural. La humedad libre denominada también superficial, es la parte total de la humedad que se pierde cuando el carbón es secado con aire en condiciones estándar.

8.5.4 Materia Volátil. Es la porción del carbón que, cuando se calienta en ausencia de aire, en condiciones prescritas, se libera en forma de gases y vapores. En el carbón no existe

materia volátil por sí misma, con excepción de un poco de metano absorbido, pero se produce debido a la descomposición térmica de las sustancias del carbón.

8.5.5 Carbono Fijo. Es el residuo que queda después que se retira la materia volátil y se calcula restando de 100 los porcentajes de humedad y cenizas. Además de carbono puede contener hidrógeno y oxígeno, 0.4 a 1% de nitrógeno y cerca de la mitad del azufre que había en el carbón.

8.5.6 Las Cenizas. Son los residuos orgánicos que permanecen después que se quema el carbón en condiciones especificadas y se componen en gran parte de compuestos de silicio, aluminio, hierro, calcio y cantidades pequeñas de magnesio, sodio, silicio, potasio y litio.

Cenizas³ de carbón, son utilizadas en países desarrollados como materia prima para procesos no convencionales en la elaboración de los ladrillos, con lo que se soluciona un problema ambiental. Mezclando o enriqueciendo la mezcla de arcilla tradicional en una proporción de 5 a 20% sirve como desengrasante (de la misma manera que la arena y escoria), obteniendo una resistencia mecánica final superior, mejora la plasticidad, se requiere menor calor de

hidratación inicial y endurecimiento, es más liviano (tiempo de maduración no inferior de 30 días).

³ ARAUJO, Oscar. FERREIRA, Wilfrido. UTILIZACION DE LAS CENIZAS DEL CARBÓN EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS PARA CONSTRUCCIÓN. Tesis de Grado, Universidad del Atlántico. 1975.

8.6 PRODUCCIÓN DE CALOR

El carbón se quema generalmente en rejillas planas o inclinadas que se distribuyen alrededor de las paredes del secadero un número considerable de hogares a fin de uniformizar lo más posible el flujo calorífico.

Muchos de los hornos que funcionan con carbón desperdician una gran cantidad de calor como resultado de la radiación en los puntos abiertos al fuego y por los gases que no son empujados hacia la cámara por el tiro de la chimenea. Estas condiciones son mejoradas por medio de puertas de cierre hermético y chimeneas de tiro forzado.

8.7 RENDIMIENTO

El rendimiento de un horno se define normalmente como la razón entre la cantidad de calor necesaria para llevar a las piezas a una temperatura máxima y la cantidad de calor suministrada por el combustible.

9. CALCULO CONSUMO DE COMBUSTIBLE

9.1 CARACTERISTICAS DE DESECACION DEL LADRILLO.

Contenido Inicial de Humedad= 13-19%

Contenido Final de Humedad= 6-8%

Capacidad del proceso= 5.000 ladrillos/cámara

Temperatura Inicial (th)= 28°C

Temperatura Final (ts)= 110°C

Calor específico= $0,22 \frac{Kcal}{Kg \text{ } ^\circ C}$

Densidad= 1700 Kg/m³

9.1.1 Tiempo de Secado. Experimentalmente se ha determinado el tiempo requerido para secar el producto, tomando una muestra característica y sometiéndola a condiciones de similares secado en una mufla, donde se controla la temperatura y en un tiempo predeterminado se realizan las medidas de contenido de humedad. Obteniéndose los resultados que se muestran en la Figura 11.

Se puede concluir que el tiempo de secado necesario para cumplir con las etapas de secado es de 20 horas.

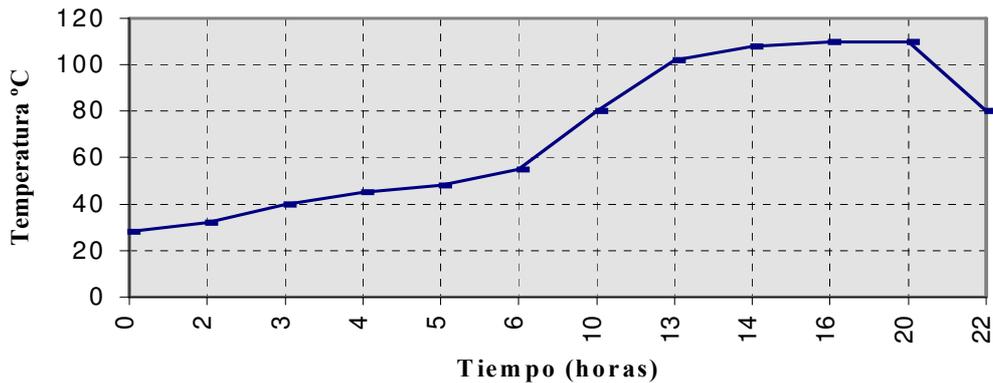


Figura 11. Tiempo de Secado.

9.1.2 Cantidad de Aire requerida para el secado. Según datos prácticos, el número de metros cúbicos de aire, a distintas temperaturas, para evaporar 4000 Kg de agua que contienen, aproximadamente, 5000 ladrillos puede establecerse de este modo.

Tabla 6. Metros cúbicos de aire necesarios para absorber, saturándose a distintas temperaturas, 4000 Kg de agua contenidos en 5000 ladrillos.

Temperatura °C	m ³ de aire
10	916280
20	304760
30	153305
40	84730
50	50450
60	31520
70	20585
80	13755

9.2 CALCULO CANTIDAD DE COMBUSTIBLE

Calor de desecación Q_1 . Este calor, necesario para calentar y convertir en vapor la humedad que se trata de eliminar es:

$$Q_1 = m [c \cdot (ts - th) + L]$$

Calor perdido para calentar los ladrillos Q_2 . Esta pérdida tiene tanta más importancia cuanto menos es la reducción de humedad a obtener, vale:

$$Q_2 = Gs(Cs + Xs Cv)(ts - th)$$

Calor perdido al calentar el aire Q_3 . Su valor es:

$$Q_3 = m_{aire} \cdot c_{aire} \cdot (ts - th)$$

Consumo Total de Calor = $Qt = Q_1 + Q_2 + Q_3$

Donde :

Gs. Peso de los ladrillos secos que se obtienen por hora (Kg/h).

$$Gs = \frac{\text{volumen} \times \text{peso específico}}{\text{horas}} = \frac{160m^3 \times 1700 \frac{Kg}{m^3}}{20h} = 13600 \frac{Kg}{h}$$

$$m: \text{masa de agua a evaporar. } m = \frac{4000Kg}{20h} = 200 \frac{Kg}{h}$$

L = Calor Latente del aire = 540 Kcal/kg

Xs: Grado de humedad de los ladrillos secos = 0.07

Reemplazando se obtiene:

$$Q_1 = 200 \frac{\text{Kg}}{h} \left[\frac{1 \text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ \text{C}} (110^\circ \text{C} - 28^\circ \text{C}) + 540 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right] = 124400 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

$$Q_2 = 13600 \frac{\text{Kg}}{h} \left(0,22 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ \text{C}} + 0,07 \times \frac{1 \text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ \text{C}} \right) (110^\circ \text{C} - 28^\circ \text{C}) = 323408 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

$$Q_3 = 2750 \frac{\text{Kg}}{h} \times 0,24 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ \text{C}} (110^\circ \text{C} - 28^\circ \text{C}) = 54120 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 501928 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

Agregando 20% por concepto de pérdidas de calor al ambiente , se tiene:

$$Q_t = 602313,2 \frac{\text{Kcal}}{h} \times 9h = 5420818,8 \text{Kcal}$$

Potencia calorífica inferior del carbón = 6737,2 Kcal/Kg

$$\text{Cantidad de carbon} = \frac{5420818,8 \text{Kcal}}{6737,2 \text{Kcal/Kg}} = 804 \text{Kg} \cong 0,8 \text{Ton}$$

Por razones de tipo ambiental se está reemplazando la utilización del carbón quemado directamente por la instalación de inyectores que gasifican el carbón pulverizado, consiguiéndose una mezcla más homogénea de aire-combustible que permite obtener una combustión completa con el mínimo de expulsión de gases contaminantes a la atmósfera

En un futuro muy cercano se prevé la instalación de Gas Natural en la población de Bayunca y para cumplir las Normas Ambientales existentes se debe sustituir el sistema

aquí diseñado de forma temporal para aprovechar y trabajar con los recursos que se cuentan actualmente.

La cantidad de Gas Natural requerida es la siguiente:

Potencia Calorífica Inferior del Gas Natural = 9000 Kcal/m³

$$\text{Cantidad de Gas Natural} = \frac{602313,2 \text{ Kcal/h}}{9000 \text{ Kcal/m}^3} = 66,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para el Sistema que utiliza Gas Natural⁴ como combustible es necesario calcular y seleccionar nuevos equipos para su funcionamiento como: Selección del Quemador, Tuberías, Válvulas y Controles.

9.3 DISEÑO SISTEMA DE ALIMENTACION AUTOMATICA CARBON

La regularidad de alimentación permite un secado uniforme en el producto. La mayoría de imperfecciones son a causa de marchas defectuosas del horno. Pero desde hace mucho tiempo se han venido implantando aparatos de alimentación automática y de accionamiento por aire comprimido. El éxito de estos estriba en la regularidad de alimentación respecto a la alimentación a mano.

⁴ FIGUEROA, Elkin. MARTINEZ, Jairo L. Diseño de un Horno para la Cocción de Ladrillos Cerámicos utilizando Gas Natural como combustible. Tesis de Grado, Cartagena CUTB. 2000.

Cantidad de carbón = 0,8 Ton

Capacidad = 90 Kg/h

Velocidad de Alimentación⁵ = 19-50 rpm

El sistema de alimentación está compuesto de un cilindro en el que se encuentra contenido en carbón, dos aspas cuya función es la de uniformizar el tamaño del carbón para lograr una buena relación aire-combustible. La potencia y la relación de transmisión se hará por medio de un Motorreductor.

9.3.1 Cálculo Dimensiones del Cilindro. Con la densidad del carbón (864.54 Kg/m³) y la masa a contener que es de 800 Kg y reemplazando en la ecuación $\rho = m/V$ se obtiene un volumen $V = 0,925 \text{ m}^3$. Iterando varios valores en la ecuación de $V = \pi r^2 L$ se escogen las siguientes dimensiones:

$$D = 2r = 1\text{m} \quad \text{y} \quad L = 1,5\text{m}$$

9.3.2 Cálculo de potencia requerida.

Cálculo de potencia para vencer la Inercia.

$$P = \tau \cdot \omega \quad \tau = I \cdot \alpha \quad \alpha = \frac{\omega}{t} \quad I = \frac{mD^2}{8} \quad m = \frac{\pi D^2 L \rho}{4g}$$

P: Potencia, Watt.

ω : Velocidad angular de la masa = 50 rpm = 5,24 rad/s

τ : Torque máximo aplicado, N-m.

⁵ WARREN, McCabe. Operaciones Básicas de Ingeniería Química. Barcelona, Reverté 1968. P. 554.

α : Aceleración angular. rad/s^2 .

t: Tiempo de sincronismo (2 a 4 segundos).

I: Inercia de la masa giratoria

g: Aceleración de la gravedad, 9.81 m/s^2 .

Para la masa de la carga, reemplazando se obtiene:

$$m = \frac{\pi \times 1\text{m}^2 \times 864,54 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{4 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1018,5 \text{Kg}$$

$$I = \frac{1018,5 \text{Kg} \times 1\text{m}^2}{8} = 127,31 \text{Kg} \cdot \text{m}^2 \quad \alpha = \frac{50 \text{rev}/\text{min}}{2\text{s}} \times \frac{2\pi \text{rad}}{\text{rev}} \times \frac{\text{min}}{60\text{s}} = 2,62 \text{rad}/\text{s}^2$$

$$\tau = 127,31 \text{Kg} \cdot \text{m}^2 \times 2,62 \text{rad}/\text{s}^2 = 333,55 \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\text{Pr } eq = 333,55 \text{N} \cdot \text{m} \times 5,24 \text{rad}/\text{s} = 1748 \text{Watt} = 2,33 \text{Hp}$$

Para la masa del cilindro en Fundición de Acero ($\rho = 70,6 \text{ N/m}^3$):

$$m = \frac{\pi(De^2 - Di^2) \times L \times \rho}{4g} = \frac{\pi(1^2 - 0,96^2) \times 1 \times 70,6}{4 \times 9,81} = 0,44 \text{Kg} \Leftarrow \text{muy pequeño}$$

$\eta = \eta_1 \times \eta_2 \quad \Rightarrow \quad \eta_1$: Eficiencia del reductor = 0,96 y η_2 : Eficiencia

transmisión por correas = 0,95 $\Rightarrow \quad \eta = 0,912$

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Pr } eq}{\eta} = \frac{2,33}{0,912} = 2,55$$

Con esta potencia requerida se procede a seleccionar un motorreductor que posea una velocidad de salida de 50 rpm. Se escoge un motorreductor con designación es **ASSI 100L-4/BG247** y cuyas características y medidas aparecen en el Anexo 16.

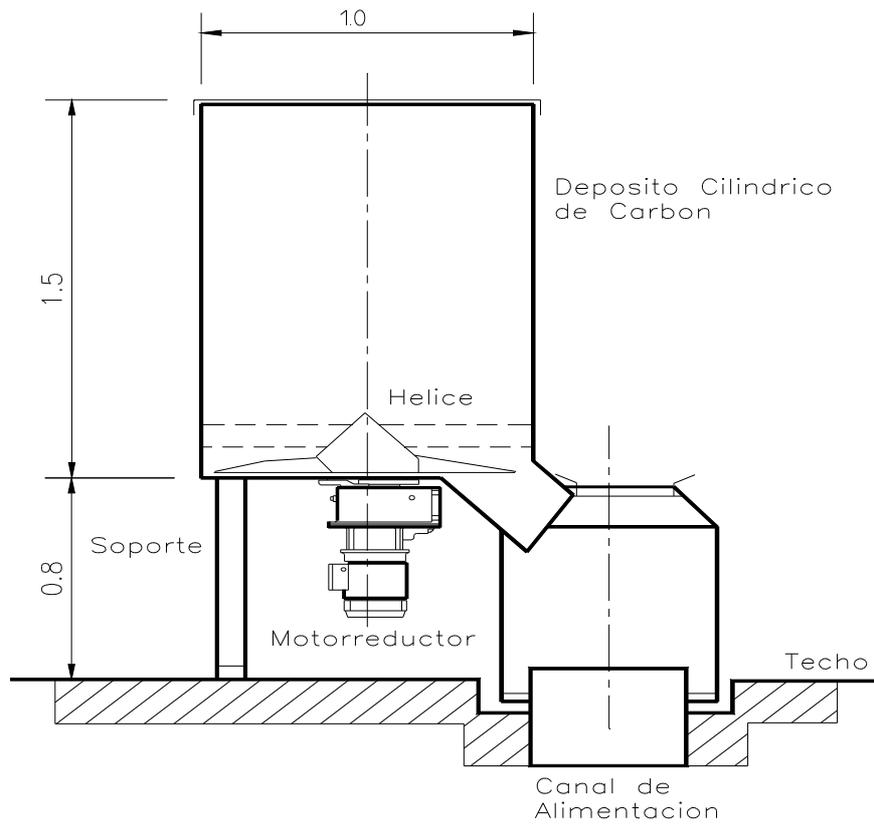


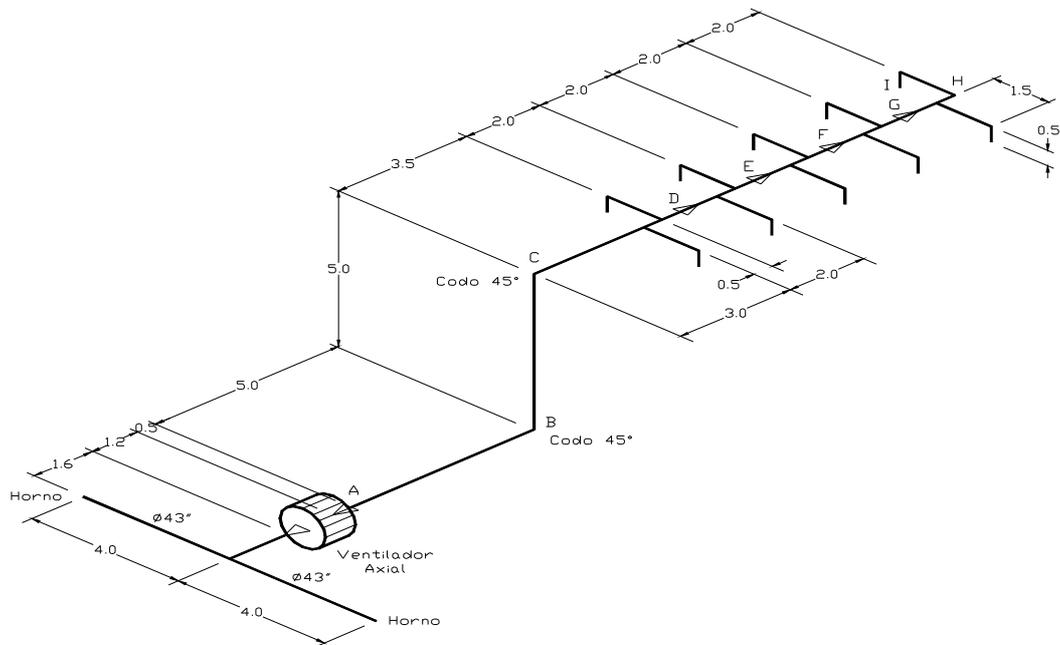
Figura 12. Alimentador Automático.

10. MOVIMIENTO DE GASES EN EL SECADERO

10.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE DUCTOS

La distribución uniforme del aire de secado dentro de la cámara del secadero se logra mediante el diseño de un sistema de ductos y se muestra en el siguiente esquema.

Por las características especiales de altas temperaturas y un alto caudal se escogen ductos de sección circular, en el **Ductulador Trane** se obtienen las dimensiones de los ductos que se detallan en el esquema.



Tramos:

A-D: ϕ 56". 53000 cfm.

D-E: ϕ 51". 42000 cfm.

E-F: ϕ 46". 31800 cfm.

F-G: ϕ 39". 21200 cfm.

G-H: ϕ 30". 10600 cfm.

H-I: ϕ 23". 5300 cfm.

10. 2 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para su cálculo se emplean las siguientes propiedades y formulas:

Flujo de Aire Q: 53000 cfm

Velocidad en los conductos c: 4 m/seg

El cálculo de las pérdidas a vencer por el ventilador se realiza por medio de la ecuación:

$$Hr = \left[\lambda \left(\sum \frac{Li}{di} \right) + K_{Accesorios} \right] \frac{c^2}{2g} (m)$$

donde:

λ : Coeficiente de fricción. Para Lámina de Acero Galvanizada es de 0,18.

L: Longitud del tramo de ducto.

d: Diámetro del ducto correspondiente.

K: Coeficientes de fricción.(Anexo 17)

Para el codo de 90° R=2,5D, Kcodo=0,22 (tomado de Industrial Ventilation figura 6-12)

Para las contracciones Kcont=0,08 (Industrial Ventilation Figura 6-6. $\theta=15^\circ$)

Para La expansión del ventilador al ducto de 56" se tiene $D_2/D_1=2.5$, Kramas=0,43 (Industrial Ventilation Figura 6-6)

Presión total: $\Delta P_{tot} = Hr \cdot \rho_{aire} \cdot g \text{ [Pa]}$

Por tenerse condiciones de temperatura de 110°C y una temperatura normal de 760 Torr se calcula la densidad:

$$\rho = \frac{p}{286,9 \cdot T} = \frac{0,76 \times 13600 \times 9,81}{286,9 \times 383} = 0,923 \text{ Kg/m}^3$$

La presión total del ventilador será la necesaria para vencer las pérdidas por el conducto en que estas sean máximas; por el conducto A-I.

$$Hr_{A-I} = \left[\lambda \left(\frac{L_{a-d}}{d_{A-D}} + \frac{L_{D-E}}{d_{D-E}} + \frac{L_{E-F}}{d_{E-F}} + \frac{L_{F-G}}{d_{F-G}} + \frac{L_{G-H}}{d_{G-H}} + \frac{L_{H-I}}{d_{H-I}} \right) + 2K_{codo} + 10K_{cont} + K_{exp} \right] \frac{c^2}{2g}$$

Reemplazando:

$$Hr_{A-I} = \left[0,18 \left(\frac{13}{1,4224} + \frac{1,5}{1,2954} + \frac{1,5}{1,1684} + \frac{1,5}{0,9906} + \frac{1,5}{0,762} + \frac{2,5}{0,5842} \right) + 2 \times 0,22 + 10 \times 0,08 + 0,43 \right] \frac{4^2}{2 \times 9,81}$$
$$Hr_{A-H} = 4,0218m$$

Con lo que se obtiene:

$$\Delta P_{tot} = 4,0218m \times 0,923 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{seg^2} = 36,416Pa \times \frac{1in H_2O}{24,916Pa} = 1,461 inH_2O$$

Con caudal de 53000 cfm y presión estática de 1 1/2" se selecciona un Ventilador Tubeaxial de la **Chicago** y cuya descripción es **DCT 48 12EJ 25 1160** (Direct Connected Tubeaxial , tamaño del ventilador 48, con 12 hélices ajustables para diferentes caudales, con 25 HP y 1160 rpm.

10.3 CHIMENEA

10.3.1 Tiro. Para quemar un combustible con cierta intensidad o consumo se necesita suministrar un peso definido de aire para la combustión. El aire pasa bajo la parrilla y por la capa de combustible y encuentra en su recorrido una resistencia considerable no solamente en el lecho de combustible, sino también en el conducto de humos. Lo que hace que se establezca el tiro de aire en una instalación de aire natural es la chimenea. La diferencia entre la presión atmosférica y la presión existente en un punto cualquiera del secadero o del conducto se llama tiro en dicho punto. Esta presión se mide ordinariamente por medio de tubos en U llenos de agua y se expresa en mmH₂O, y mide la diferencia de altura de las columnas de agua en las dos ramas de la U.

10.3.2 Producción del Tiro en el Hogar.

Consumo del Tiro. Se compone de las resistencias al tiro debidas al rozamiento de los humos en los conductos, a los cambios de dirección, a los cambios de velocidad y a la circulación de los gases de arriba abajo de su tendencia ascencional. El consumo del tiro depende de factores como la forma y la longitud de los conductos, tipo de hogar y combustible, velocidad y temperatura de los humos.

Según las características del procedimiento de combustión, la cantidad de carbón a quemar y los requerimientos de aire para la combustión completa; se obtienen las siguientes dimensiones.

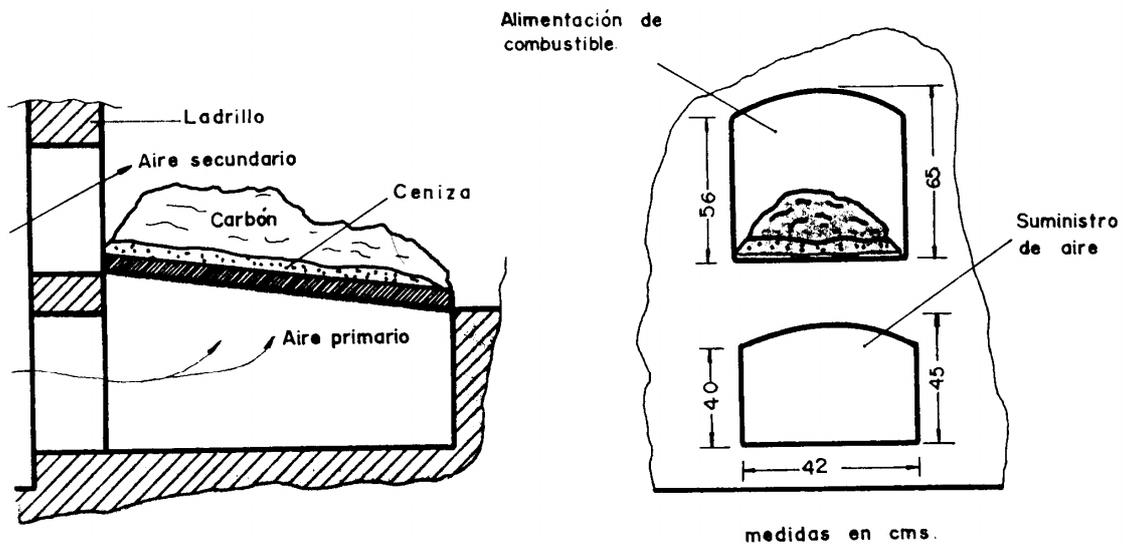


Figura 13. Dimensiones del Hogar.

10.3.3 Producción del Tiro en la Chimenea. Se produce por la diferencia de peso de la columna gaseosa de la chimenea y de otra columna exterior de aire de las mismas dimensiones de aquella. El tiro referido a 760 mmH₂O en el pie de la chimenea es:

$$Z = 273H \left(\frac{\gamma_{ol}}{273 + t_l} - \frac{\gamma_{og}}{273 + t_{gm}} \right) mmH_2O = 273 \times 15 \left(\frac{1,234}{273 + 28} - \frac{1,27}{273 + 175} \right) = 5,18$$

Siendo:

H: Altura de la chimenea (Mínima de 15m según MINSALUD).

γ_{ol} : Peso específico del aire exterior, $\frac{1,234Kg}{m^3N}$

γ_{og} : Peso específico del aire (que contiene vapor de agua), $\frac{1,27Kg}{m^3N}$

t_l : Temperatura del aire exterior, 28°C.

t_{gm} : Temperatura media de los humos de chimenea, 175°C.

Intensidad Útil de Tiro $Z_n = Z - \text{Pérdidas de tiro en la Chimenea} = Z - Z_b - Z_r$

donde Z_b : Pérdida de Tiro debida a la magnitud de la velocidad de los gases y se calcula:

$$Z_b = \frac{273}{273 + t_{gm}} \cdot \gamma_{og} \cdot \frac{C_{gm}^2}{2g} mmH_2O = \frac{273}{273 + 175} \times 1,27 \times \frac{4^2}{2 \times 9,81} = 0,63 mmH_2O$$

C_{gm} : Velocidad media de los gases en la chimenea, 4 m/s.

Z_r : Pérdida de Tiro dedida al rozamiento de los humos de la chimenea y es:

$$Z_r = \frac{273}{273 + t_{gm}} \cdot \gamma_{og} \cdot \frac{C_{gm}^2}{2g} \cdot H \cdot Dh \cdot \rho mmH_2O = \frac{273}{273 + 175} \times 1,27 \times \frac{4^2}{2 \times 9,81} \times 15 \times Dh \times 0,07$$

$$Z_r = 0,6626 Dh$$

Dh : Diámetro hidráulico, $Dh = \frac{4A}{B}$, A= Area sección media en m^2 y B= Perímetro de la

sección media en m.

ρ : Coeficiente de rozamiento que vale aproximadamente 0,07.

En cálculos aproximados puede admitirse como suficiente exacto el valor de :

$$Z_n = 0,4 \text{ H mmH}_2\text{O} \quad \text{tgm} = 175\text{-}200^\circ\text{C}$$

$$Z_n = 0,4 \times 15 = 6 \quad \text{reemplazando} \quad 6 = 5,18 - 0,63 - 0,6626 Dh \quad \Rightarrow Dh = 1,33m$$

11. MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE SECADO

Para el correcto funcionamiento del sistema de secado se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Colocar los ladrillos en la cámara de secado como indica la Figura 13 de tal forma que se produzca el tiro requerido, creando el mínimo de resistencia al paso del aire de secado.

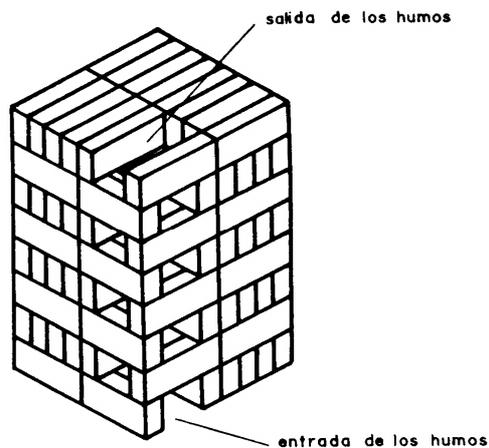


Figura 14. Colocación de ladrillos en la Cámara de Secado.

Dejar una separación entre las pilas de ladrillo mínima de 60 cm para una mejor circulación del aire y manipulación en el momento de desendague.

Colocar las muestras testigos en puntos que permitan ser extraídas con facilidad, ya que estas serán las que mostrarán el avance del proceso de secado.

Verificar que la puerta de salida de la cámara esté cerrada.

Revisar los equipos de medición de temperatura y presión.

Encender el motor del ventilador.

Una vez iniciada la etapa de secado del ladrillo se irán extrayendo las muestras, se le medirá el contenido de humedad y se anotarán los datos en los respectivos formatos (Anexo 5). Además se anotarán a parte los datos de presión y temperatura registrados en el secadero.

Al cumplirse el cocido se procederá a apagar el motor del ventilador y cerrar los dampers de paso de los ductos provenientes de los hornos. Luego se procederá a encender el Sistema Alternativo de Combustión para completar el tiempo de secado, poniendo en marcha el Alimentador Automático de Carbón.

Después de completar el secado se dejan enfriar los productos dentro de la cámara. Durante las primeras 8 horas el enfriamiento ha de ser natural y de forma lenta, para evitar el agrietamiento de los mismos, pero cumplido este tiempo se puede proceder a acelerar

esta etapa utilizando el mismo ventilador que ya no está enviando los gases de chimenea provenientes de los hornos, y que puede hacer circular el aire ambiente.

12. MANTENIMIENTO

El mantenimiento de equipos y construcciones permite su conservación y preservación disminuyendo los costos adicionales que se presentan por paradas imprevistas a causa de fallas repentinas o por la falta o negligencia de parte del personal encargado. Con el mantenimiento también se consigue condiciones seguras de trabajo.

12.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

12.1.1 Mantenimiento Correctivo. Corrige las fallas que se presenten en un determinado momento.

12.1.2 Mantenimiento Periódico. Es aquel que se realiza después de un período de tiempo, entre 6 y 12 meses.

12.1.3 Mantenimiento Programado. Se basa en la suposición que todas las piezas se desgantan siempre en la misma forma. Realiza un estudio de los equipos y con la ayuda de

datos estadísticos e información del fabricante, las partes que se deben cambiar así como el período de los cambios.

12.1.4 Mantenimiento Preventivo. Es el que hace mediante un programa de actividades, revisión y lubricación, previamente establecido, con el fin de anticiparse a las fallas.

12.1.5 Mantenimiento Predictivo. Es el que permite con aparatos sofisticados realizar lecturas y mediciones en equipos en funcionamiento, que no pueden ser apagados pues son fundamentales en la producción.

12.1.6 Mantenimiento Bajo Condiciones. Consiste en adecuar un sistema determinado de mantenimiento a las condiciones de operación.

12.2 ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

Planeación. En la planeación se analiza los recursos humanos y técnicos disponibles y las limitaciones en las diversas áreas.

Organización. Define una estructura por funciones que crea una división por autoridad y permite evitar el cruce de obligaciones.

Ejecución. Ejecuta planeado y organizado

Control. Comprueba que lo planeado y organizado se ejecuta como está estipulado. Se pueden controlar condiciones como : tiempo, calidad, o características específicas.

12.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS.

El mantenimiento de los equipos se realizará por el sistema LEM en el se llevan a cabo en esencia tres actividades:

L: Lubricación. Por ser las más frecuentes es necesario codificar y estandarizar los lubricantes y su manejo.

E: Eléctricas y Electrónicas. Son pocas debido a que estos elementos no presentan desgaste por fricción.

M: Mecánicas. Estos elementos sufren desgaste por fricción.

En los Anexos se dictan las diferentes actividades a seguir para el mantenimiento por Sistema LEM del Ventilador, Motorreductor.

13. EVALUACION IMPACTO AMBIENTAL

13.1 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Este capítulo indica las tecnologías que pueden usarse para reducir las emisiones de contaminantes al ambiente sin entrar a cuantificar su costo. Además se incluye un resumen de las leyes y normas vigentes en Colombia sobre el Medio Ambiente.

13.2 SISTEMA ENERGETICO Y MEDIO AMBIENTE

La producción y el consumo de energía generan residuos ambientales. El manejo de estos mediante tecnologías adecuadas permiten reducir los impactos de contaminación.

13.3 CONTAMINANTES Y SUS CONTROLES POR LEGISLACION

13.3.1 Características y efectos de algunos de los principales contaminantes del aire y del agua. La contaminación del ambiente se puede definir en términos generales como la presencia en la atmósfera, el agua o el suelo de una o más substancias contaminantes, las

cuales, debido a su concentración, características y su persistencia; se vuelven destructivas o potencialmente perniciosas para el organismo humano, plantas, animales y bienes.

Los contaminantes pueden provenir de varias fuentes, de las cuales las de mayor interés en su contexto son actividades de extracción y producción de energías primarias, de la conversión de energía y del consumo energético. Los principales contaminantes del aire se presentan en el Cuadro 3, donde se presenta un resumen de sus características y efectos.

Cuadro 3. Características y efectos de los principales contaminantes del aire.

CONTAMINANTES	CARACTERISTICAS	EFECTOS PRINCIPALES
Total de partículas en suspensión (TPS).	Partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera, por ejemplo: polvo, cenizas, metales y diversas sustancias químicas. Se clasifican por lo general según su tamaño en partículas decantables (de más de 50 micrones), aerosoles (de menos de 50 micrones) y partículas finas (menos de 3 micrones).	<p>Salud. Efectos directamente tóxicos o agudización de efectos contaminantes gaseosos; empeoramiento del asma u otros síntomas de enfermedades respiratorias o cardiorrespiratorias; aumento de la mortalidad.</p> <p>Otros. Ensuciamiento y deterioro de materiales de construcción y otras superficies, reducción de la visibilidad, formación de nubes, interferencia con la fotosíntesis.</p>
Dióxido de Azufre (SO ₂)	Causado por la combustión de combustibles fósiles que contiene azufre. Es un gas incoloro y acre. El SO ₂ puede oxidarse para formar trióxido de azufre (SO ₃) que mezclado con agua se convierte en ácido sulfúrico.	<p>Salud. Agravamiento de enfermedades respiratorias (asma, bronquitis crónica, enfisema); reducción de la función pulmonar, irritación de los ojos, aumento de la mortalidad.</p> <p>Otros. Formación de la lluvia ácida, daño al follaje y reducción del crecimiento de la vegetación; corrosión de metales y deterioro de contactos eléctricos.</p>

Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Gas acre de color castaño rojizo, que suele formarse a partir de la oxidación de óxido nítrico (NO). Su fuente principal son los escapes de vehículos automotores y la combustión estacionaria a altas temperaturas.	Salud. Agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares y de la nefritis crónica. Otros. Decoloración de pinturas y tinturas, reducción de la visibilidad. En la vegetación, disminución del crecimiento y desfoliación.
Monóxido de Carbono (CO)	Gas incoloro e inodoro con una fuerte afinidad química con la hemoglobina de la sangre.	Salud. Menos tolerancia al ejercicio físico, reducción de la capacidad mental; trastornos en el desarrollo fetal, agravamiento de enfermedades cardiovasculares.
Hidrocarburos (HC)	Compuesto orgánico gas o sólidos, por ejemplo; el metano, el etileno y el acetileno. Resulta de la combustión incompleta de combustibles.	Salud. Se sospecha que son cancerígenos. Otros. Principales precursores en la formación de oxidantes fotoquímicos por medio de reacción atmosférica.

FUENTE: Consideraciones Ambientales para el Sector de Desarrollo Industrial. Banco Mundial.1978.

13.3.2 Legislación existente e instituciones involucradas. La legislación colombiana referente a la protección del medio ambiente se compone de normas jurídicas que obligan a las firmas particulares como a las entidades oficiales a tomar las medidas necesarias para mitigar el efecto de todas las actividades energéticas que produzcan impactos ambientales. Las leyes y decretos existentes son los siguientes: Ley 23 de 1973, Decreto 2811 de 1974, Decreto 1541 de 1978, Ley 09 de 1979 y Decreto 02 de 1982 que se refiere al control de la contaminación del aire.

El control de la contaminación ambiental y la preservación de los recursos naturales renovables, lo ejercen en el país las siguientes entidades gubernamentales:

El Ministerio de Salud.

El Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables y del Ambiente. INDERENA.

Aunque existen otras entidades gubernamentales que manejan, en una u otra forma, determinados recursos naturales, tales como el HIMAT, INGEOMINAS, IGAC, etc., sólo las entidades mencionadas anteriormente son las que ejercen como función el control de la contaminación y preservación de los recursos naturales.

El Ministerio de Salud a través del Sistema Nacional de Salud, ejerce el control de la contaminación del ambiente, a fin de preservar la salud y bienestar de la comunidad. Para ello puede definir normas y parámetros de calidad, normas de emisión y vertimiento de contaminantes, a fin de garantizar la calidad deseable del aire y del agua, y procedimientos de control y vigilancia para velar por el cumplimiento de las normas (Ley 09 de 1979 y Decreto 2811 de 1975).

13.3.3 Monitoria. Con el fin de poner en ejecución las normas sobre contaminación es preciso cuantificar los impactos ambientales e todos los niveles del sistema energético. La medición de los parámetros tiene lugar

- a. en los efluentes, y
- b. en el medio ambiente mismo.

13.3.4 Controles de Emisión. El Cuadro 4 dicta algunas recomendaciones para disminuir la emisión de contaminantes.

Cuadro 4. Algunos Controles de Emisiones.

CONTAMINATES	TECNOLOGIAS
TPS	Procedimiento más estricto de control de los procesos. Depuración de los gases de combustión con ciclones “scrubbers” o precipitadores electrostáticos.
SO ₂	Utilización de combustibles con bajo contenido de azufre. Eliminación del azufre de los combustibles antes de su utilización. Purificación de los gases de combustión mediante conversión catalítica.
CO	Mejora del diseño, el funcionamiento y el mantenimiento de hornos estacionarios. Modificaciones de los motores de automóviles. Control de los gases de escape de los automóviles por medio de dispositivos catalíticos o térmicos
NO _x	Control de los gases de escape de los auromóviles. Modificación de los motores de los automóviles para reducir la temperatura de combustión.
HC	Mejora del diseño, el funcionamiento y el mantenimiento de hornos estacionarios. Modificaciones de los motores de automóviles. Mejora de los procedimientos de control en la elaboración y la manipulación de compuesto del petróleo.

14. PROGRAMA DE SECADO

Para el correcto procedimiento de fabricación de los productos se recomienda seguir el siguiente programa de producción, en el cual se encuentra incluido el programa de secado.

Cuadro 5. Programa de producción semanal.

PROGRAMA DE PRODUCCION					
DIA	PROCESO				
	EXTRACCION	MOLDEO	SECADO	COCCION	
				HORNO 1	HORNO 2
LUNES					
MARTES			E/D	E/D	
MIERCOLES					
JUEVES			E/D	E	D
VIERNES					
SABADO			E/D		E

E: Endague.

D: Desendague

15 ANALISIS DE RESULTADOS

15.1 ANALISIS COMPARATIVO

Con la Programación de Secado estipulada se obtiene una producción semanal de 30.000 ladrillos. Para lograr esta misma producción utilizando el Secado Natural, contando con un buen estado del tiempo; se necesitan 2 meses aproximadamente puesto que la capacidad de los patios es de 2000 ladrillos que demoran en secarse entre 5 y 8 días.

Por esta razón, en la actualidad La Ladrillera para aceptar un pedido relativamente grande debe estudiar con meses de anterioridad la posibilidad de ser entregado a tiempo y muchas veces por condiciones climáticas adversas se llega hasta al incumplimiento del contrato.

Instalando el Secadero Artesanal la Ladrillera la Victoria puede asumir contratos de mayor cobertura, garantizando su cumplimiento; aumentando así sus ganancias y prestigio.

Experimentalmente se determinó que el Tiempo de Secado requerido es de 20 horas pero los Hornos trabajan sólo 11 horas. Para completar el tiempo de secado se queman 0,8 Ton de

carbón (Sistema Provisional) durante las 9 horas faltantes, equivalentes a 602 m³ de Gas Natural.

15.2 CALCULO DEL TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSION

El tiempo requerido para recuperar la inversión de \$83'992.563,97 que cuesta la construcción del Secadero Artificial (Anexo 24), se calcula aplicando los conceptos de Ingeniería Económica, teniendo como tasa de interés el 2,1% efectivo mensual, como ingresos por concepto de ventas de la nueva capacidad de producción mensual \$31'200.000 y como gastos de administración, producción y ventas \$12'000.000.

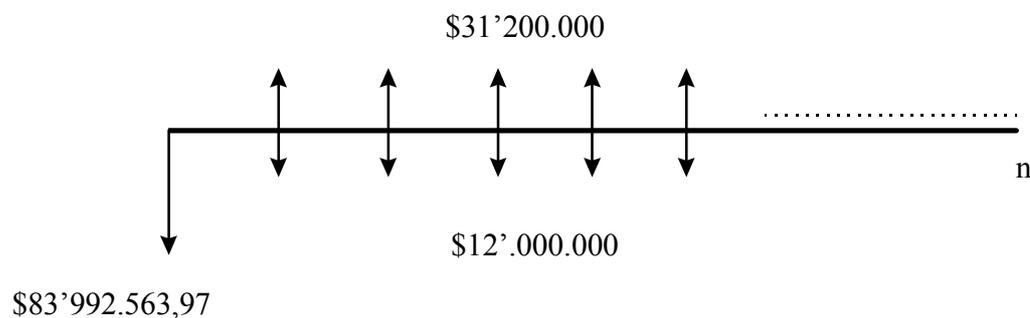


Figura 15. Distribución para el cálculo del tiempo de retorno de la inversión.

$$\frac{A[(1+i)^n - 1]}{i} = P(1+i)^n + \frac{F[(1+i)^n - 1]}{i}$$

donde:

A: Valor Anual.

F: Valor Futuro.

P: Valor Presente.

i: Interés Mensual.

n: Número de meses

Reemplazando se obtiene:

$$\frac{31'200.000[(1 + 0,021)^n - 1]}{0,021} = 83'992.563,97 (1 + 0,021)^n + \frac{12'000.000[(1 + 0,021)^n - 1]}{0,021}$$

$$19'200.000 \times 1,021^n - 19'200.000 = 1'763.843,84 \times 1,021^n$$

$$1,021^n = \frac{19'200.000}{17'436.156,16} = 1,101$$

Aplicando Logaritmo Natural a ambos lados se obtiene:

$$n \ln 1,021 = \ln 1,101 \quad \Rightarrow n = 4,63 \cong 5 \text{ meses}$$

Con este resultado se concluye que es viable la posibilidad de asumir la Ladrillera La Victoria la Construcción del Sistema de Secado Artificial.

16. RECOMENDACIONES

Para obtener el máximo rendimiento del Sistema de Secado y lograr todas las metas propuestas de producción y calidad se deben seguir las siguientes recomendaciones:

Instalar un cuarto de control de secado, lo más cerca posible al secadero, equipado con un procesador de datos, mesa de trabajo, mufla, balanza, herramientas manuales para fabricar las muestras o probetas, documentación organizada y accesible tal como: formatos de control de secado, programa de secado, tablas de depresión sicrométrica, diagrama del aire húmedo y un archivo para la información procesada en la toma de datos experimentales de las muestras testigos.

Ejecutar cada uno de los pasos estipulados para la operación y el control del secadero, así se obtendrá el máximo rendimiento siguiendo las normas de seguridad.

Para la operación del Secadero se debe contar con personal especializado como: electricistas, mecánicos, supervisor y trabajadores que inspeccionen periódicamente las paredes de refractarios; además de personal encargado de las lecturas de temperatura y

presión y de procesamiento de datos en las cartas sicrométricas y diligenciamiento de los formatos de mantenimiento.

Al momento de implementarse en esta zona el suministro de Gas Natural, reemplazar el Sistema Automático de Carbón por el quemado de este combustible para cumplir con las Normas Ambientales dispuestas por las Instituciones Gubernamentales.

Capacitar al personal en las diferentes funciones que a cada uno le corresponde en el proceso de fabricación y hacerles entender la importancia de seguir las normas de seguridad recomendadas en este proyecto y el de optimización. **“QUE NO SEAN ESTOS PROYECTOS LETRA MUERTA”**.

Para la construcción del Secadero seguir cada una de las pautas aquí determinadas, las cuales están basadas en un estudio arduo de Ingeniería y en los muchos años de experiencia de personal especializado por medio de la práctica en este tema.

En cuanto al almacenamiento de los productos terminados se debe realizar en bodegas donde no deben estar expuesto el ladrillo a las inclemencias del clima y que permita realizar una rápida salida del producto al proceso de venta.

17. CONCLUSIONES

La Naturaleza posee todos los recursos para satisfacer las necesidades del hombre, pero este debe saber utilizarlos. Es tarea del hombre la sabia administración de esta potencialidad de esencias.

El diseño es una práctica de conservación de energía, para disminuir el consumo de combustible y de servicios industriales.

La Ingeniería Básica de Proceso es de vital importancia en la ejecución de proyectos y comprende una serie de etapas que han desarrollado en este proyecto de la siguiente manera:

1. DISEÑO DE SISTEMAS: Balance de energía, materiales y diagrama de flujo de procesos.

2. DISEÑO DE PROCESOS: Diagrama de Instrumentos y tuberías.

3. DISEÑO DE LA INSTRUMENTACION: Circuitos de control y especificaciones de los instrumentos.

Siguiendo cada una de estas etapas se consigue obtener los resultados propuestos de producción continua y calidad, a un alto rendimiento con bajo costo y seguridad para el personal.

Las ventajas del Secado Natural son su bajo costo de implementación y consumo nulo o muy bajo de energía. Debido a la lentitud del proceso y a las diferencias de temperatura del día y la noche, el secado es uniforme, el ladrillo presenta pocos defectos. Los mayores inconvenientes del secado natural son su dependencia de las variaciones climáticas, su lentitud y el requerir una superficie importante en el patio.

El Secado Artificial aumenta la capacidad de producción superando las desventajas del Secado Natural. La empresa disminuye el tiempo requerido para cumplir con pedidos mayores a los que actualmente realiza.

El Diseñador que desee obtener un Proceso de Fabricación de Ladrillos basado en datos prácticos y empíricos complementados con los principios del Diseño de Ingeniería, puede remitirse a los proyectos afines a este desarrollados en la CUTB (que aparecen en la Bibliografía), consiguiendo la optimización completa de esta producción.

BIBLIOGRAFIA

ARAUJO, Oscar. FERREIRA, Wilfrido. Utilización de las Cenizas del Carbón en la elaboración de ladrillos para construcción. Tesis de Grado, Barranquilla Universidad del Atlántico.1978.

AVGUSTINIK, A.I. Cerámica. Barcelona, Reverté.1983.

BLANCO, Francisco. DAZA, Jairo L. Optimización del Proceso de Producción de la Ladrillera La Victoria. Tesis de Grado, Cartagena CUTB. 1998.

DUBBEL, H. Manual del Constructor de Máquinas. 5ªed. Barcelona, Labor,. 1977.

ERECOS. Catálogo de Ladrillos Refractarios.

FAIRES, Virgil. Diseño de Elementos de Máquinas. 3ªed. Aragón, Montanev y Simón. 1970.

FIGUEROA, Elkin. MARTINEZ, Jairo L. Diseño de un Horno para la Cocción de Ladrillos Cerámicos utilizando Gas Natural como Combustible. Tesis de Grado, Cartagena CUTB. 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Dimensiones modulares de ladrillos cerámicos. Santa Fe de Bogotá, ICONTEC.1974. NTC 451.

MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico. 9ªed. México, McGraw-Hill,. 1995.

MATAIX, Claudio. Mecánica de los Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2ªed. México Harla;. 1982.

MAWHINNEY, M.H. TRINKS, W. Hornos Industriales Vol. I. Balboa, Ediciones URMO S.A. 1976.

MINISTERIO DE SALUD. Emisiones Atmosféricas. Ley 09 de 1979 y Decreto Ley 2811. Decreto Reglamentario No 2 del 11 de Enero de 1982.

MORROW, L.C. Manual de Mantenimiento Industrial. México, Continental.1974.

NORTON, F.H. Refractarios. 4ªed. Barcelona, Blume. 1971.

PLAN DE DESARROLLO DEL MUNICIPIO DE CARTAGENA.1998.

REVERTE, Pedro. La Industria Ladrillera. 3ªed. Buenos Aires, Reverté,. 1968.

TRANE. Air Condintioning Manual. 18 ed. St Paul, McGill/Jensen. 1983.

TREYBAL, Robert E. Operaciones de Transferencia de Masa. 2ªed. México, McGraw-Hill. 1988.

**PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE SECADO ARTIFICIAL
PARA LA PRODUCCION DE LA LADRILLERA LA VICTORIA**

TELEMA MENDOZA NARVAEZ

CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.

2.000



**Corporación
Universitaria
Tecnológica
De Bolívar**

LISTA DE MATERIALES

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D
1	Construcción de Pared Refractario UA20	M ²	112
2	Construcción de Pared Ladrillo común	M ²	112
3	Unidad de Ventilación, blower y motor.	UN	1
4	Instalación de la Unidad de Ventilación.	UN	1
5	Ducto instalado $\phi 23''$	M	20
6	Ducto instalado $\phi 30''$	M	1.5
7	Ducto instalado $\phi 39''$	M	1.5
8	Ducto instalado $\phi 43''$	M	8
9	Ducto instalado $\phi 46''$	M	1.5
10	Ducto instalado $\phi 51''$	M	1.5
11	Ducto instalado $\phi 56''$	M	13
12	Alimentador Automático de Combustible.	UN	2
13	Instalación Eléctrica de Ventildor y Alimentadores.	UN	3

	Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar	ANALISIS DE PRECIOS
---	---	----------------------------

OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción del 2000 De la Ladrillera la Victoria	FECHA: Mayo
DESCRIPCION: Unidad de Ventilación, blower y motor	ITEM: 3
PROYECTISTA: Ing. Telega Mendoza Narváez	UNIDAD: UN

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Ventilador Axial DCT 48 12EJ 25 1160	UN	1	2.000.000	\$2.000.000,00
Filtro de polvo.43"	UN	1	48.000	48.000,00
Lámina galvanizada calibre 16 de 4x 8'	UN	0,35	18.600	6.500,00
Angulo galvanizado de 2x ¼" de 6m de longitud.	UN	0,2	8.500	1.700,00

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCION	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas	Global	0,5	\$500	\$250,00
Transporte	Global	0,5	500	250,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Electricista	130.050	1,8	234.090	0,3	70.227,00
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,3	35113,50
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,3	35113,50

Total Valores Parciales: \$2.197.152,00
A.U.I. 25%: 549.288,00
Total ITEM: \$2.746.440,00

	Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar	ANALISIS DE PRECIOS
---	---	----------------------------

OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción del 2000 de la Ladrillera la Victoria	FECHA: Mayo
DESCRIPCION: Construcción de pared ladrillo Refractario UA20	ITEM: 1
PROYECTISTA: Ing. Telema Mendoza Narváez	UNIDAD: M²

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Ladrillo Refractario UA20 Standart 9x4 ½ x2 ½ “	UN	103	\$3.722	\$383.366,00
Mortero Repel X 35 Kg/gal	UN	1,025	23.086	23.663,15

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCION	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas menores	Global	0,75	2.000	1.500,00
Andamios	Un	0,8	1.500	1.200,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Maestro	130.050	1,8	234.090	0,029	6.788,61
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,029	3.394,30
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,029	3.394,30

Total Valores Parciales: \$423.306,36

A.U.I. 25%: 105.826,59

Total ITEM: \$529.132,95



**Corporación
Universitaria
Tecnológica
de Bolívar**

ANALISIS DE PRECIOS

OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción del 2000 **FECHA: Mayo**

de la Ladrillera la Victoria

DESCRIPCION: Construcción de pared ladrillo Común **ITEM: 2**

PROYECTISTA: Ing. Telema Mendoza Narváez **UNIDAD: M²**

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Ladrillo Común	UN	103	\$120	\$12.360,00
Mortero Repel X 35 Kg/gal	UN	1.025	23.086	23.663,15

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCION	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas menores	Global	0,75	2.000	1.500,00
Andamios	Un	0,8	1.500	1.200,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Maestro	130.050	1,8	234.090	0,029	6.788,61
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,029	3.394,30
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,029	3.394,30

Total Valores Parciales: \$52.300,36

A.U.I. 25%: 13.075,09

Total ITEM: \$65.375,45



**Corporación
Universitaria
Tecnológica
de Bolívar**

ANALISIS DE PRECIOS

**OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción
FECHA: Mayo del 2000
de la Ladrillera la Victoria**

DESCRIPCION: Instalación Eléctrica Ventilador y Alimentadores ITEM: 13

PROYECTISTA: Ing.Telema Mendoza Narváez

UNIDAD: UN

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Tubo conduit de 2"	UN	5	\$8.627	\$43.135,00
Cable 250 AWG	m	45	1.500	67.500,00
Unión Univresal	UN	5	8.000	40.000,00
Totalizador Siemmens 30 amp.	UN	1	12.000	12.000,00
Caja de Totalizador	UN	1	15.000	15.000,00
Soporte de tubería galvanizado	UN	1	3.000	3.000,00
Cable AWG para tierra	m	15	1.200	18.000,00
Arrancador Termomagnético LE3F5012	UN	1	11.000	11.000,00

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCION	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas menores	Global	0,3	\$500	150,00
Pina Voltiamperimetro	Global	0,3	500	150,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Electricista	10.000	1,8	18.000	0,5	\$9.000,00
Ayudante	6.000	1,8	10.800	0,5	5.400,00

Total Valores Parciales: \$185.515,00

A.U.I. 25%: 46.378,75

Total ITEM: \$231.893,75



**Corporación
Universitaria
Tecnológica
de Bolívar**

ANALISIS DE PRECIOS

OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción del 2000 **FECHA: Mayo**

de la Ladrillera la Victoria

DESCRIPCION: Instalación de la Unidad de Ventilación **ITEM: 4**

PROYECTISTA: Ing. Telema Mendoza Narváez **UNIDAD: UN**

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Pernos de Anclaje de ½"	UN	16	\$1.100	\$17.600,00
Chazos de expansión	UN	16	800	12.800,00
Soporte Antivibratorio	UN	1	8.000	8.000,00
Lona Antivibratoria	m	1	5.000	5.000,00

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCION	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas menores	Global	0,5	1.000	500,00
Taladro	UN	0,5	2.400	1.200,00
Broca de Concreto	UN	0,5	900	450,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Técnico	10.000	1,8	18.000	0,5	\$9.000,00
Ayudante	10.000	1,8	18.000	0,5	5.400,00

Total Valores Parciales: \$59.950,00

A.U.I. 25%: 14.987,50

Total ITEM: \$74.937,50



**Corporación
Universitaria
Tecnológica
de Bolívar**

ANALISIS DE PRECIOS

OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción del 2000 **FECHA: Mayo**

de la Ladrillera la Victoria

DESCRIPCION: Ducto Instalado ϕ 30"

ITEM: 6

PROYECTISTA: Ing. Telema Mendoza Narváez

UNIDAD: M

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Lámina de acero galvanizado calibre 20 2x1 m	UN	1,2	\$26.100	\$31.320,00
Lámina Fibra de Vidrio 1.2x2.4m 1" esp	UN	0,8	45.000	36.000,00
Tirante de hierro de 1x ¼ x1/8" 6m	UN	0,6	12.200	7.320,00
Angulo de 1 ½ x 1 ½ x 1/8" 6m	UN	0,8	8.300	6.640,00
Varilla de ½" roscada a 2"	UN	1	7.500	7.500,00
Tuercas de ½"	UN	8	220	1.760,00
Silicona	UN	1	7.800	7.800,00
Soportes en U	UN	1	5.600	5.600,00
Caucho Natural de 1/16" de espesor	UN	1,3	6.200	8.060,00

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas menores	Global	0,5	2.000	1.000,00
Andamios	Un	0,8	350	280,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Ductero	130.050	1,8	234.090	0,05	11.704,50
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25

Total Valores Parciales: \$136.689,00

A.U.I. 25%: 34.172,25

Total ITEM: \$170.861,25



**Corporación
Universitaria
Tecnológica
de Bolívar**

ANÁLISIS DE PRECIOS

OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción del 2000 **FECHA: Mayo**

de la Ladrillera la Victoria

DESCRIPCION: Ducto Instalado ϕ 39"

ITEM: 7

PROYECTISTA: Ing. Telema Mendoza Narváez

UNIDAD: M

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Lámina de acero galvanizado calibre 20 2x1 m	UN	1,5	\$26.100	\$39.150,00
Lámina Fibra de Vidrio 1.2x2.4m 1" esp	UN	1	45.000	45.000,00
Tirante de hierro de 1x ¼ x1/8" 6m	UN	0,7	12.200	8.540,00
Angulo de 1 ½ x 1 ½ x 1/8" 6m	UN	0,9	8.300	7.470,00
Varilla de ½" roscada a 2"	UN	1,2	7.500	9.000,00
Tuercas de ½"	UN	8	220	1.760,00
Silicona	UN	1,2	7.800	9.360,00
Soportes en U	UN	1	5.600	5.600,00
Caucho Natural de 1/16" de espesor	UN	1,5	6.200	9.300,00

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas menores	Global	0,5	2.000	1.000,00
Andamios	Un	0,8	350	280,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Ductero	130.050	1,8	234.090	0,05	11.704,50
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25

Total Valores Parciales: \$159.869,00

A.U.I. 25%: 39.967,25

Total ITEM: \$199.836,25



**Corporación
Universitaria
Tecnológica
de Bolívar**

ANALISIS DE PRECIOS

OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción del 2000 **FECHA: Mayo**

de la Ladrillera la Victoria

DESCRIPCION: Ducto Instalado ϕ 43"

ITEM: 8

PROYECTISTA: Ing. Telema Mendoza Narváez

UNIDAD: M

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Lámina de acero galvanizado calibre 20 2x1 m	UN	1,7	\$26.100	\$44.370,00
Lámina Fibra de Vidrio 1.2x2.4m 1" esp	UN	1,2	45.000	54.000,00
Tirante de hierro de 1x 1/4 x 1/8" 6m	UN	0,8	12.200	9.760,00
Angulo de 1 1/2 x 1 1/2 x 1/8" 6m	UN	0,6	8.300	4.980,00
Varilla de 1/2" roscada a 2"	UN	3,6	7.500	27.000,00
Tuercas de 1/2"	UN	8	220	1.760,00
Silicona	UN	2	7.800	15.600,00
Soportes en U	UN	2	5.600	11.200,00
Caucho Natural de 1/16" de espesor	UN	1,5	6.200	9.300,00

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas menores	Global	1	2.000	2.000,00
Andamios	Un	0,8	350	280,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Ductero	130.050	1,8	234.090	0,05	11.704,50
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25

Total Valores Parciales: \$203.659,00

A.U.I. 25%: 50.914,75

Total ITEM: \$254.573,75



**Corporación
Universitaria
Tecnológica
de Bolívar**

ANALISIS DE PRECIOS

OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción del 2000 **FECHA: Mayo**

de la Ladrillera la Victoria

DESCRIPCION: Ducto Instalado ϕ 46"

ITEM: 9

PROYECTISTA: Ing. Telema Mendoza Narváez

UNIDAD: M

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Lámina de acero galvanizado calibre 20 2x1 m	UN	1,8	\$26.100	\$46.980,00
Lámina Fibra de Vidrio 1.2x2.4m 1" esp	UN	1,2	45.000	54.000,00
Tirante de hierro de 1x 1/4 x 1/8" 6m	UN	0,9	12.200	10.980,00
Angulo de 1 1/2 x 1 1/2 x 1/8" 6m	UN	0,6	8.300	4.980,00
Varilla de 1/2" roscada a 2"	UN	3,6	7.500	27.000,00
Tuercas de 1/2"	UN	8	220	1.760,00
Silicona	UN	2	7.800	15.600,00
Soportes en U	UN	2	5.600	11.200,00
Caucho Natural de 1/16" de espesor	UN	1,5	6.200	9.300,00

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas menores	Global	0,5	2.000	1.000,00
Andamios	UN	0,8	350	280,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Ductero	130.050	1,8	234.090	0,05	11.704,50
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25

Total Valores Parciales: \$207.489,00

A.U.I. 25%: 51.872,25

Total ITEM: \$259.361,25



**Corporación
Universitaria
Tecnológica
de Bolívar**

ANALISIS DE PRECIOS

OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción del 2000 **FECHA: Mayo**

de la Ladrillera la Victoria

DESCRIPCION: Ducto Instalado ϕ 51"

ITEM: 10

PROYECTISTA: Ing. Telema Mendoza Narváez

UNIDAD: M

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Lámina de acero galvanizado calibre 20 2x1 m	UN	2	\$26.100	\$52.200,00
Lámina Fibra de Vidrio 1.2x2.4m 1" esp	UN	1,4	45.000	63.000,00
Tirante de hierro de 1x 1/4 x 1/8" 6m	UN	1	12.200	12.200,00
Angulo de 1 1/2 x 1 1/2 x 1/8" 6m	UN	0,7	8.300	5.810,00
Varilla de 1/2" roscada a 2"	UN	4	7.500	30.000,00
Tuercas de 1/2"	UN	12	220	2.640,00
Silicona	UN	2	7.800	15.600,00
Soportes en U	UN	2	5.600	11.200,00
Caucho Natural de 1/16" de espesor	UN	1,8	6.200	11.160,00

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCION	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas menores	Global	1,5	2.000	3.000,00
Andamios	UN	1	350	350,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Ductero	130.050	1,8	234.090	0,05	11.704,50
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25

Total Valores Parciales: \$230.569,00

A.U.I. 25%: 57.642,25

Total ITEM: \$288.211,25

	Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar	ANÁLISIS DE PRECIOS
---	---	----------------------------

OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción del 2000 de la Ladrillera la Victoria		FECHA: Mayo
DESCRIPCION: Ducto Instalado ϕ56"	ITEM: 11	
PROYECTISTA: Ing. Telema Mendoza Narváez	UNIDAD: M	

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Lámina de acero galvanizado calibre 20 2x1 m	UN	2,2	\$26.100	\$57.420,00
Lámina Fibra de Vidrio 1.2x2.4m 1" esp.	UN	1,6	45.000	72.000,00
Tirante de hierro de 1x ¼ x 1/8" 6m	UN	1	12.200	12.200,00
Angulo de 1 ½ x 1 ½ x 1/8" 6m	UN	0,8	8.300	6.640,00
Varilla de ½" roscada a 2"	UN	4	7.500	30.000,00
Tuercas de ½"	UN	12	220	2.640,00
Silicona	UN	2	7.800	15.600,00
Soportes en U	UN	2	5.600	11.200,00
Caucho Natural de 1/16" de espesor	UN	2	6.200	12.400,00

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCION	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas menores	Global	1,5	2.000	3.000,00
Andamios	Un	1	350	350,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Ductero	130.050	1,8	234.090	0,05	11.704,50
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25

Total Valores Parciales: \$246.859,00
A.U.I. 25%: 61.714,75
Total ITEM: \$308.573,75



**Corporación
Universitaria
Tecnológica
de Bolívar**

ANALISIS DE PRECIOS

OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción del 2000 **FECHA: Mayo**

de la Ladrillera la Victoria

DESCRIPCION: Ducto Instalado ϕ 23"

ITEM: 5

PROYECTISTA: Ing. Telema Mendoza Narváez

UNIDAD: M

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Lámina de acero galvanizado calibre 20 2x1 m	UN	0,9	\$26.100	\$23.490,00
Lámina Fibra de Vidrio 1.2x2.4m 1" esp	UN	0,6	45.000	27.000,00
Tirante de hierro de 1x 1/4 x 1/8" 6m	UN	0,5	12.200	6.100,00
Angulo de 1 1/2 x 1 1/2 x 1/8" 6m	UN	0,6	8.300	4.980,00
Varilla de 1/2" roscada a 2"	UN	1	7.500	7.500,00
Tuercas de 1/2"	UN	8	220	1.760,00
Silicona	UN	1	7.800	7.800,00
Soportes en U	UN	1	5.600	5.600,00
Caucho Natural de 1/16" de espesor	UN	1	6.200	6.200,00

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCION	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas menores	Global	0,5	2.000	1.000,00
Andamios	Un	0,8	350	280,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Ductero	130.050	1,8	234.090	0,05	11.704,50
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,05	5.852,25

Total Valores Parciales: \$115.119,00

A.U.I. 25%: 28.779,75

Total ITEM: \$143.898,75



**Corporación
Universitaria
Tecnológica
de Bolívar**

ANALISIS DE PRECIOS

OBRA: Sistema de Secado Artificial de la producción Mayo del 2000 de la Ladrillera la Victoria	FECHA:
DESCRIPCION: Alimentador Automático de Combustible	ITEM: 12
PROYECTISTA: Ing. Telema Mendoza Narváez	UNIDAD: UN

1. MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Motorreductor Trifasico ASSI 100L-4/BG247.	UN	1	350.000	350.000,00
Cilindro en fundición gris ϕ 1m L=1,5m	UN	1	800.000	800.000,00

2. EQUIPOS Y HERRRAMIENTAS.

DESCRIPCION	UNIDAD	REND.	TARIFA/DIA	V. PARCIAL
Herramientas	Global	0,5	\$500	\$250,00
Transporte	Global	0,5	500	250,00

3. MANO DE OBRA.

TRABAJADOR	JORNAL	P. SOC.	T. JORNAL	REND.	V. PARCIAL
Electricista	130.050	1,8	234.090	0,3	70.227,00
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,3	35.113,50
Ayudante	65.025	1,8	117.045	0,3	35.113,50

Total Valores Parciales: \$1'290.954,00
A.U.I. 25%: 322.738,50
Total ITEM: \$1'613.692,50



**Corporación
Universitaria
Tecnológica
De Bolívar**

PRESUPUESTO

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANT	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	Construcción de Pared Refractario UA20	M ²	112	\$529.132,95	\$59'262.890,40
2	Construcción de Pared Ladrillo común	M ²	112	65.375,45	7'322.050,40
3	Unidad de Ventilación, blower y motor.	UN	1	2'746.440,00	2'746.440,00
4	Instalación de la Unidad de Ventilación.	UN	1	74.937,50	74.937,50
5	Ducto instalado ϕ 23"	M	20	143.898,75	83'877.975,00
6	Ducto instalado ϕ 30"	M	1,5	170.861,25	256.291,87
7	Ducto instalado ϕ 39"	M	1,5	199.836,25	299.754,37
8	Ducto instalado ϕ 43"	M	8	254.573,75	2'036.590,00
9	Ducto instalado ϕ 46"	M	1,5	259.361,25	389.041,87
10	Ducto instalado ϕ 51"	M	1,5	288.211,25	432.316,87
11	Ducto instalado ϕ 56"	M	13	308.573,75	4'011.458,75
12	Alimentador Automático de Combustible.	UN	2	1'613.692,50	3'227.385,00
13	Instalación Eléctrica de Ventilador y Alimentadores.	UN	3	74.937,50	224.812,50

Valor Total: \$83.161.944,53

Costo de Ingeniería 1%: 831.619,44

VALOR TOTAL DEL PRESUPUESTO: \$83'992.563,97

Nota: No incluye IVA.