

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
Dr. Carlos Rafael Rodríguez Rodríguez.
Facultad de Ingeniería Mecánica.



CEEMA

**Centro de Estudios de Energía
y Medio Ambiente**



UNIVERSIDAD
CIENFUEGOS

Carlos Rafael Rodríguez

Trabajo de Diploma

Título: Sustitución del Diesel por biomasa en los secaderos de arroz de la Provincia de Cienfuegos.

Diplomante: Yoandry Quevedo Aguila.

Tutor: Lic. Víctor N. Mencía Hourruitiner.

Cienfuegos

2009

Declaratoria de Autoridad

Declaración de autoridad.



Hago contar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez como parte de la culminación de los estudios de la Especialidad Ingeniería Mecánica, autorizado a que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente y que este no será presentado en un evento ni publicado sin la aprobación de la Facultad.

Firma del Autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor.

Firma del Vicedecano.

Firma de ICT.

Pensamiento

*Dejar de prever es un delito público
y un delito mayor no obrar,*

José Martí.

Agradecimientos

Agradecimientos:

- ➡ A mi Mamá Caridad Águila Rodríguez que fue quien logró que llegara hasta el final del camino.
- ➡ A mi abuela Marta quien me ha dado todo en la vida.
- ➡ A mi novia Liliana González quien me ha mostrado el buen camino y lo mejor de la vida, el amor.
- ➡ A mis demás familiares.
- ➡ A mi tutor Víctor Mencías.
- ➡ A mi cotutor Bienvenido Sarria López.
- ➡ A todos los que de una forma u otra han tenido que ver con mi vida y pusieron su granito de arena para que yo pudiera lograrlo.
- ➡ A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Cienfuegos.

Dedicatoria

Dedicatoria:

- Dedico este trabajo a todas esas personas a quienes le he demostrado que puedo ser capaz de graduarme como ingeniero, y en especial a los que confiaron plenamente en mí.

Resumen

Resumen.

El trabajo de Diploma trata sobre el análisis de factibilidad técnico-económico y ambiental de la introducción de un Quemador de Doble Turbulizador Estático (QDTE) para el secado agroindustrial del arroz en los secadores de la provincia de Cienfuegos, en el mismo se expone todo el procedimiento de cálculo térmico, aerodinámico e hidrodinámico utilizado durante el diseño del quemador a partir de la realización de una búsqueda bibliográfica actualizada. El QDTE fundamenta su principio de funcionamiento en la combustión en suspensión total de las partículas de arroz (y otras biomásas), de manera tal que la biomasa combustible quema durante su recorrido por el volumen de la cámara de combustión. Pero, este quemador tiene como característica innovadora distintiva el perfeccionamiento del proceso aerodinámico donde se determinan tres conceptos novedosos: Escalonamiento (distribución) del aire en: primario y secundario, la turbulización de dos corrientes aerodinámicas: primaria y secundaria y la Co – combustión de biomasa con combustible fósil (Diesel).

Índice

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1.....	6
Revisión bibliográfica.....	6
1.1 Fundamentación y caracterización del QDTE y sus ventajas sobre los Diesel.....	6
1.1.2 Caracterización del Quemador de Doble Turbulizador Estático(QDTE).....	6
• Aspectos positivos de la utilización del QDTE.....	8
• Principio de funcionamiento del quemador.....	8
•	
1.2 Quemadores Industriales Diesel más utilizados en el mundo y en Cuba.....	10
1.3 Horno quemador de Biomasa TEO (serie – IV).....	16
1.3.1 Características Técnicas.....	16
1.3.2 Principales beneficios.....	17
1.4 Uso no energético de la Cascarilla.....	19
1.4.1 Un sustituto de la madera.....	19
1.4.2 Usos de importancia en construcciones.....	21
1.4.3 Extinción de bromuro de metilo en Brasil y Cuba.....	23
1.4.4 La cascarilla como sustrato en proyectos de cultivos Hidropónicos.....	24
1.4.5 Otras utilidades de la cascarilla de arroz.....	24
1.5 El arroz en el mundo.....	27
1.5.1 Producción mundial de arroz.....	27
1.5.2 El Arroz en Cifras (FAO, 2008).....	28
1.6 Producción de Arroz en Cuba.....	29

1.6.1	Siembra y Superficie Existente Sembrada de Arroz.....	30
1.6.2	Producción de Arroz Cáscara.....	32
1.7	Producción del arroz en Cienfuegos.....	33
1.7.1	Nivel de producción anual actual.....	34
Capítulo 2: Cálculo del Quemador Doble Turbulizador Estático (QDTE).....		35
2.1	Sistema de combustión del diesel.....	35
2.2	Descripción y fundamentación del esquema térmico del QDTE.....	35
2.3	Cálculo de los componentes del Esquema Tecnológico para quemar Cascarilla.....	37
1.	Cálculo del diámetro aerodinámico equivalente. Tiempo total de combustión.....	37
2.	Dimensionamiento de QDTE, para la capacidad térmica del horno de capa cónica deslizante de la torre de secado.....	39
A.-	Determinación de los flujos de Aire y el coeficiente de exceso de aire...	39
B.-	Dimensionamiento de los Canales Primarios y Secundarios.....	42
C.-	Dimensionamiento de la cámara de Combustión.....	44
3.-	Cálculo térmico constructivo del Calentador de Aire Tubular (CAT).....	47
3.1.-	Diseño del calentador de aire tubular (CAT) para el aire que va a la combustión.....	51
•	Determinación del ΔT	53
4.-	Selección del ventilador de tiro forzado.....	59
•	Caída de presión total en el CAT	69
•	Caída de presión entre el CAT – Quemador.....	69

- Caída de presión total del aire, entre el VTF y el Quemador.....71
- Carga o Presión de descarga del Ventilador de tiro Forzado (VTF) Secundario.....71
- Cálculo de la potencia por el método de la Rabaak and Wilcox.....72
- Conclusión.....74

CAPÍTULO 3: Caracterización de los Secadores de arroz de la

provincia de Cienfuegos.....75

3.1 Características físico-geográfico del territorio estudiado.....75

3.2.- Ingeniería básica.....76

- Características de los Insumos.....77
- Consumo energético.....77
- Descripción del proceso tecnológico.....77
- Demanda.....77
- Fuerza de Trabajo.....78
- Componentes de la inversión.....78

3.3.- Localización de las áreas actuales y las que se incrementarán.....79

- Áreas con posibilidades a incrementar.....80

3.4.- Ubicación geográfica de los secaderos.....80

- Recursos humanos disponibles.....81

3.5.- Consideraciones de interés relacionadas con la producción

arrocera en el área geográfica estudiada.....81

- Inventario del equipamiento.....81
- Área total anual de siembra.....82
- Área sembrada con la técnica del trasplante.....83
- Área por variedad.....83
- Área protegida con herbicidas.....83
- Área donde se emplea fertilizantes.....83
- Área donde se realiza la cosecha mecanizada con combinada.....84
- Nivel de producción anual actual.....84
- Secado, almacenamiento y molinación.....84

3.6.- Comportamiento de la producción de arroz en las áreas que aportarán el grano a los diferentes secaderos. Otros datos de interés.....	85
CÁPITULO 4: Análisis ambiental y Económico.....	86
4.1- Análisis Ambiental.....	86
4.1.2 Emisiones de CO_2, SO_x, NO_x en el Diesel.....	86
I.- Emisiones de Dióxido de Carbono (Diesel).....	86
II.- Emisiones de $SO_x (SO_2)$ en Diesel.....	87
III.- Emisiones de NO_x (Diesel).....	88
IV.- Emisiones de Dióxido de Carbono. Cascarilla.....	88
V.- Emisiones de SO_x en la cascarilla.....	89
VI.- Emisiones de NO_x de la cascarilla de arroz LP-5.....	89
• Emisiones de NO_x en la cascarilla.....	89
4.2.- Análisis Económico.....	90
• Costo de la cascarilla que se va a quemar.....	91
• Ahorro monetario teniendo en cuenta el cambio de combustible.....	91
• Costo de materiales para la construcción de la instalación...	91
• CAT proceso de secado.....	92
• CAT de Combustión.....	92
CONCLUSIONES.....	94
RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	96
ANEXOS	

Introducción

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Durante el desarrollo de la humanidad el consumo de energía ha tenido una tendencia creciente, aumentando ésta bruscamente a partir de la Revolución Industrial. El esquema energético desde comienzos del siglo XX ha estado basado fundamentalmente en combustibles fósiles, principalmente petróleo y carbón, los cuales suministran hoy en día más del 80 % de la energía consumida a escala mundial. En los inicios del desarrollo industrial y hasta décadas pasadas, el consumo energético no constituía un problema para la humanidad, pues existía una abundancia relativa de combustibles fósiles y no había hecho tan evidente la afectación de su uso sobre el medio ambiente, a partir de la década de los 70, los impactos ambientales alcanzaron tal magnitud que el hombre comenzó a preocuparse por estos efectos (Borroto, 1997; Turrini, 2006).

La biomasa es la energía más antigua del mundo, existiendo en la mayoría de los países grandes cantidades de residuos que pueden ser aprovechados como combustible. Especialistas en la materia aseguran que de esta aprovecharse correctamente pudiera aportar una mayor contribución al esquema energético de la humanidad. Sin embargo un gran número de razones tecnológicas, económicas, políticas, sociales y ambientales afectan este aporte.

En Cuba es abundante un gran número de biomásas, entre las que se destacan las derivadas de la caña de azúcar (bagazo y RAC) y residuos de otras producciones generales, como el arroz. Aunque desde hace tiempo se trabaja en el aprovechamiento de las mismas, como es el ejemplo del bagazo en combustión directa en centrales azucareras para la generación eléctrica, la eficiencia en la calidad de uso aun está limitada por la falta en muchos casos de estrategias a corto, mediano y largo plazo que estudien y den soluciones integrales a la problemática analizando todas sus aristas.

La importancia de reducir el consumo energético de las obtenidas a partir de combustibles fósiles se ha transformado de un problema económico a un problema vital, y de un problema vital del futuro a uno de los mayores

accidentes que ya padecemos en el desarrollo de la humanidad. La acidez de las lluvias, las catástrofes naturales, las consecuencias del efecto de invernadero y de la disminución de la capa de ozono, son secuelas que debemos curar con una nueva vía de producción energética que recorre desde el control de los procesos actuales, el incremento de su eficiencia y nuevos hábitos de consumo, hasta el cambio de estructuras a una utilización descentralizada de las fuentes renovables, inagotables y de bajo impacto ambiental.

Para lo cual es necesario tener en cuenta las siguientes premisas:

- I. **Aumento de la eficiencia energética**, eliminando esquemas de consumo irracionales, reduciendo la intensidad energética en los procesos industriales, aprovechando las fuentes secundarias de bajo potencial, utilizando sistemas de cogeneración, y empleando en general la energía de acuerdo a su calidad.
- II. **Sustitución de fuentes de energía**, por otras de menor impacto ambiental, en particular por fuentes renovables, tales como energía solar, energía eólica, energía geotérmica, hidroenergía, biomasa, energía de los océanos, etc.
- III. **Empleo de tecnologías para atenuar los impactos ambientales, o tecnologías limpias**, como son los sistemas depuradores de gases de combustión o las tecnologías de gasificación del carbón en ciclos combinados con turbinas de gas.

Aunque en realidad la única alternativa verdaderamente sostenible es la sustitución de fuentes convencionales por fuentes renovables, la eficiencia energética es una alternativa esencial, tanto por su efecto directo, como por lo que la misma puede contribuir al relevo por las energías renovables (Borroto et al., 2002 b).

Justificación del estudio.

El propósito del trabajo consiste en elaborar los Estudios de Factibilidad Técnico – Económica y ambiental que fundamenten la necesidad de sustituir la quema de combustible fósil por biomasa (Cascarilla de Arroz) en el secado de arroz cáscara en un grupo de los municipios de más elevados potenciales

productivos y posibilidades de incremento de las ventas al Estado en nuestra provincia. Para dar solución tecnológica a la problemática, se emplea una donación de la República de Vietnam a nuestra provincia de Secaderos para la producción de arroz, bajo la forma de arroz popular.

Los mismos constan de una batería de dos secaderos de 32 t de capacidad de secado diaria, lo que representa un total de 64 t de capacidad de secado en cada lugar utilizando como agente de calentamiento un flujo de gases caliente que provienen de un quemador de Diesel. En las torres se procesarán 192 t (4224 qq) por turnos de 8 horas, El grano pasa cuatro veces por las torres de secado para bajar la humedad de 24 % hasta 12 %. El consumo de combustible es de 120 kg/h, unos 2880 kg diarios.

Los secaderos, que serán instalados en tres puntos diferentes de la provincia, en los municipios de Aguada de Pasajeros, Abreus y Santa Isabel de las Lajas, conjuntamente serán montados una batería de 6 molinos en cada uno de los lugares antes mencionados.

Esto trae como consecuencia un mayor interés en utilizar la cáscara de arroz como una fuente de energía renovable y ayudará a eliminar los problemas del esparcimiento de los residuos y a reducir las condiciones ambientalmente peligrosas.

Problema.

- La quema del Diesel incrementa apreciablemente el costo de producción de la tonelada de arroz y el impacto ambiental.
- No se cuenta con tecnologías eficientes para generar el aire caliente para el secado, utilizando como fuente de energía la cascarilla.

Objetivo general.

- Evaluar alternativas tecnológicas del QDTE para reemplazar el Diesel por cascarilla de arroz en la generación del aire caliente que se utiliza en los secadores de la provincia de Cienfuegos.

Objetivos específicos.

1. Realizar la fundamentación y caracterización del QDTE y sus ventajas.
2. Describir el uso no energético de la Cáscara de arroz.
3. Realizar un diagnóstico de la producción de arroz mundial.
4. Determinar los índices térmicos, aerodinámicos e hidrodinámicos del QDTE.
5. Obtener el dimensionamiento y las características de funcionamiento del QDTE para quemar cáscara de arroz.
6. Caracterizar los secadores de arroz de la provincia de Cienfuegos
7. Realizar el análisis económico y ambiental de la combustión de la cáscara de arroz en un QDTE.

Hipótesis.

La realización de los cálculos térmicos, aerodinámicos e hidrodinámicos, para el calentamiento del aire con el calor producido por la combustión de la biomasa, unido al análisis económico y ambiental, puede ser el procedimiento para predeterminar las ventajas del Quemador de Doble Turbulizador Estático (QDTE) para quemar cáscara de arroz, con relación a los quemadores que se emplean actualmente para este propósito.

Beneficios esperados.

- Disminución considerable del costo de la tonelada de arroz por cada tonelada de cáscara de arroz consumida como combustible.
- Contribuir a la obtención de P+L, evitando el esparcimiento de residuos y condiciones ambientales peligrosas.
- Ahorro de combustible Diesel por año por concepto de la utilización de la cáscara de arroz.
- Establecer la metodología de cálculo termo - hidrodinámico que permita establecer todas las dimensiones funcionales del QDTE y que pueda ser aplicada a todo equipo con estas características.

Límites del alcance de la investigación.

El alcance del trabajo de Diploma está en el plano del Estudio de factibilidad por cuanto, la tecnología que se empleará en la construcción de los secadores todavía, no ha sido montada.

Capitulo 1

CAPÍTULO 1.

Revisión bibliográfica.

1.1.Fundamentación y caracterización del QDTE y sus ventajas sobre los Diesel.

La crisis del petróleo hace más obvia la dependencia económica de los combustibles fósiles, como consecuencia de ello la necesidad de nuevas fuentes de energía renovable se ha convertido en un asunto más urgente. Las fuentes de energía renovables están llamadas a proporcionar la solución a este problema puesto que ellas son inextinguibles y tienen un menor impacto adverso sobre el medio ambiente en relación con los combustibles fósiles.

La inexistencia de un mayor interés y urgencia en las tecnologías aplicables a las fuentes de energía renovables se fundamentan no solo en los beneficios ambientales, sino que también se apoyan en el fenómeno económico sustentable que estas fuentes ofrecen.

En Cuba, la situación del aprovechamiento de la cáscara de arroz es similar a la media mundial, es decir, es totalmente el uso que como combustible se le da a este residuo de la producción y por otra parte las empresas arroceras demandan una cantidad significativa de energía térmica y eléctrica. Las tecnologías de combustión que aisladamente se han aplicado en dichas empresas son bastante ineficientes, con el agravante de que emiten hacia la atmósfera cantidades apreciables de partículas volátiles, sobrepasando los límites adoptados por el país, además la ceniza producida contiene inquemados sólidos, lo cual, le reduce su calidad como materia prima para otras industrias.

El anterior marco referencial ofrece oportunidades necesarias para la realización del trabajo investigativo, encaminado hacia el uso útil de la cáscara de arroz como biomasa subproducto de las empresas arroceras.

1.1.2 Caracterización del Quemador Doble Turbulizador Estático (QDTE).

En la Figura No.1 (Anexo No.1) se muestra la representación esquemática de los procesos del calentamiento del aire para realizar el secado del grano, utilizando la cascarilla de arroz como el combustible que oferta la energía que es demandada en las torres de secado o secadores. Cuando se realiza la

quemado de cascarilla de arroz en el quemador con doble turbulizador estático, al igual que en otros sistemas de combustión de suspensión, una parte apreciable de las cenizas volantes y de partículas incandescentes tienden a ser arrastradas con el flujo de los gases de la combustión, por lo que no resulta recomendable enviar dichos gases directamente a las torres de secado, para evitar la posible contaminación e incendio del producto o arroz cáscara.

En este esquema tecnológico se utilizan dos calentadores de aire tubulares (CAT) que utilizan como agente portador del calor los gases del esquema de la cascarilla.

El primer CAT incrementará la temperatura de una determinada masa o flujo de aire, que es alimentado por el ventilador de aire, y lo envía directamente a las torres de secado, el segundo CAT calienta otra determinada masa de aire suministrada también por el ventilador de tiro forzado VTF y la envía al QDTE para el proceso de combustión, esto contribuye al mejoramiento de la eficiencia del proceso de combustión y de toda la instalación térmica.

De esta manera el esquema tecnológico garantiza la energía necesaria en el proceso de secado y el de combustión, sin el riesgo de contaminación o incendio antes señalado. Los gases de la combustión en su recorrido hacia el CAT fluyen a través de un separador de cenizas volantes, con el propósito de disminuir en lo posible el ensuciamiento de la pared interior de los tubos. Estos CAT deben estar provistos de tapas laterales para la inspección y limpieza de los tubos. El esquema tecnológico pudiera incluir separadores ciclónicos o ciclones intercambiadores de calor cuando se tenga como propósito producir cenizas como subproductos de alto valor agregado, además del calor para el proceso de secado.

Los gases a la salida del CAT se evacúan hacia la atmósfera a través de la chimenea, cuyo tiro efectivo debe superar la caída de presión en los CAT y demás conductos de gases.

Aspectos positivos de la utilización del QDTE

El esquema térmico para el secado del grano de arroz utilizando su cáscara como fuente de energía mediante su combustión en el QDTE, tiene las siguientes características «atractivas»:

- El aire primario y secundario suministrado por la combustión a través del cuerpo del quemador y de la cámara de combustión se calienta hasta valores de temperatura alrededor de 80 °C, con lo cual se incrementa la eficiencia del proceso de combustión y de todo el esquema térmico.
- La chimenea es calculada de forma tal, que su tiro efectivo sea mayor que la resistencia total ofrecida al movimiento de los gases, en todo su recorrido.
- Sustitución y ahorro de una cantidad equivalente de la mezcla combustible fuel oíl - diesel con sus beneficios económicos y ambientales que ello implica.
- Eliminación de las posibilidades de contaminación por olores desagradables producidos durante el secado cuando se le suministran directamente a las torres de secado los gases de la combustión; esto eleva la calidad del producto final y mejor precio de venta , además de un aprovechamiento beneficioso de la biomasa, pues antes el afrecho o cáscara de arroz se incineraba en los llamados vertederos, hacia donde había que transportarlo.

Principio de funcionamiento del quemador

El quemador con doble turbulizador estático (QDTE) para quemar cascarilla de arroz y otras biomásas es una tecnología de combustión con características novedosas, fundamenta su principio de funcionamiento en la combustión en suspensión total de las partículas de arroz (otras biomásas), de manera tal que la biomasa combustible quema durante su recorrido por el volumen de la cámara de Combustión. Pero este quemador tiene como característica innovadora distintiva el perfeccionamiento del proceso aerodinámico, donde se determinan tres conceptos novedosos:

- I. Escalonamiento (distribución) del aire en: primario y secundario.

- II. La turbulización de dos corrientes aerodinámicas: primaria y secundaria.
- III. La con combustión de biomasa con combustible fósil (diesel).

La corriente secundaria (aire secundario) se abastece a la raíz de la llama y es normal que se aplique cierto grado de turbulización o rotación.

Este aire proporciona la mayor parte del oxígeno demandado en las etapas iniciales de la reacción de combustión de los constituyentes combustibles del combustible. También parte de este flujo se suministra a la zona donde se encuentran los compuestos volátiles para garantizar la demanda de oxígeno, productos gaseosos combustibles, que se desprenden o liberan desde la biomasa cuando penetra en la zona de alta temperatura de la cámara de combustión.

En el QDTE la corriente secundaria es inyectada de manera tal que provoque una segunda ocasión al penetrar y ponerse en contacto con la corriente principal que emerge desde la «boca» del quemador hacia la cámara de combustión, esto intensifica la combustión e incrementa la estabilidad de la llama.

La corriente primaria compuesta por el aire primario y el flujo de biomasa a quemar, es también sometida a una turbulización o rotación, lo cual no es usual en los quemadores de combustibles sólido, y en particular para los quemadores de cascarilla de arroz.

La rotación de dos corrientes coaxiales suministradas a través del cuerpo del quemador y de la cámara de combustión, hace que el quemador con doble turbulizador estático (QDTE) posea características innovadoras y novedosas para quemar cáscara de arroz y otras biomásas; con elevada eficiencia de la combustión, buena estabilidad de la llama y pequeño impacto ambiental. Además el QDTE está dotado de una caña para alimentar y quemar combustible diesel al unísono con la biomasa. Esta alternativa tecnológica de la co-combustión aumenta la posibilidad de este quemador para ser utilizado en la producción de energía eléctrica a pequeña escala, así da una

mejor capacidad y amplitud de respuesta ante las variaciones de potencia térmica.

Es importante destacar que el consumo del diesel previsto es insignificante en comparación con el nivel de consumo actual, pues se concibe como un combustible de apoyo ya que la biomasa es la encargada de satisfacer la demanda energética fundamental, estando entre los propósitos del perfeccionamiento de este diseño que el consumo de diesel sea cero. El quemador de diesel puede ser utilizado durante el encendido del equipo.

1.2 Quemadores Industriales Diesel más utilizados en el mundo y en Cuba.

I.- TURBO QUEMADOR marca KLEIN, modelo: **TQ - 5G**, para diesel (con bomba), con motor de 3 HP, trifásico, de 3 450 rev/min



Con un consumo de diesel de 80 L/h, una capacidad térmica de **5'600,000 BTU**, con llaves para el control del flujo de diesel y del aire; con cañón de 4" de diámetro y cabezal de Acero de 5" de diámetro exterior.

Sistema automático para Diesel, marca KLEIN modelo AD: Es el sistema avanzado de Quemadores **KLEIN**. Electrónico, controla todo.

A través de la varilla detectora de flama asegura que no haya peligro de explosión, un relevador timer para barrer los gases del sistema, una válvula solenoide para controlar el flujo de combustible, un elemento termo-par, protegido por una funda de carburo de Silicio o de cualquier otro material, según las necesidades, un pirómetro que marca la temperatura en forma Digital y además controla la misma en una carátula análoga, cable y elemento termopar. Todo esto contenido en una caja de control (metálica).

II.- TURBO QUEMADOR marca KLEIN, modelo: **TQ 5D**, para, diesel, con motor de 3 HP, trifásico, de 3 450 rev/min



Con un consumo de combustible de 95 L/h, una capacidad térmica de **5 600 000 BTU**. Con llaves para el control del flujo de gas y del aire; con cañón de 4" de diámetro, cabezal de hierro fundido de 5" de diámetro exterior.

III.- TURBO QUEMADOR marca KLEIN, modelo **TQ - 5GSP**, para gas de alta presión de 0.750 Kg/cm².



Con motor de 3 HP, Trifásico, de 3,450 rev/min, con un consumo de gas de 68 L/h, una capacidad térmica de **5 600 000 BTU**.

Con llaves para el control del flujo de gas y del aire; con cañón de 4" de diámetro y cabezal de hierro fundido de 5" de diámetro exterior.

IV.- TURBO QUEMADOR tipo cañón marca KLEIN, modelo **TQ - 6G**, manual, de alimentación forzada; para gas L.P. de alta presión de 0.750 Kg/cm².



Con motor de 5 H. P. de 3 500 rev/min (o más según el fabricante), trifásico, con una capacidad de aire de la turbina de 3 400 m³/h. Con un consumo de gas de 190 L/h y una potencia máxima calorífica de **7 500 000 B.T.U.**



Con llaves para el control del flujo de gas y del aire; lo que facilita la regulación de la potencia del mismo), con cañón de 4" de diámetro y cabezal de hierro fundido de 5" de diámetro exterior; con un largo total aproximado de 1.32 m.

V.- TURBO QUEMADOR marca KLEIN modelo **TQ - 4G**, para gas de alta presión de 0.650 Kg/cm².



Con motor de 2 HP de 3 450 rev/min Trifásico, con un consumo de gas de 85 L/h, una capacidad térmica de **4 300 000 BTU.**



Con llaves para el control del flujo de gas y del aire; con cañón de 4" de diámetro y cabezal de hierro fundido de 5" de diámetro exterior.

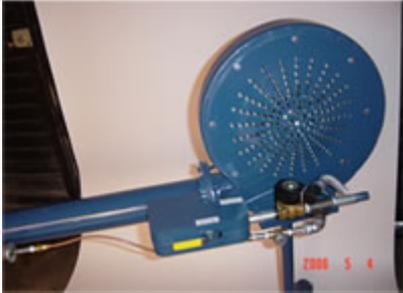
VI.- TURBO QUEMADOR tipo cañón marca KLEIN modelo **TQ - 3GSP**, de alimentación forzada, para gas L.P. de alta presión de 0.5 Kg/cm².



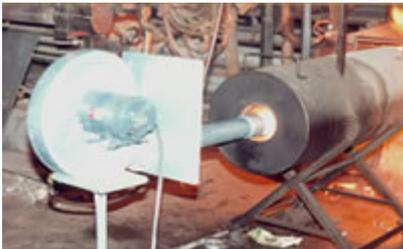
Con motor de 1 HP 3 500 rev/min (o más según el fabricante), monofásico, con una capacidad de aire de la turbina de 1000 m³/h, con un consumo máximo de gas de 85 L/h con una potencia máxima calorífica de **2 930 000 BTU**.



Con llaves para el control del flujo de gas y del aire (lo que facilita la regulación de la potencia del mismo); con cañón de 3" de diámetro y cabezal de fierro fundido de 4.5 " de diámetro exterior, con un largo total aproximado de 1.20 m.



VII.- TURBO QUEMADOR marca KLEIN modelo **TQ - 3G**, para gas de alta presión de 0.5 Kg/cm².



Con motor de 1 HP de 3 450 rev/min Monofásico, con un consumo de gas de 55 L/h, una capacidad térmica de **2 950 000 BTU**.



Con llaves para el control del flujo de gas y del aire; con cañón de 3" de diámetro y cabezal de fierro fundido de 4" de diámetro exterior.

VIII.- TURBO QUEMADOR marca KLEIN modelo **TQ - 2G**, para gas de alta presión de 0.5 Kg/cm².



Con motor de $\frac{1}{2}$ H. P. 3 450 rev/min Monofásico, con un consumo máximo de gas de 35 L/h con una potencia calorífica de **1 300 000 BTU**.

Con llaves para el control del flujo de gas y del aire; con cañón de 2 $\frac{1}{2}$ " de diámetro y cabezal de fierro fundido de 3 $\frac{1}{2}$ " de diámetro exterior.

IX.- TURBO QUEMADOR marca KLEIN modelo **TQ - 1GSP**, para gas de alta presión de 0.5 Kg/cm², y sistema de seguridad.



Con motor de $\frac{1}{4}$ HP. 3 450 rev/min. Monofásico, con un consumo máximo de gas de 25 L/h, con una potencia calorífica de 1 000 000 BTU.



Con llaves para el control del flujo de gas y del aire; con cañón de 2 $\frac{1}{2}$ " de diámetro y cabezal de fierro fundido de 3 $\frac{1}{2}$ " de diámetro exterior.

X.- QUEMADOR Aero - Gas modelo **QAG - 340**, de alta presión, con una capacidad calorífica de 340 000 BTU.



Fabricado en tubular de acero calibre 40, de 2" de diámetro por 35 cm de largo, con control de flujo del aire para un mejor funcionamiento, y con llave para control de flujo de gas y pedestal.

1.3 Horno quemador de Biomasa TEO (serie – IV).

El horno quemador de Biomasa (cascarilla de arroz) utilizado como fuente de generación de calor para el aire de proceso en las secadoras de granos. El horno produce aire caliente en condiciones amigables con el medio ambiente y elimina el consumo de combustible fósiles tales como el coke, gas natural o diesel.

1.3.1 Características Técnicas.

1. Alta eficiencia de combustión.

El doble sistema ciclónico crea un vórtice de aire y cascarilla. De esta forma se obtiene una combustión completa y libre de humos contaminantes y un aire caliente limpio y amigable con el medio ambiente. Debido a que las temperaturas de combustión dentro del horno sobrepasan los 850 °C de manera constante, este equipo garantiza una excelente comportamiento dentro de las tecnologías aplicables.

2. Diseño compacto; da la posibilidad de instalación de varios hornos en un área reducida y cerrada, debido a sus estilizadas dimensiones en largo y ancho

vs. altura, en relación con su altísima capacidad de generación de calor (2 a 10 Mbtu/h). Ver Anexo No.

3. Uniformidad en la temperatura de secado; el sistema de alimentación de biomasa es auto-controlado por un variador de velocidad con control PID, lo que asegura un suministro de combustible y por ende calor constantes. De esta forma también se reduce el tiempo entre el encendido inicial y el comienzo de la operación de secado. Con el TEO IV se logra un diferencial de temperatura de hasta 100 grados C, en menos de 1 hr. de operación. Luego se logra mantener la temperatura con una exactitud de +/- 1 grado C, sobre la temperatura fijada (set point).

4. Salida de cenizas a baja temperatura; el vórtice de aire en espiral conduce la ceniza hacia el fondo donde es enfriada hasta una temperatura de aproximadamente 35°C, sin necesidad de sistemas de enfriamiento adicional o rocío de agua.

5. Versatilidad en el uso; la serie de los TEO IV se pueden acoplar a los diversos tipos de secadoras, tales como lechos fluidizados, albercas, secadoras de torre, columnares y cilíndricas rotativas. (ver Anexo No.2)

6. Diseño robusto y confiable; al interior 100% en material refractario, están diseñados para operar las 24 horas /365 días al año.

7. Bajos costos de mantenimiento; por ser fabricados en material de acero de alta resistencia al calor y cámara interior en material refractario de alta temperatura, su mantenimiento es mínimo y extemporáneo.

8. Equipo patentado. Patente Mundial No. 473699 valida hasta el 2011.

1.3.2 Principales beneficios:

- Incremento en el rendimiento de granos enteros.
- Reducción en los tiempos de secado; con su alta capacidad de generación de calor vs. su manejo automatizado, facilita la operación y el control de temperatura en la operación del equipo.
- Ahorro en el consumo de combustibles costosos; la utilización de una biomasa que es desecho del procesamiento del arroz, como lo es la cascarilla del arroz, representa un ahorro significativo en los costos de secado. Se evita el uso de combustibles fósiles o minerales tales como el gas, el diesel o el carbón coke.

- Generación de un nuevo subproducto con alto valor comercial; la ceniza de la cascarilla de arroz (grisácea).
- Reducido arrastre de cenizas.
- Trabajo muy limpio; esto permite instalarlos en zonas urbanas, dentro de bodegas cerradas y adyacentes a las secadoras, sin necesidad de construir largas y costosas tuberías metálicas.
- No contaminan el arroz paddy o medio ambiente; los equipos de secamiento a los que se suministra el aire caliente, no se ven sometidos a contaminación por partículas que se depositen en los granos de paddy.

Tabla No. 4 Especificaciones técnicas del Horno TEO. Serie IV.

MODELO	TEO IV 500	TEO IV 1000	TEO IV 1500	TEO IV 2000	TEO IV 3000
Energía generada (BTU/h)	1.700.000	3.400.000	5.120.000	6.825.000	10.300.000
Temp. del aire de secado (°C)	40 – 170	40 – 170	40 – 170	40 – 170	40 – 170
Consumo de Biomasa (Kg./h)	50 - 100	100 - 200	150 - 300	250 - 450	350 - 650
Producción de cenizas (Kg./h)	10 – 20	30 – 60	50 - 90	80 - 100	90 - 130
Temperatura de la ceniza (°C)	30 - 40	30 - 40	30 - 40	30 - 40	30 - 40
Potencia total requerida (hp)	5.5	5.5	7.5	7.5	8.5
Peso neto aproximado (TON)	3.5	5.0	6.5	8.0	9.0
Dimensiones L / A x H (m.)	1.50 x 5.20	2.00 x	2.00 x	2.20 x 9.00	2.40 x 10.70

		7.50	8.70		
--	--	-------------	-------------	--	--

Fuente: Super Brix.

1.4 Uso no energético de la Cascarilla.

La cáscara de arroz es el mayor residuo resultante de la producción agrícola de granos, y su destino final es uno de los mayores problemas que tienen los países productores de arroz. Cada cuatro toneladas de arroz producidas, una tonelada es cáscara. Estudios realizados en el 2006 estimaron que cada año se generan más de 100 millones de toneladas de cáscara de arroz en el mundo. El destino final de tales cantidades de cáscara es, por el momento, un problema sin solución definitiva.

Para reducir el volumen de estos residuos se quema la cáscara de arroz, con el objetivo de intentar darle una utilidad económica como energético en calderas de secado del propio arroz, como combustible para la producción de cemento Portland, para la generación de energía eléctrica, etc. Sin embargo, las distintas alternativas de quema de cáscara de arroz acarrearán otro problema: el destino final de la ceniza producida. Se estima que la constitución de la ceniza de cáscara de arroz es aproximadamente un 20% en peso de la cáscara quemada.

1.4.1 Un sustituto de la madera

A través del tiempo, la madera ha constituido la base primordial para el desarrollo tecnológico de la humanidad, debido a su ligereza, resistencia mecánica y resistencia al impacto. Su uso ha variado de acuerdo a las necesidades del ser humano en las diferentes épocas.

La madera se encuentra catalogada como un material compuesto resultado de la unión de dos o más componentes distintos entre sí debido a su composición y características físicas y químicas. Con la finalidad de poder detener la tala inmoderada de árboles han surgido nuevos materiales sustitutos entre los que destacan los polímeros sintéticos. Con estos la industria de los materiales ha tomado mayor auge y representan una solución a sus problemas económicos, tecnológicos y ambientales.

En la literatura se puede encontrar diversos materiales compuestos elaborados a partir de matrices poliméricas (polipropileno y poliéster, entre otros) y diversas cargas (fibras orgánicas, inorgánicas; naturales y sintéticas). El propósito de obtención de estos materiales compuestos es el de lograr sustitutos de la madera con propiedades especiales que reditúen en beneficios en cualquiera de sus aplicaciones.

El arroz es uno de los alimentos más comunes e importantes en el mundo por lo que se generen altas producciones anuales. La cascarilla de arroz no presenta propiedades nutritivas significativas. La cascarilla de arroz a diferencia de la cascarilla de trigo o salvado, cuya fibra es saludable para el aparato digestivo, no es comestible y no presenta propiedades nutritivas significativas.

Presenta un alto contenido de Dióxido de Silicio (SiO_2), que se encuentra en distintas especies de minerales como el cuarzo y es el componente principal de la arena. Al fundirse con otros óxidos metálicos, genera diferentes variedades de vidrio y se utiliza en la fabricación de cementos y materiales cerámicos; lo cual lo hace imposible de ingerir como alimento.

Además de contener un bajo contenido de celulosa (40% aproximadamente), presenta un valor nulo por ser deseco y no se le ha dado un uso adecuado para conferirle un valor agregado. Por esta característica, la cascarilla del arroz tiene aplicaciones limitadas: en Estados Unidos no puede emplearse más de 5% en la alimentación de animales, y en México también se aprovecha en muy baja proporción con ese fin. Aunque a veces se maneja como combustible, es un material totalmente inadecuado para este uso, porque presenta una elevada resistencia al fuego. Es así que la cascarilla de arroz, que forma la tercera parte de las cosechas, por lo general se convierte en basura.

Por todas estas razones existe la factibilidad de poder utilizarlo como carga o relleno en una matriz polimérica, la cual es el medio donde se inunda la cascarilla de arroz misma que está compuesta por miles de cadenas poliméricas y un polímero, por ejemplo en la mezcla de resistol blanco con un poco de arena. El resistol es la matriz polimérica y el segundo componente es la carga y de la unión de estos dos elementos se obtiene material compuesto. Este sustituto de la madera no se quema, no le penetra la humedad y tiene mucha resistencia.

La cascarilla de arroz, por sus características químicas, presenta un carácter hidrofílico, es decir, tiene afinidad con el agua, presentando un 10% de humedad. Por lo tanto este material puede sustituir perfectamente a la madera y puede utilizarse para elaborar muebles, divisiones en paredes, losetas y duela (tablas que conforman las paredes curvas de pipas y barriles), entre otras.

1.4.2 Usos de importancia en construcciones

Las aplicaciones de la cascarilla en construcciones son múltiples. Se piensa, sobre todo, en mobiliarios y paredes de auditorios, cines o edificios altos, donde acuden

mucha gente, ya que representa una alta seguridad por su bajo nivel de combustión.

No obstante, ya que resiste humedad, impacto e intemperie, también es ideal para señalamientos en zonas costeras. Tolera más que el aglomerado de madera: si se pone aglomerado en agua, se hincha; este no, y tampoco genera hongos porque está sellado. También sirve como abrasivo natural, ya que su estructura incluye unos diminutos picos que se han utilizado con éxito para pulir y limpiar piezas metálicas. Además, se puede hacer en forma similar al triplay, aunque sin sus problemas de degradación y polilla o bien, como sustituto de corcho, para cabinas de transmisión o acústicas. Por ejemplo en México se importa corcho, que se fabrica con la corteza del abedul y es muy costoso.

Todo este tipo de innovación tiene el potencial de crear toda una nueva industria, con la participación de empresas interesadas. De hecho se podría incluso importar, prácticamente sin costo, puesto que se trata de un desperdicio, y convertirla en productos elaborados con un alto valor agregado.

Esto es un ejemplo de que se puede aprovechar lo que otros desechan para crear materiales con tecnología de punta:

- *Eco material de construcción a partir de cascarilla de arroz*

El eco material resulta de la mezcla de plásticos residuales con ceniza de cascarilla de arroz, fundidos a alta temperatura con el objeto de compactar los dos desechos de tal forma que se reduzca el impacto ambiental sobre las aguas naturales y el suelo y se conviertan en materia prima para un posible

proceso industrial, se utiliza como material de construcción proporcionando las siguientes ventajas:

- Mayor resistencia a la tensión 459 kg/f y 15 mm de elongación contra 91.83 kg/f con fractura inmediata de un ladrillo tolete.
- Mayor resistencia a la compresión 7143 kg/f y deformación de 5 mm, contra 5918 kg/f con fractura de un ladrillo tolete.
- Material liviano fácil de transportar 0.7 g/cm³, flota en el agua.
- Recupera su estado normal después de la tracción o compresión, por tanto se perfila antisísmico.
- Alta temperatura de llama, prácticamente no arde a condiciones normales.
- Reduce la energía de la onda sonora.
- Tiempo mínimo de construcción
- Bajo costo (material termoestable únicamente costo de producción), aproximadamente 1/3 del material convencional.
- Se puede hacer compatible con el cemento
- Puede usarse a la vista (logrando gamas de colores en proceso industrial)
- Material reutilizable en caso de demolición.

Además, el Eco material presenta las siguientes ventajas ambientales:

- Evita impactos ambientales ocasionados por plásticos residuales y cascarilla de arroz sobre los suelos y las aguas superficiales y subterráneas.
- Evita la quema indiscriminada e inútil de los dos desechos.
- Incrementa la vida útil de los rellenos sanitarios.
- Permite la utilidad como materia prima a los dos desechos hoy causantes de graves impactos ambientales.
- El combustible sería la misma cascarilla de arroz.
- Utiliza como mínimo el 15% en peso de ceniza de cascarilla de arroz que implica el 20% de la cascarilla.
- Asegura el manejo de la totalidad producida de plásticos residuales de Neiva (aprox. 6 ton /día)

- Incentiva el reciclaje de plásticos residuales pos consumo.

1.4.3 Extinción de bromuro de metilo en Brasil y Cuba

Brasil y Cuba, redujeron en cientos de miles de toneladas el uso de bromuro de metilo, una sustancia agotadora de la capa de ozono, anticipándose a la meta de disminuir en 20% el uso de ese plaguicida para el año 2005. Como grandes productores de tabaco, Brasil y Cuba lograron cumplir con un adelanto de varios años la meta de reducir el uso de bromuro de metilo, un gas que destruye la capa de ozono de la atmósfera, cuya protección es fundamental para preservar la vida en la Tierra de los rayos solares ultravioletas más dañinos. Estados Unidos y Europa debieron prohibir ese fumigante desde inicios del 2005, según el Acuerdo al Protocolo de Montreal, firmado en 1987, para controlar y detener la emisión de esos gases.

Para evitar los semilleros tradicionales, implantado en un suelo desinfectado por inyección con bromuro de metilo, se eligió la técnica de bandejas flotantes de polietileno, con sustratos variados como cascarilla de arroz y cachaza de caña de azúcar. La metodología utilizada por ambos países se compone de un sustrato que permita la circulación de aire y de las soluciones nutritivas para las plántulas. Se consideran como buenos sustratos aquellos que permiten la presencia entre 15% y 35% de aire y entre 20% y 60% de agua en relación con el volumen total. Muchas veces es útil mezclar sustratos buscando que unos aporten lo que les falta a otros, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Retención de humedad
- Alto porcentaje de aireación
- Físicamente estable
- De bajo costo
- Biológicamente inerte
- Poseer capilaridad
- Excelente drenaje
- Liviano
- Químicamente inerte

Los sustratos que más se están utilizando en los invernaderos del cultivo de tabaco en Brasil y Cuba, son como primera opción la cascarilla de arroz, siguiéndole la arena, grava, residuos de hornos y calderas, piedra pómez y espuma de polietileno (Osava, 2005).

1.4.4 La cascarilla como sustrato en proyectos de cultivos hidropónicos

La cascarilla de arroz ofrece buenas propiedades para ser usado como sustrato hidropónico. Entre sus principales propiedades físico-químicas tenemos que es

un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, es liviano, de buen drenaje, buena aireación y su principal costo es el transporte. La cascarilla de arroz es el sustrato mas empleado para los cultivos hidropónicos en Colombia bien sea cruda o parcialmente carbonizada. El principal inconveniente que presenta la cascarilla de arroz es su baja capacidad de retención de humedad y lo difícil que es lograr el reparto homogéneo de la misma (humectabilidad) cuando se usa como sustrato único en camas o bancadas (Calderón, F. 2003). Para mejora la retención de Humedad de la cascarilla, se ha recurrido a la quema parcial de la misma. Esta práctica aunque mejora notablemente la humectabilidad, es en realidad muy poco lo que aumenta la capilaridad ascensional y la retención de humedad (Calderón, F. 2003).

A pesar de ser un sustrato orgánico, su tasa de descomposición es lenta por su alto contenido en sílice (de 12 a 16 %). Este sustrato no se usa solo sino siempre en mezcla; cuando se usa sólo, el riego en la columna no es uniforme y las plantas pueden sufrir estrés. Una mezcla que ha dado buenos resultados en países como Chile es 70 % cascarilla de arroz y 30 % de gravilla (partículas de 0.5 a 2.0 mm de diámetro) (FAO, 2007).

1.4.5 Otras utilidades de la cascarilla de arroz

De acuerdo a sus características físicas – químicas en China por ejemplo, por tratarse de un material orgánico, la utilizan para regenerar las tierras de cultivos a través de compostas (abono) , en México por sus características físicas la emplean en granjas avícolas generando camas donde se engorda a los pollos y en Puerto Rico como componente de sustrato en la producción de ornamentales florecedoras.

El Cemento Portland, el tradicional, mejora sus propiedades mecánicas de durabilidad y compresión si se le agrega un producto obtenido a partir de la cascarilla de arroz.

El procedimiento se inició con la quema de la cascarilla de arroz, para eliminar el compuesto orgánico de la misma. Luego, la ceniza se sometió a un proceso químico para extraer la sílice y adicionarlo, en pequeñas cantidades al cemento. Luego de varias pruebas y de cambios, se obtuvo, en el laboratorio, una muestra del nuevo cemento compuesto, con una mejora del 20 por ciento de la resistencia a la compresión, en comparación con el Portland tradicional.

Pero, además de mejorar la compresión, el nuevo compuesto cementante obtenido mostró una mejor durabilidad y un excelente desempeño en ambientes marinos. El cemento con la adición, es menos permeable a los iones cloruros que son los que facilitan la corrosión del acero, que recubierto de concreto, funciona como la columna vertebral de las construcciones.

- Uso potencial de la Cáscara de arroz y la Alúmina de las escorias de fundición de Aluminio como materias primas de la industria cerámica – CASCALUM.

El objetivo principal del proyecto consiste en fijar las bases tecnológicas para la utilización de un subproducto de origen agrícola, la cáscara de arroz, y de un residuo peligroso, la alúmina formada por oxidación directa del metal en la fundición de aluminio, como materias primas en la Industria Cerámica.

- Un proyecto para desarrollar un nuevo material plástico a partir de Cáscaras de Arroz fue galardonado con el premio Empresa Europa 2007.

El objetivo principal de la investigación ha sido diseñar, producir y optimizar estructuras innovadoras para el cultivo de pescados y mariscos. El nuevo material compuesto se ha obtenido mediante la incorporación de un desecho de cultivo (cáscara de arroz con fibras naturales) a un material plástico reciclado. El innovador desarrollo genera un menor impacto ambiental por el reciclaje de materiales. El material resultante de la investigación presenta un mayor valor añadido puesto que mejora las propiedades de los productos existentes actualmente en cuanto a resistencia. El éxito del proyecto abre nuevas posibilidades de uso, sobre todo en productos para zonas de altos índices de humedad.

- El uso de la Ceniza de Cáscara de Arroz como estabilizante de suelos para pavimentos. Los suelos arenosos muchas veces no presentan propiedades adecuadas como materiales de capas de base o sub-base de pavimentos. Sin embargo, son muy frecuentes en las regiones de cultivo de arroz. Los materiales de mejor calidad se localizan lejos de los

caminos vecinales de salida de la producción de arroz, y su uso resulta una alternativa de elevado costo de transporte. "La evaluación de la estabilización de suelos arenosos con adición de ceniza de cáscara de arroz y cal es una alternativa de interés. Siendo que la ceniza de cáscara de arroz está compuesta entre 90 y 96% por sílice, proporcionaría a los suelos la sílice necesaria para reaccionar con la cal y formar productos puzolánicos, obteniéndose así materiales más resistentes, menos deformables y más durables", los materiales compuestos de suelos arenosos, ceniza de cáscara de arroz y cal son potencialmente utilizables para la construcción de capas de pavimentos de bajo a mediano volumen de tránsito, con posibles beneficios económicos y ambientales, al habilitar el uso de suelos arenosos locales con reducción de costos de transporte y el aprovechamiento de un residuo como es la ceniza de cáscara de arroz.

Debido a la poca atención que se le da a la cascarilla de arroz para poder aplicarla y otorgarle un valor agregado apropiado, no se le ha dado un uso final provechoso, aunque algunos países le den ciertas aplicaciones. Es importante mencionar que ninguna de las alternativas de uso señaladas anteriormente demanda la producción total de cascarilla de arroz que se genera en el mundo (Salgado, 2005)

1.5 El arroz en el mundo

1.5.1 Producción mundial de arroz.

El cultivo del arroz comenzó hace casi 10 000 años, en muchas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Posiblemente sea la India el país donde se cultivó por primera vez el arroz debido a que en ella abundaban los arroces silvestres. Pero el desarrollo del cultivo tuvo lugar en China, desde sus tierras bajas a sus tierras altas, probablemente hubo varias rutas por las cuales se introdujeron los arroces de Asia a otras partes del mundo (Bray, 1986; Huke, 1990; Chandler, 1992 y Berni, 1994).

El arroz es el alimento básico para más de la mitad de la población mundial (no es “otro alimento” sino que, para tres de cada cinco habitantes del planeta, es “el alimento”, el cereal por excelencia), aunque es el más importante del mundo si se considera la extensión de la superficie en que se cultiva y la cantidad de personas que depende de su cosecha (USDA, 2002). En el ámbito mundial, el arroz ocupa el segundo lugar después del trigo si se considera la superficie cosechada, pero si se considera su importancia como cultivo alimenticio, el arroz proporciona más calorías por hectárea que cualquier otro cultivo de cereales (FAO, 2007). Además de su importancia como alimento, el arroz proporciona empleo al mayor sector de la población rural de la mayor parte de Asia, pues es el cereal típico del Asia meridional y oriental, aunque también es ampliamente cultivado en África y en América, y no sólo ampliamente sino intensivamente en algunos puntos de Europa meridional, sobre todo en las regiones mediterráneas (FAO, 2008)

La producción mundial a inicios del siglo XX era de unos 140 millones de toneladas de arroz cáscara, en un área de 80 millones de hectárea, para un rendimiento de 1.7 t/ha. En aquel entonces, la India y la China producían 40 % del total, cada una.

A mediados de siglo, la producción había subido a 168 millones de toneladas en un área de 103 millones de hectáreas. Los rendimientos permanecían alrededor de 1.6 t/ha. Al finalizar el siglo, se produjeron casi 600 millones de toneladas en 154 millones de hectáreas y los rendimientos se dispararon a 3.9 t/ha.

Hoy la producción mundial de arroz es de 736 680 miles de toneladas, con un rendimiento promedio de 4,6 t/ha; su distribución por regiones del mundo está geográficamente concentrada y más del 85% proviene de Asia. Tan solo siete países asiáticos producen y consumen el 80% del arroz del mundo, ver el gráfico siguiente:

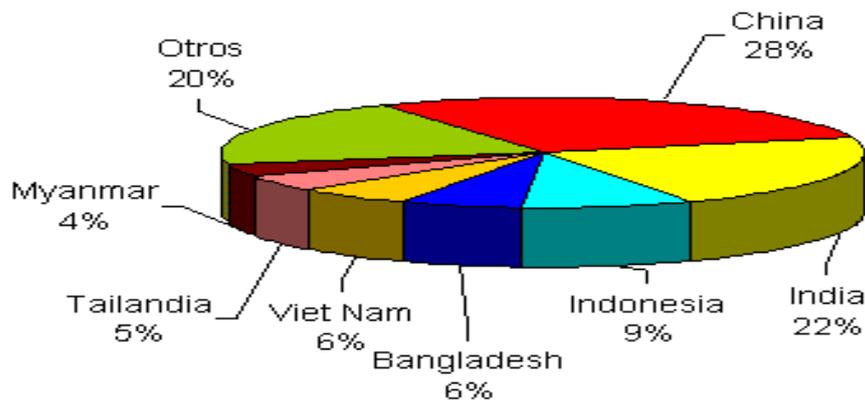


Gráfico No.1. Producción mundial de arroz cáscara. (Fuente: FAO, 2008)

1.5.2 El Arroz en Cifras (FAO, 2008).

- Se produce arroz en 113 países, es el alimento básico de más de la mitad de la población mundial.
- En el mundo en desarrollo el arroz proporciona el 27 % de la energía alimentaria y el 20 % de las proteínas.
- La producción de arroz es la principal actividad y fuente de ingresos de unos 100 millones de hogares en Asia y África.
- De los 840 millones de personas que padecen hambre crónica, más del 50 % vive en zonas que dependen de la producción de arroz para alimentarse, obtener sus ingresos y empleo.
- Los pequeños campesinos producen cerca de cuatro quintas partes del arroz mundial, para consumo local.

El arroz se denomina en general de acuerdo al tratamiento a que es sometido, así: arroz paddy verde tierno, con la gluma o cáscara, es cosechado y transportado rápidamente a los centros de secado y almacenaje, donde para acondicionarlo se limpia de impurezas y se le extrae un 12% de humedad, luego se deja reposar en silos por un mes y se somete al proceso de descascamiento, es decir, se le elimina la gluma o cáscara, obteniéndose el arroz cargo, pardo o integral. Con máquinas centrífugas se le elimina entonces la película de color marrón, el afrecho, que lo recubre, para obtener el arroz blanco pulido, el que se clasifica en arroz entero y partido o de 1ra, 2da y 3ra,

los dos últimos son destinados a la industria para la elaboración de harinas precocidas, bebidas en polvo, cereales para desayuno, harinas, espesantes, alimentos infantiles y como alimento balanceado para animales.

La cáscara de arroz y la paja, son los residuos agrícolas más importantes en cantidad, acumulando el 43 % del total de residuos. Más del 97 % de la cáscara producida a nivel mundial se genera en los países en vías de desarrollo. Por ejemplo, China genera 55 millones de toneladas de cáscara cada año, mientras que la India produce 22 millones de este residuo. La producción anual mundial de cáscara de arroz está alrededor de los 132 millones de toneladas, que constituye un potencial energético anual de 1.98×10^9 GJ, correspondiente a un valor calórico de 15 Mj/ Kg.

1.6 Producción de Arroz en Cuba.

Es una verdad que el arroz constituye el primer plato de la mesa cubana desde los días iniciales de la colonización española, lo cual explica que su crecimiento haya sido proporcional al aumento sostenido de la población. Por tales razones, el blanco grano ha figurado siempre en los primeros lugares de la larga lista de las importaciones cubanas, con sus altas y bajas, según las posibilidades económicas y de otra índole del país. En correspondencia con la necesidad económica y social de diversificar la producción, prerrequisito para reducir la dependencia del mercado exterior y la incontenible espiral de gastos en moneda libremente convertible, desde los primeros años posteriores al triunfo de la Revolución comenzaron a ejecutarse proyectos arroceros, tanto en el orden agrícola como industrial, cuyo desarrollo fue mellado severamente por los efectos del bloqueo.

1.6.1 Siembra y Superficie Existente Sembrada de Arroz.

I. Siembra.

Al cierre del año 2008, de las 112,2 miles de hectáreas sembradas de arroz en todo el país, el 74,0% pertenecen al Sector No Estatal con 83,0 miles de hectáreas y de éstas, el 64,1% pertenecen a campesinos asociados a Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS), campesinos dispersos y parceleros. (Ver gráfico No. 2).

En el levantamiento, las provincias Pinar del Río, Sancti Spiritus y Granma en conjunto, abarcan el 65,8% del total de la superficie sembrada durante el año con 16,9 miles de hectáreas que sumadas con Ciego de Ávila, Cienfuegos, Matanzas y Camagüey abarcan el 90,7%, al alcanzar 23,3 miles de hectáreas. (Tabla No.1, Anexo No.3) ver además la figura No.2 que muestra la distribución de siembra en el país.

Siembra de Arroz. Año 2008

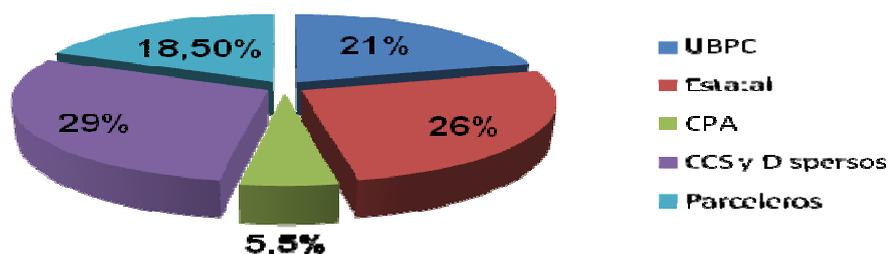


Gráfico No.2 (Fuente: ONE, Diciembre 31/ 2008)

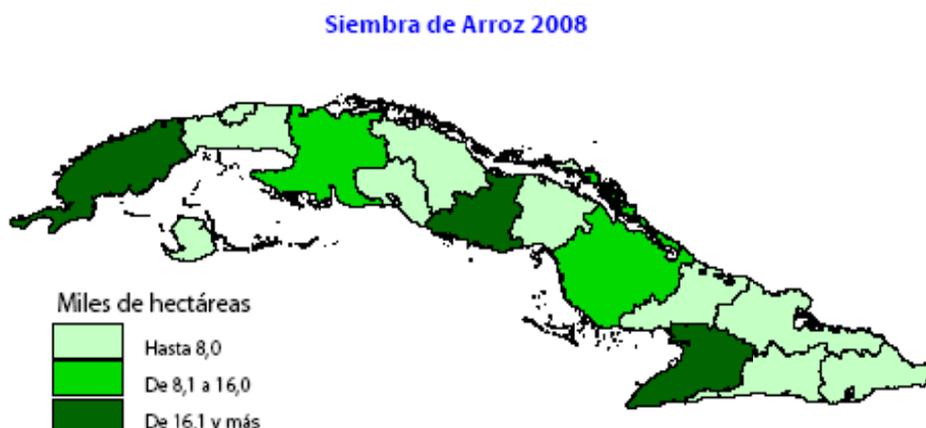


Figura No. 2
ONE, Diciembre 31/ 2008.

I. Superficie existente sembrada.

Con respecto al año anterior, la superficie existente sembrada reportada en el levantamiento disminuye 7,1% que equivale a 400,0 miles de hectáreas.

De las 32,1 miles de hectáreas existentes sembradas, el 73,2% pertenecen al Sector No Estatal con 23,5 miles de hectáreas y de éstas, el 60,0% pertenece a

campesinos asociados a Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS), campesinos dispersos y parceleros.

En el levantamiento, Pinar del Río con 1,4 miles de hectáreas, representa el 26,9% de la superficie existente sembrada y sumada con Matanzas y Granma alcanzan 3,2 miles de hectáreas que equivalen al 61,5% de la misma. (Ver anexo No.3)

Superficie Existente Sembrada de Arroz. Año 2008

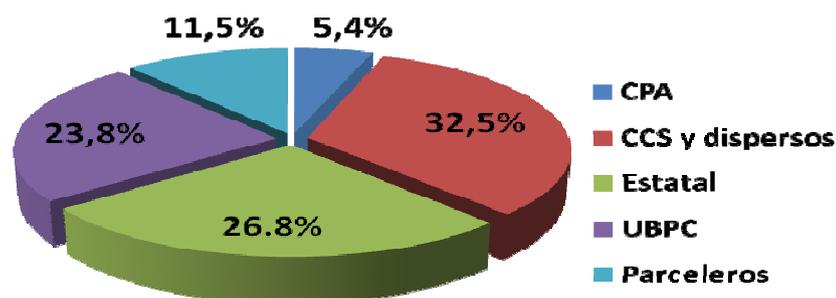


Gráfico No.3 (Fuente: ONE, Diciembre 31/2008)

1.6.2 A partir de 1996, el cultivo del arroz a pequeña escala tomó auge, y mediante el *Programa Nacional de Producción Popular de Arroz* comenzó a tener un soporte técnico y organizativo. Vietnam y China son los dos países asiáticos que más están colaborando con Cuba para promover en la Isla la cultura milenaria de esas naciones en la producción del grano.

Un proyecto patrocinado por el Instituto Técnico de Vietnam se dirige a transmitir las experiencias en la producción familiar. Ahora, con la asesoría de ese país se introduce una tecnología experimental, más fácil y de mayor productividad en la siembra.

El sistema productivo está basado en métodos sostenibles que comprenden el laboreo manual, las siembras de trasplante, el establecimiento de bancos de semillas con variedades adecuadas a las características regionales, y el uso de fertilizantes orgánicos y bioplaguicidas, entre otros aspectos.

Hoy cerca de unas 180 mil personas, de cooperativas y entidades productivas, así como productores individuales que recibieron tierras en usufructo gratuito, se han incorporado a la obtención del alimento más demandado en la mesa de los cubanos, cuyo consumo se calcula sobre los 60 kilogramos per cápita por

año. En el gráfico No 4. Se puede observar la producción de arroz cáscara en Cuba en los últimos 7 años.

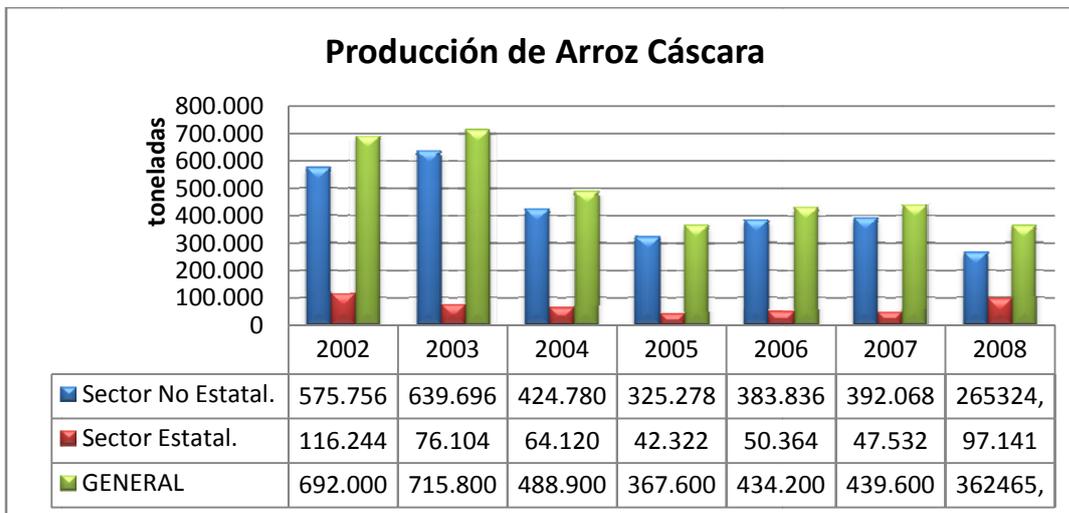


Gráfico No.4 (Fuente: ONE, Diciembre 31/2008)

Tabla No.2 Comportamiento anual de la producción de Cascarilla de Arroz en Cuba.

AÑO	Producción de Arroz Cáscara (t)	Producción de Cascarilla de Arroz (t)
2008	362 465	72 493
2007	439 600	87 920
2006	434 200	86 840
2005	367 600	73 520
2004	488 900	97 780
2003	715 800	143 160
2002	692 000	138 400

Fuente: Autor.

1.7 Producción del arroz en Cienfuegos.

La provincia Cienfuegos posee producción de arroz en los ocho municipios que la conforman, aunque en esta valoración se estudian los seis de mayores volúmenes donde existen un total de 39 Consejos Populares tributarios pertenecientes a dichos municipios, razón por la cual no se incluyen los municipios de Cienfuegos y Cumanayagua

Las áreas que se valoran en este estudio se ubican en los municipios siguientes, según la Tabla No. 3.

Tabla No. 3

Municipios tributarios	Cantidad de Consejos populares	Áreas productoras (ha)	
		Actual	Perspectiva
Aguada de Pasajeros	6	2851.7	3356.3
Rodas	8	944.7	2241.1
Abreus	6	415.3	2093.1
Santa Isabel de las Lajas	6	335.0	1026.8
Cruces	7	742.6	1876.0
Palmira	6	555.2	2036.0
TOTAL	39	5844.5	12629.3

Fuente: ENPA, MINAGRI 2008.

1.7.1 Nivel de producción anual actual.

Los municipios estudiados en el presente trabajo, producen un total de 24 287.7 t de arroz cáscara en las 5845.1 ha que se siembran actualmente, obteniéndose 4857,54 t de cascarilla. Por municipio se comporta como se muestra en la tabla que aparece a continuación:

Tabla No.4

Municipios	Producción de Arroz Cáscara (t).	Producción de Cascarilla de Arroz (t)
Aguada de Pasajeros	12880.2	2576.04
Abreus	3385.6	677,12
Rodas	1163.0	232,6
Santa Isabel	1407.2	281,44

de las Lajas		
Cruces	3341.7	668,34
Palmira	2110.0	422
TOTAL	24287.7	4857,54

Capítulo 2

CAPÍTULO 2.

Cálculo del Quemador Doble Turbulizador Estático (QDTE).

2.1 Sistema de combustión del diesel.

El esquema tecnológico para el calentamiento de aire que se utiliza como agente de calentamiento en la torre de secado de arroz cáscara básicamente está compuesto por un quemador de diesel, tubos de mezclado y el ventilador de gases calientes (VGC), como se puede apreciar en la Figura 3. Cuando se produce la combustión de cierta cantidad de gasoil-diesel se produce un volumen total de los gases de la combustión (V_{gc}). Este V_{gc} al mantenerse a muy altas temperaturas, en comparación con la temperatura exigida por el secado ($t_S = 60$ a 70 °C), se realiza con una cierta cantidad de aire ambiente (V_{ad}), esta masa adicional de aire «frío» (V_{ad}), al igual que los gases de la combustión (V_{gc}) son succionados por el ventilador de gases calientes (VGC) y en la descarga de este se obtiene una mezcla (gas de combustión + aire «frío») que debe cumplir con las exigencias técnicas del proceso de secado, para lo cual se debe llevar el correcto control operacional.

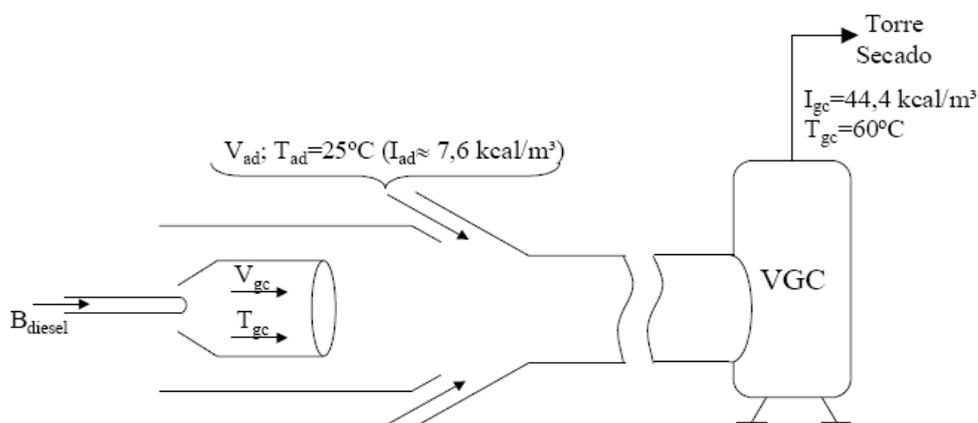


Figura No. 3. Sistema de combustión y mezclado.

2.2 Descripción y fundamentación del esquema térmico del QDTE

En la Figura No.1 se muestra la representación esquemática de los procesos del calentamiento del aire para realizar el secado del grano, utilizando la

cascarilla de arroz como el combustible que oferta la energía que es demandada en las torres de secado o secadores.

Cuando se realiza la quema de cascarilla de arroz en el quemador con doble Turbulizador estático, al igual que en otros sistemas de combustión de suspensión, una parte apreciable de las cenizas volante y de partículas incandescentes tienden a ser arrastradas con el flujo de los gases de la combustión, por lo que no resulta recomendable enviar dichos gases directamente a las torres de secado, para evitar la posible contaminación e incendio del producto o arroz cáscara.

En este esquema tecnológico se utilizan dos calentadores de aire tubulares (CAT) que utilizan como agente portador del calor los gases del esquema de la cascarilla.

El primer CAT incrementará la temperatura de una determinada masa o flujo de aire, que es alimentado por el ventilador de aire, y lo envía directamente a las torres de secado, el segundo CAT calienta otra determinada masa de aire suministrada también por el ventilador de tiro forzado VTF y la envía al QDTE para el proceso de combustión, esto contribuye al mejoramiento de la eficiencia del proceso de combustión y de toda la instalación térmica.

De esta manera el esquema tecnológico garantiza la energía necesaria en el proceso de secado y el de combustión, sin el riesgo de contaminación o incendio antes señalado. Los gases de la combustión en su recorrido hacia el CAT fluyen a través de un separador de cenizas volante, con el propósito de disminuir en lo posible el ensuciamiento de la pared interior de los tubos. Estos CAT deben estar provistos de tapas laterales para la inspección y limpieza de los tubos. El esquema tecnológico pudiera incluir separadores ciclónicos o ciclones intercambiadores de calor cuando se tenga como propósito producir cenizas como subproductos de alto valor agregado, además del calor para el proceso de secado.

2.3 Cálculo de los componentes del Esquema Tecnológico para quemar Cascarilla.

Los cálculos necesarios para poder solucionar y diseñar cada uno de los componentes del esquema tecnológico para la combustión de la cascara de arroz, en un QDTE en un horno de secado son los siguientes:

1. Determinación de la granulometría y el diámetro aerodinámico equivalente de las partículas de la cascarilla.
2. Dimensionamiento de QDTE, para la capacidad térmica del horno de capa cónica deslizante de la torre de secado.
3. Cálculo térmico constructivo del Calentador de Aire Tubular (CAT).
4. Selección del Ventilador de Tiro Forzado (VTF).

A continuación se desarrollan, separadamente cada uno de los cálculos.

1. Cálculo del diámetro aerodinámico equivalente. Tiempo total de combustión.

I.- Cálculo del tiempo total de combustión (**Ttc**).

Tiempo total de la Combustión $dp=1.5$
 $dp=1.7$

Tiempo total de la Combustión

$$Ttc \equiv 2.64 * dp^{0.85}$$

$$Ttc \equiv 2.64 * dp^{0.85}$$

$$Ttc = 3.72seg$$

$$Ttc = 4.14seg$$

II.- Cálculo Del (**Ts+tv**)

$$(Ts+tv)=0,44*dp^{0,85}$$

$$(Ts+tv)=0,44*dp^{0,85}$$

Para $dp=1,5mm$

para $dp=1.7mm$

$$(Ts+tv)=0.621 seg$$

$$(Ts+tv) =0.690 seg$$

Ts----- Tiempo de secado.

Tv----- Tiempo de combustión de los volátiles.

III.- Diámetro aerodinámico equivalente (**Dae**).

Para $dp \leq 1,5\text{mm}$

$$Dae = \frac{2.66 * dp}{12.26 + dp}$$

$$Dae = \frac{2.66 * 1.5}{12.26 + 1.5} = 0.29\text{mm}$$

Para $dp \leq 1,7\text{mm}$

$$Dae = \frac{2.66 * dp}{12.26 + dp}$$

$$Dae = \frac{2.66 * 1.7}{12.26 + 1.7} = 0.324\text{mm}$$

IV.- Por Ciento de masa de combustible respecto a la masa total de la partícula (**Fm**).

$$Fm = 7.149 * Dae^{-1.678 * Dae}$$

$$Fm = 7.149 * 0.29^{-1.678 * 0.29}$$
$$Fm = 13.057\%$$

$$Fm = 7.149 * 0.32^{-1.678 * 0.32}$$
$$Fm = 13.18\%$$

2. Dimensionamiento de QDTE, para la capacidad térmica del horno de capa cónica deslizante de la torre de secado.

A.- Determinación de los flujos de Aire y el coeficiente de exceso de aire.

1.- Gasto de aire para el transporte neumático (Gt.n)

$$Gt.n = \frac{Gm}{\mu}$$

$$Gm = Bc = 0,174$$

$$\mu = 0.6 \frac{Kg \text{ de materiales}}{Kg \text{ de aire} / s}$$

$$Gt.n = \frac{0.014}{0.6}$$
$$Gt.n = 0.023 \text{ Kg aire} / s$$

2.- Flujo Volumétrico de Aire para el transporte Neumático. (Qt.n)

$$Qt.n = \frac{Gt.n}{\rho_{\text{aire}} 30^0} = \frac{0.023 \text{ Kg} / s}{1.165 \text{ Kg} / s}$$
$$Qt.n = 0.02 \text{ m}^3 / s$$

3.- Flujo Volumétrico de Aire Primario. (Qap)

$$Qap = Qt.n = 0.02 \text{ m}^3 / s$$

4.- Cantidad Teórica de Aire para Quemar Cáscara de Arroz. (Va°)

$$Va^{\circ} = 4.3 \text{ m}^3 \text{ N} / \text{Kg}$$

5.- Flujo teórico total para quemar Cáscara de Arroz. (Qa.teo,total)

$$Qa.teo, total = Va^{\circ} * \left(\frac{273 + 30}{273} \right) * Bc$$

$$Q_{a,teo,total} = 4.3 * \left(\frac{273+30}{273}\right) * 0.014$$

$$Q_{a,teo,total} = 0.067 m^3 / s$$

6.- Flujo de aire secundario. (**Q_{as}**)

$$Q_{as} = 0.8 * Q_{a,teo,total}$$

$$Q_{as} = 0.8 * 0.067 = 0.0536$$

$$Q_{as} = 0.054 m^3 / s$$

7.- Coeficiente de exceso de aire a través del quemador. (**α_{quemador}**)

$$\alpha_{quemador} = \alpha_{primario} + \alpha_{secundario}$$

$$\alpha_{primario} = \frac{Q_{ap}}{Q_{a,teo,total}} = \frac{0.02}{0.067} = 0.298$$

$$\alpha_{primario} = 0.3$$

$$\alpha_{secundario} = \frac{Q_{as}}{Q_{a,teo,total}} = \frac{0.054}{0.067} = 0.8059$$

$$\alpha_{secundario} = 0.80$$

$$\alpha_{quemador} = 0.3 + 0.80 = 1.10$$

8.- Flujo de Aire terciario (**Q_{a,ter}**)

$$Q_{a,ter} = 0.20 * Q_{a,teo,total}$$

$$Q_{a,ter} = 0.20 * 0.067 = 0.134$$

$$Q_{a,ter} = 0.0134 m^3 / s$$

9.- Coeficiente de Aire terciario (**α_{terc}**)

$$\alpha_{ter} = \frac{Q_{a.ter}}{Q_{a.teo,total}} = \frac{0.0134}{0.067}$$
$$\alpha_{ter} = 0.2$$

10.- Coeficiente de exceso de aire total (**α_{total}**)

$$\alpha_{Total} = \alpha_{primario} + \alpha_{secundario} + \alpha_{terciario}$$

$$\alpha_{Total} = 0.30 + 0.80 + 0.20$$
$$\alpha_{Total} = 1.30$$

11.- Flujo total Real de Aire (**$Q_{a.total.real}$**)

$$Q_{a.total.real} = \alpha_{total} * Q_{a.teor.total}$$
$$Q_{a.total.real} = 1.30 * 0.067$$
$$Q_{a.total.real} = 0.087 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Resumen Parcial.

Flujo de Aire Primario: **$Q_{ap}=0.02 \text{ m}^3 / \text{s}$**

Flujo de Aire Secundario: **$Q_{as}=0.054 \text{ m}^3 / \text{s}$**

Flujo de Aire Terciario: **$q_{ter}=0.0134 \text{ m}^3 / \text{s}$**

Flujo Total de Aire: **$Q_{total.real} = 0.087 \text{ m}^3 / \text{s}$**

Coeficiente de exceso de Aire: **$\alpha=1.30 \text{ m}^3 / \text{s}$**

B.- Dimensionamiento de los Canales Primarios y Secundarios.

1.- Área Anular del canal o conducto primario (Acp)

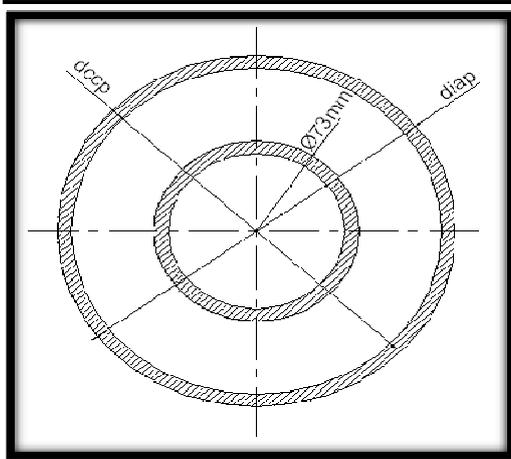


Figura No. 4

2.- Dimensionamiento del tubo guía:

$$\phi_i = 63.5mm = r_i = \frac{63.5}{2} = 31.75$$

$$\phi_e = 73mm = r_e = \frac{73}{2} = 36.5$$

- Velocidad recomendada en el Área anular del conducto primario (Va.p)

$$Va.p = 10m/s$$

$$Ac.p = \frac{Qa.p}{Va.p} = \frac{0.02}{10}$$
$$Ac.p = 0.002m^2$$

3.- Diámetro interior del Conducto Primario (**Dicp**)

$$A_{c.p} = 0.785 * (d_{icp}^2 - d_{etguía}^2)$$

$$d_{icp} = \sqrt{\frac{A_{c.p}}{0.785} + d_{etg}^2} = \sqrt{\left(\frac{0.002}{0.785} + 0.73^2\right)}$$
$$d_{icp} = 0.0887 \approx 0.089$$
$$d_{icp} = 0.09 = 90mm$$

4.- Diámetro Exterior del conducto Primario (**dec**).

$$d_{ecp} = d_{icp} + 2 * e_{pared} = 90 + 2 * 3 = 90 + 6mm$$
$$d_{ecp} = 96mm$$

5.- Área Anular del Canal o Conducto Secundario (**Acs**).

- Velocidad recomendada para el conducto secundario (V_{cs})
- $V_{cs}=10m/s$

$$A_{cs} = \frac{Q_{as}}{V_{c.s}} = \frac{0.054}{10}$$
$$A_{cs} = 0.0054m^2$$

6.- Diámetro Interior del Conducto secundario (**dics**).

$$d_{ics} = \sqrt{\frac{A_{cs}}{0.785} + d_{ecp}^2} = \sqrt{\left(\frac{0.0054}{0.785} + 0.096^2\right)}$$
$$d_{ics} = 0.127m = 127mm$$

7.- Diámetro Exterior del conducto secundario (**decs**).

$$d_{ecs} = d_{ics} + 2 * e_s = 127 + 2 * 3$$
$$d_{ecs} = 127 + 6$$
$$d_{ecs} = 133mm = 0.133m$$

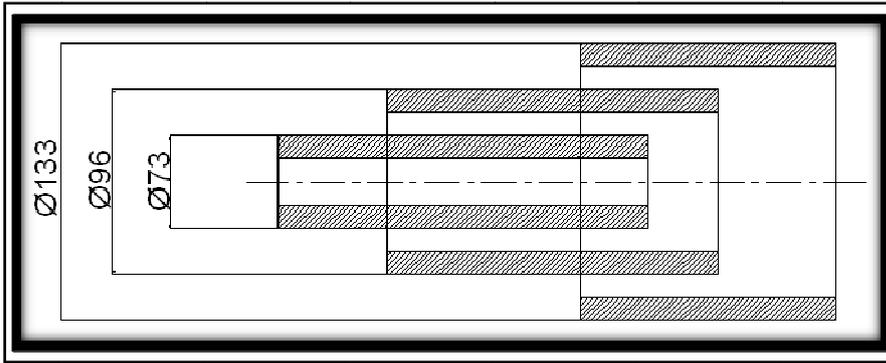


Figura No. 5

C.- Dimensionamiento de la cámara de Combustión

- Intensidad de la Turbulencia : **S=2**
- Ángulo de la Llama: (**φ_{llama}**)

$$\varphi_{llama} = 144 * \left(\frac{s - 0.145}{6.46} \right)^{0.43} = 144 \left(\frac{2 - 0.145}{6.46} \right)^{0.43}$$

$$\varphi_{llama} = 84^{\circ}$$

$$\frac{\varphi_{llama}}{2} = 42$$

- Diámetro máximo de la zona de flujo inverso: (**Dzfi**)

$$D_{ZFI} = \left(\frac{s - 0.8}{4.37} \right)^{0.49} * d_{boca.Quemador}$$

$$D_{ZFI} = \left(\frac{2 - 0.8}{4.37} \right)^{0.49} * 127$$

$$D_{ZFI} = 68mm$$

$$\frac{D_{ZFI}}{2} = 34mm$$

- Distancia Axial, desde la boca del quemador, donde se alcanza el D_{ZFI}
Máximo: **(X1)**.

$$X1 = \left(\frac{\frac{D_{ZFI}}{2}}{\frac{\varphi_{llama}}{2}} \right) = \frac{34}{\text{tg } 42^\circ}$$

$$X1 = 38 \text{ mm}$$

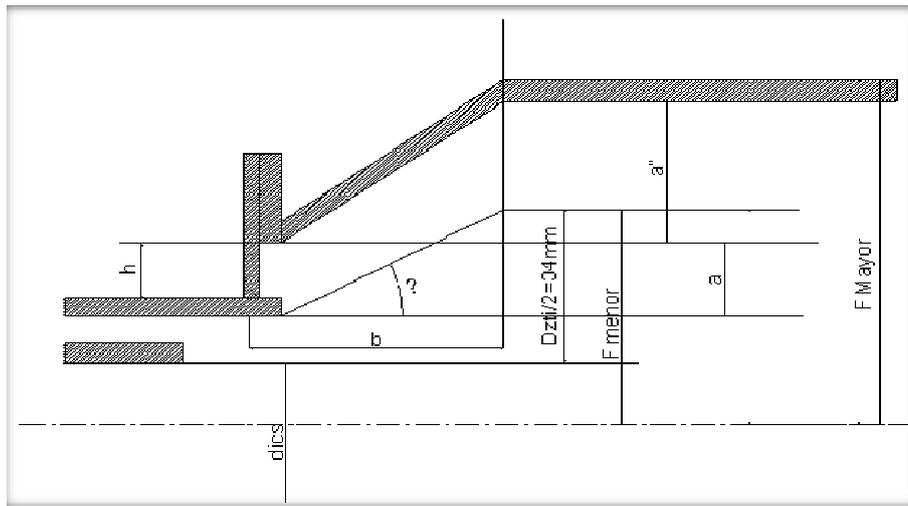


Figura No. 6

- Distancia: **a**

$$a = \frac{D_{ZFI}}{2} \left(\frac{d_{ics}}{2} - \frac{d_{icp}}{2} \right) = 34 - \left(\frac{127}{2} - \frac{90}{2} \right)$$

$$a = 15.5 = 16 \text{ mm}$$

Distancia: **a''**

Asumir $X=X1=38 \text{ mm}$

$$\operatorname{tg} \theta_{cono} = \frac{a''}{X}$$

$$a'' = X * \operatorname{tg} \theta_{cono} = 38 * \operatorname{tg} 30^0 = 21.8$$

$$a'' = 22 \text{ mm}$$

Se cumple que $a'' > a$ por lo que al fabricar el $\theta_{cono} = 30^0$ la llama no choca con el cono.

$$h = \frac{e_{ref}}{\cos \theta_{cono}} = \frac{115}{\cos 30^0} = 132.7$$

$$h = 133 \text{ mm}$$

$$b = 2 * X_1 = 2 * 38$$

$$b = 76 \text{ mm}$$

$$\cos \theta_{cono} = \frac{b}{l_{cono}}$$

$$l_{cono} = \frac{b}{\cos 30^0} = 87.7$$

$$l_{cono} = 88 \text{ mm}$$

$$\phi_{menor} = d_{ics} + (2 * h) = 127 + (2 * 133) = 127 + 266 = 393 \text{ mm}$$

$$\phi_{menor} = 393 \text{ mm} \approx 16 \text{ pu lg}$$

$$\phi_{mayor} = \phi_{menor} + (2 * a'')$$

$$\operatorname{sen} \theta_{cono} = \frac{a''}{l_{cono}}$$

$$a'' = l_{cono} * \operatorname{sen} 30^0 = 88 * 0.5$$

$$a'' = 44 \text{ mm}$$

$$\phi_{mayor} = 481 \text{ mm} \approx 19 \text{ pu lg}$$

3.- Cálculo térmico constructivo del Calentador de Aire Tubular (CAT).

El proceso consiste en utilizar el calor de la combustión de la Cascarilla da arroz, cuyo gases calientan el aire atmosférico, para enviarlo al QDTE para mejorar el proceso de combustión. Al quemarse la cascarilla del arroz debe tenerse en cuenta que los gases de la combustión no se pueden introducir directamente, como agente portador de calor. El sistema prevé un Calentador de Aire Tubular, el cual es un equipo intermedio entre el quemador y los secaderos.

La instalación está compuesta por: Quemador de Doble Turbulizador Estático, Horno, Tubería por donde va la Cascarilla de Arroz, Silo de almacenamiento de combustible (cascarilla de arroz). Consta también de un ventilador de tiro forzado y una Chimenea para el tiro de los gases de escape y un Intercambiador de Calor.

Volúmenes de gases para la Variedad de Arroz LP-5.

C=46.9%

H=5.2%

O=37.8%

S=0.03%

W=7.3%

A=2.6%

Selección del coeficiente de Exceso de Aire.

Para Sólidos el coeficiente de exceso de aire se encuentra en el rango de (1.15-1.25), pero se recomienda utilizar $\alpha=1.35$ porque la mezcla no es rica en combustible.

I.- Determinación del poder calórico inferior.

$$\text{LHV}=339.147 \cdot C + 1265.1 + H + 108.86(S - O) - 25.12(9H + W)$$

$$\text{LHV}=17014 \text{ KJ/Kg}$$

II.- Cálculo de los Volúmenes de los productos de la combustión.

Volumen teórico de aire.

$$V_{a^{\circ}}=0.0889(C+0.375 \cdot S)+0.265 \cdot H-0.0333 \cdot O$$

$$V_{a^{\circ}}=4.29 \text{ m}^3 \text{ N/Kgc}$$

Volumen de gases triatómicos.

$$V_{ro2}=1.866 \frac{C+0.375 \cdot S}{100}$$

$$V_{ro2}=0.87 \text{ m}^3 \text{ N/Kgc}$$

Volumen teórico de nitrógeno.

$$V^{\circ}N_2=0.79 \cdot V_{a^{\circ}} + \frac{0.8N}{100}$$

$$V^{\circ}N_2=3.37 \text{ m}^3 \text{ N/Kgc}$$

Volumen teórico de vapor de agua.

$$V^{\circ}H_2O=0.111 \cdot H + 0.124 \cdot W + 0.032 \cdot V_{a^{\circ}}$$

$$V^{\circ}H_2O=1.67 \text{ m}^3 \text{ N/Kgc}$$

Volumen teórico de gases de salida.

$$V_{gs^{\circ}}=V_{N_2} + V_{ro2}$$

$$V_{gs^{\circ}}=4.247 \text{ m}^3 \text{ N/Kgc}$$

Volumen real de los gases seco.

$$V_{gs}=V_{gs^{\circ}}+(\alpha-1) \cdot V_{a^{\circ}} \quad \text{donde } \alpha=1.35: \text{ coeficiente de exceso de aire.}$$

$$V_{gs}^0 = 5.74 \text{ m}^3 \text{ N / Kgc}$$

Volumen real de agua.

$$V_{H_2O} = V^0_{H_2O} + 0.032 * (\alpha - 1) * V_a^0$$

$$V_{H_2O} = 1.71 \text{ m}^3 \text{ N / Kgc}$$

Volumen real de los gases.

$$V_g = V_{gs} + V^0_{H_2O}$$

$$V_g = 7.45 \text{ m}^3 \text{ N / Kgc}$$

Volumen real de aire.

$$V_a^{real} = \alpha * V_a^0 * \left(\frac{273 + t_a}{273} \right)$$

$$V_a^{real} = 1.35 * 4.3 * \left(\frac{273 + 200}{273} \right)$$

$$V_a^{real} = 10.06 \text{ m}^3 / \text{Kg}$$

Flujo de aire real.

$$Q_a^{real} = V_a^{real} * B_c$$

Donde :

$$B_c = \text{Consumo} = 0.0063 \text{ Kg / s}$$

$$Q_a^{real} = 0.063 \text{ m}^3 / \text{s}$$

III.- Entalpía de los gases de la Combustión (**I'g**).

- Para la temperatura de entrada al CAT de los gases $t'_g = 800 \text{ }^\circ\text{C}$

$$I^{\circ}g = V_{RO_2} * i_{RO_2} + V_{N_2} * i_{N_2} + V_{H_2O} * i_{H_2O}$$

$$I^{\circ}a = V^{\circ}a * i_a$$

$$V_{RO_2} = 0.87 \text{ m}^3 \text{ N / Kgc}$$

$$i_{RO_2} = 407 \text{ Kcal / m}^3$$

$$V_{N_2} = 3.37 \text{ m}^3 \text{ N / Kgc}$$

$$i_{N_2} = 261 \quad \text{Nomograma 13 pág. 179. (NS)}$$

$$V_{H_2O} = 1.71 \text{ m}^3 N / Kgc$$

$$i_{H_2O} = 319 \text{ Kcal} / m^3$$

$$V_a = 5.75 \text{ m}^3 N / Kgc$$

$$i_a = 270 \text{ Kcal} / m^3$$

$$l^{\circ}g = 1715.34 \text{ Kcal} / Kg$$

$$l^{\circ}a = 1158 \text{ Kcal} / Kg$$

$$l'g = l^{\circ}g + (\alpha - 1) * l^{\circ}a$$

$$l'g = 3152 \text{ Kcal} / Kg$$

Se realizan de igual forma los cálculos de las entalpías a partir de 200°C hasta llegar a 900°C, para de esta forma poder obtener la temperatura a la cual salen los gases del calentador de aire; los resultados están en la tabla siguiente de Entalpías.

Tabla No.5 Valores generales de entalpías.

Tg (°C)	lg (Kcal/Kg)
200	734
300	1116
400	1469
500	1822
600	2244.5
700	2667
800	3152
900	3746

3.1.- Diseño del calentador de aire tubular (CAT) para el aire que va a la combustión.

Disposición de los tubos tres bolillos, flujo cruzado a contra flujo.

$$Q_a^{real} = 0.063 m^3 / s \quad \text{Flujo de aire que entra al CAT}$$

$$t'a = 25^\circ C \quad \dots\dots\dots 7.6 \text{ Kcal} / m^3$$

$$t''a = 200^\circ C \quad \dots\dots\dots i''a = 63.6 \text{ Kcal} / m^3$$

$$t''g = 800^\circ C$$

Condición del balance térmico: $Q_{ced} = Q_{ab}$

$$Q_{ab} = \frac{Q_a}{B_c} * (i''a - i'a)$$

$$Q_{ced} = \phi(I'g - I''g + \Delta\alpha I_{af})$$

$\Delta\alpha I_{af}$ = Se desprecia.

Donde:

Q_{ced} = calor cedido

Q_{ab} = calor absorbido.

- **Calor transferido.**

$$Q_{tc} = K * \Delta T * H$$

Donde:

K = Coeficiente global de transferencia de calor.

ΔT = Diferencia de temperatura.

H = Área de transferencia de calor.

$$H = \pi * d_{ext} * L * \frac{Z}{n}$$

Donde:

d_{ext} = Diámetro exterior.

L = Largo del tubo.

Z = Número de Tubos.

n = números de pase del aire.

$$Q_{ab} = \overline{Qa} * cp(\Delta ta) = \overline{Qa}(i''a - i'a)$$

$$Q_{ab} = 0.063(63.6 - 7.6)$$

$$Q_{ab} = 3.53 \text{ Kcal / s}$$

Como :

$$Q_{ad} = Q_{ced} = Q_g(I'g - I''g)$$

Entonces :

$$Q_{ab} = E_{ase} = Bc(I'g - I''g)$$

Donde: φ = coeficiente de efectividad de la utilización del calor ($\varphi = 0,8$)

$$I''g = I'g - \frac{Q_{ab}}{Bc * \varphi}$$

$$I''g = 3152 - \frac{3.53}{0.0063 * 0.80}$$

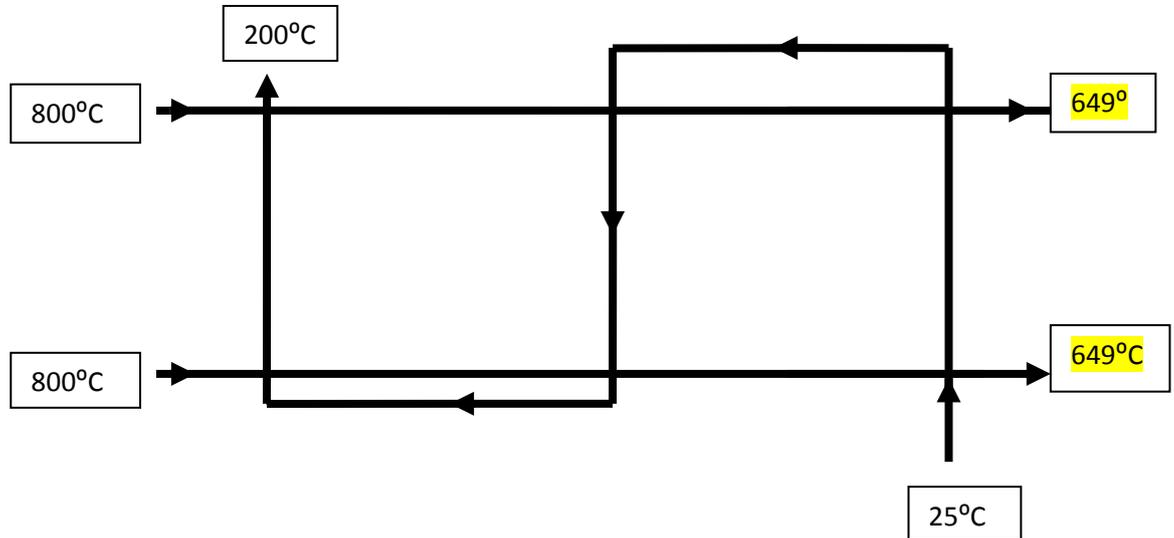
$$I''g = 2452 \text{ Kcal / Kg}$$

Luego se va a la Tabla general de Entalpía para buscar la temperatura de salida de los gases del CAT.

tg	lg
600	2245
t''g	2452
700	2667

$$\frac{tg - 600}{700 - 600} = \frac{2452 - 2245}{2667 - 2245}$$

$$tg'' = 649^{\circ}C$$



Determinación del ΔT .

$$\Delta T = \psi * \Delta T_{cf}$$

Donde:

ψ = Coeficiente de corrección. Se determina por Nomograma 13 pág. 273 (NS).

ΔT_{cf} = Diferencia de Temperatura logarítmica.

Cálculo de Δt_1 y Δt_2 (Variación de temperaturas mayor y menor respectivamente).

$$\Delta t_1 = t''g - t'a$$

$$\Delta t_1 = 624^{\circ}C$$

$$\Delta t_2 = t'g - t''a$$

$$\Delta t_2 = 600^{\circ}C$$

Determinación de ΔT_{cf} .

$$\Delta T_{cf} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{\ln\left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}\right)}$$

$$\Delta T_{cf} = \frac{624 + 600}{\ln\left(\frac{224}{600}\right)}$$

$$\Delta T_{cf} = 615 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Selección de ψ que está en función de (P y R).

$$P = \frac{\Delta t_2}{tg' - ta'} = \frac{600}{800 - 25}$$

$$P = 0.77$$

$$R = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{624}{600}$$

$$R = 1.04$$

Donde: $\psi = 0.8$

$$\Delta T = 0.8 * 615^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 492^\circ\text{C}$$

Determinación del coeficiente global de transferencia de calor, (K)

$$K = \xi * \frac{\alpha_1 * \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

Donde:

ξ = Coeficiente de ensuciamiento, $Wg > 4 \text{ m/s}$ $\xi = 0.85$

α_1 = Coeficiente del lado que cede calor (gases)

α_2 = Coeficiente del lado que absorbe calor (Aire).

$$\alpha_1 = C_\phi * C_s * C_z * \alpha_H$$

$C_{\phi}, C_s, C_z; \alpha_H$ Son coeficientes que relacionan algunos parámetros, como la velocidad y la temperatura (se seleccionan en el nomograma 13 pág. 255 (N.S). Para los gases por el exterior de los tubos.

Para los gases:

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_g} = 0.30$$

$$C\phi = 1.08$$

$$\bar{T}_g = \frac{t'g + t''g}{2} = \frac{800 + 649}{2}$$

$$\bar{T}_g = 725^{\circ}C$$

Para α_H :

$W_g = 10 \text{ m/s}$ Velocidad de los gases (se asume).

$d_{ext} = 40 \text{ mm}$ Diámetro exterior (Recomendado).

$$\alpha_H = 75 \text{ cKcal} / \text{m}^2 \text{ h}^0 \text{ C}$$

Para C_z

$$\frac{S_1}{d_{ext}} = \sigma_1 = \frac{60}{40} = 1.5$$

Para :

$$C_z = 0.7$$

Sustituyendo :

$$\alpha_1 = 75 * 1.09 * 0.7 * 1.08$$

$$\alpha_1 = 61.8 \text{ Kcal} / \text{m}^2 \text{ h}^0 \text{ C}$$

Para el Aire:

$$\alpha_2 = C\phi * C_L * C_H$$

$$\bar{t}_{aire} = \frac{200 + 25}{2} = 112.5^{\circ}C$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_g} = 0.27$$

$$C\phi = 0.8$$

$$C_L = 1.0$$

$$\bar{T}_{pared} = \frac{\bar{t}_a + \bar{t}_g}{2} = \frac{112.5 + 725}{2}$$

$$\bar{T}_{pared} = 419 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para α_H

$W_a = 5 \text{ m/s}$ Velocidad del aire (se recomienda entre 4.5 y 6.0 m/s)

$D_{int} = 37 \text{ mm}$ diámetro interior (recomendado)

$$\alpha_H = 18.7 \text{ Kcal} / \text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}$$

Sustituyendo:

$$\alpha_2 = 0.88 * 1.0 * 18.7$$

$$\alpha_2 = 16.5 \text{ Kcal} / \text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}$$

Sustituyendo en la ecuación de coeficiente global de transferencia de calor (K):

$$K = 0.8 * \frac{61.8 * 16.5 * \alpha_2}{61.8 + 16.5}$$

$$K = 10.42 \text{ Kcal} / \text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}$$

$$K = 0.00289 \text{ Kcal} / \text{m}^2 \text{s}^\circ\text{C}$$

Determinación de la superficie de transferencia de calor (H).

$$Q_{ab} = K * \Delta T * H$$

$$\text{Despejando.....} H_{TC} = \frac{Q_{ab}}{K * \Delta T}$$

Se determina el calor adsorbido expresado en Kcal/Kg por la fórmula.

$$Q_{ab} = Q_a * (i'' - i'_a)$$

$$Q_{ab} = 0.063 * (63.3 - 7.6)$$

$$Q_{ab} = 3.5 \text{ Kcal / Kg}$$

$$H=3 \text{ m}^2$$

Determinación del flujo de los gases (Q_g).

$$Q_g = V_g * B_C * \left(\frac{273 + \bar{t}_g}{273} \right)$$

$$Q_g = 7.45 * 0.0063 * \left(\frac{273 + \bar{725}}{273} \right)$$

$$Q_g = 0.172 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\bar{t}_g = \frac{t''_g + t'_g}{2} = \frac{800 + 649}{2}$$

$$\bar{t}_g = 725^0 \text{ C}$$

Cálculo de la superficie de flujo de gases (H_g).

$$F_g = \left(\frac{Q_g}{W_g} \right) = \frac{0.172}{5}$$

$$F_g = 0.034 \text{ m}^2$$

$$a = 200 \text{ mm} = 0.2 \text{ m}$$

$$Z_1 = \left(\frac{a - d_{ext} - 2 * e}{S_1} \right) + 1 = \left(\frac{0.2 - 0.04 - 2 * 0.01}{0.06} \right)$$

$$Z_1 = 4$$

$$b = \frac{F_g}{a - d_{ext} * Z_1} = \frac{0.034}{0.2 - 0.04 * 4}$$

$$b = 0.860m$$

$$\eta_{total-tubos} = \frac{H_{TC}}{\pi * d_{ext} * L} = \frac{3}{\pi * 0.04 * 0.860}$$

$$\eta_{total-turbo} = 28tubos$$

$$Z_1 = 4$$

$$Z_1 = 3$$

2 filas con 4 tubos.

1 fila con 3 tubos

Total de tubos = 11tubos

11 tubos por pase

Cantidad de pases = 3

Cantidad total de tubos: 11x 3 = 33 tubos

$$H_{TC.Diseño} = \pi * d_{ext} * l_{tubos} * \eta_{total.de.tubos}$$

$$H_{TC.Diseño} = 3.14 * 0.04 * 0.860 * 33$$

$$H_{TC.Diseño} = 3.56m^2$$

Recálculo de la superficie del flujo de gases. (Hgr).

$$H_{gr} = a * L - L * d_{ext} * \pi_1$$

$$H_{gr} = 0.2 * .86 - 3.14 * 0.04 * 0.86$$

$$H_{gr} = 0.064$$

Determinación de la velocidad de los gases (W_g).

$$W_g = \frac{Q_g}{H_{gr}} = \frac{0.172}{0.064}$$

$$W_g \approx 3m/s$$

Superficie de paso de aire (H_a).

$$H_a = \frac{\pi * d_{int}^2 * Z_p}{4} = \frac{\pi * 0.036^2 * 11}{4}$$

$$H_a = 0.0112m^2$$

Z_p = cantidad de tubos en un paso de aire: 11.

Velocidad real del aire (W_a).

$$W_a = \frac{Q_a}{H_a} = \frac{0.063}{0.0112}$$

$$W_a = 5.63m/s$$

Cálculo de la altura de un pase (h).

$$h = 2e + d_{ext} + S_2(Z_2 - 1)$$

$$h = 0.04(3 - 1) + 0.04 + 2 * 0.01$$

$$h = 0.14m$$

4.- Selección del ventilador de tiro forzado.

$$Q_{vent} = 1.1 * Q_{airetotal .dis}$$

$$Q_{vent} = 1.1 * 0.0945$$

$$Q_{vent} = 0.104 m^3 / s$$

$$H_{vent} = 1.20 * \Delta H_{aire}$$

H_{vent} -----Caída de presión en todos los conductos de aire, entre el VTF y la entrada en la zona de combustión.

Caída de presión en el CAT por el lado del Aire, ΔP_{CAT}

$$\Delta P_{CAT} = \Delta P_{Entrada} + \Delta P_{Salida} + \Delta P_{Tubos}$$

- Caída de presión en el interior de los tubos del CAT. (ΔP_{Tubos})

$$\Delta P_{Tubos} = \lambda \frac{l}{d_{int}} * \frac{W^2}{2} \rho * \left(\frac{2}{\sqrt{\frac{T_{ave}}{T+1}}} \right)^2, \text{ en mm de } H_2O$$

Donde:

d_{int} ----- Diámetro interior de los tubos

$$d_{int} = d_{Ext} - 2 * esp = 40 - 2 * 2$$

$$d_{int} = 0.036 \text{ m}$$

l ----- Longitud total de los tubos .

$$l = 0.5 \text{ m}$$

W ----- Velocidad del aire en el interior de los tubos.

$$W = W_a = 6 \text{ m/s}$$

ρ - Densidad del aire en el interior de los tubos, $\frac{Kg - s^2}{m^4}$

$$\rho_0 = 0.132 * \frac{Kg - s^2}{m^4}$$

T – Temperatura de la pared.

$$T = \bar{t}_a + 273$$

$$\bar{t}_a = \frac{t_a' + t_a''}{2} = \frac{25 + 200}{2}$$

$$\bar{t}_a = 112.5^\circ C$$

$$T = 112.5 + 273$$

$$T = 385.5^\circ K$$

T_{pared} ----- Temperatura de la pared.

$$T_{pared} = \frac{\bar{t}_a + \bar{t}_g}{2} + 273$$

$$\bar{t}_g = \frac{t_g' + t_g''}{2} = \frac{400 + 266}{2}$$

$$\bar{t}_g = 333^\circ C$$

$$T_{pared} = \frac{112.5 + 333}{2} + 273$$

$$T_{pared} = 495.8^\circ K$$

λ -- Coeficiente de resistencia, en función del número de Reynolds de la rugosidad de la tubería.

$$Re = \frac{w * d_{int}}{\gamma}$$

γ --- viscosidad cinemática del aire.

Temperatura (°C)	$\gamma_a * 10^6 m/s$
0	13.2
100	23.2
112.5	--
200	34.8

Interpolando:

$$\frac{112.5 - 100}{200 - 100} = \frac{\gamma_a - 23.2}{34.8 - 23.2}$$

$$\gamma_a = 24.65 * 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$\text{Re} = \frac{3 \text{ m/s} * 0.036}{24.65 * 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}}$$

$$\text{Re} = 4380$$

Para: $4 * 10^3 \leq \text{Re} \leq 100 * 10^3$

$$\lambda = \frac{0.316}{\sqrt[4]{\text{Re}}}$$

$$\lambda = \frac{0.316}{\sqrt[4]{4380}} = 0.0388$$

Sustituyendo:

$$\Delta P_{\text{Tubos}} = 0.0388 \frac{0.5}{0.036} * \frac{6^2}{2} * 0.132 * \left(\frac{2}{\sqrt{\frac{495.8}{385.5 + 1}}} \right)^2$$

$$\Delta P_{\text{Tubos}} = 1.123 \text{ Kg} / \text{m}^3 (\text{mm.de.H}_2\text{O}) - \text{en.un.pase}$$

$$\Delta P_{\text{Tubos}} = 1.123 \text{ mm.de.H}_2\text{O}$$

$$\Delta P_{\text{Tubos .Total}} = \eta_{\text{pases}} * \Delta P_{\text{Tubos}}$$

$$\Delta P_{\text{Tubos .Total}} = 6.74 \text{ mm.de.H}_2\text{O) Kg} / \text{m}^2$$

- Pérdidas en el di de entrada ($\Delta P_{\text{difusor.entrada}}$)

$$\Delta P_{\text{difusor}} = \delta_{\text{difusor}} * \frac{w^2}{2} * \rho$$

$$\delta_{\text{difusor}} = \varphi_f * s_{\text{entrada}}$$

s_{entrada} ---Coeficiente de entrada por cambio de sección en el difusor de entrada.

$$s_{\text{entrada}} = f\left(\frac{F_{\text{menor}}}{F_{\text{mayor}}}\right)$$

F_{menor} ----- Área del conducto menor.

F_{mayor} ----- Área del conducto mayor.

$$h = b_2 = s_2 * (Z_2 - 1) + d_{\text{ext}} + 2 * e$$

$$h = b_2 = 40 * (3 - 1) + 40 + 2 * 10$$

$$h = b_2 = 140 \text{ mm}$$

$$F_{\text{Mayor}} = b_2 * a = 140 * 332$$

$$F_{\text{Mayor}} = 46480 \text{ mm}^2 = 0.046480 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{menor}} \approx \frac{\pi * d_{\text{tubos}}^2}{4} = F_{\text{Tubo}}$$

$$Q_{\text{aire}} = Wa_{\text{cond}} * F_{\text{Tubo}}$$

$$F_{\text{Tubo}} = \frac{Q_{\text{aire}}}{Wa_{\text{cond}}}$$

$$Wa_{\text{cond}} = 7.6 \overset{\circ}{-} 18.3 \text{ m/s} \text{ ----- recomendad o}$$

$$Wa_{\text{cond}} = 10 \text{ m/s}$$

$$F_{\text{Tubo}} = \frac{0.0945 \text{ m}^3 / \text{s}}{10 \text{ m/s}}$$

$$F_{\text{Tubo}} = 0.00945 \text{ m}^2$$

$$\frac{F_{\text{menor}}}{F_{\text{mayor}}} = \frac{0.00945}{0.046480} = 0.20$$

En la NC Aerodinámica, figura VII-11: con $\frac{F_{\text{menor}}}{F_{\text{mayor}}} = 0.20$ en la curva

Correspondiente se tiene que:

$$s_{ent} = 0.66$$

$$F_{Tubos} = \frac{\pi * d_{tubos}^2}{4}$$

$$d_{tubos} = \sqrt{\frac{4 * F_{Tubos}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0.00945}{\pi}}$$

$$d_{tubos} = 110 mm$$

Asumo para el diseño $b_1 = d_{tubos} = 110 mm$

Si $\alpha = 20^\circ$

$$h' = \frac{b_2}{2} - \frac{b_1}{2} = \frac{140}{2} - \frac{110}{2}$$

$$h' = 15 mm$$

$$tg \alpha = \frac{h'}{l'} = 41 mm$$

$$l' = \frac{h'}{tg \alpha} = 41 mm$$

Si $\alpha = 5^\circ$

$$tg \alpha = \frac{h'}{l'}$$

$$l' = \frac{h'}{tg \alpha} = \frac{15}{tg 5}$$

$$l' = 171 mm$$

Si $\alpha = 10^\circ$

$$tg \alpha = \frac{h'}{l'}$$

$$l' = \frac{h'}{tg \alpha} = \frac{15}{tg 10}$$

$$l' = 85 mm$$

Conclusión para el diseño:

$$\alpha = 10^\circ$$

$$l' = 85 \text{ mm}$$

Como $\alpha = 10^\circ$, en la figura VII-12, se obtiene que:

$$\varphi_\sigma = 0.22$$

Sustituyendo:

$$\delta_{\text{difusor}} = 0.22 * 0.66$$

$$\delta_{\text{difusor}} = 0.132$$

Sustituyen do :

$$\Delta P_{\text{difusor .entrada}} = 0.132 * \frac{10^2}{2} * 0.132$$

$$\Delta P_{\text{difusor .entrada}} = 0.87 \text{ mm.H}_2\text{O}(\text{Kg} / \text{m}^2)$$

- Caída de presión en la entrada desde la caja de aire del difusor de entrada. ($\Delta P_{\text{ent.tubos}}$).

$$\Delta P_{\text{difusor .entrada}} = s_{\text{ent}} * \frac{w_{\text{caja}}^2}{2} * \rho$$

$$F_{\text{Mayor}} = a * h = 0.332 * 0.140$$

$$F_{\text{Mayor}} = 0.04648 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{menor}} \approx \frac{\pi * d_{\text{tubos}}^2}{4} = \frac{\pi * (0.036)^2}{4}$$

$$F_{\text{menor}} \approx 0.0012 \text{ m}^2$$

$$\frac{F_{menor}}{F_{mayor}} = \frac{0.00102}{0.04648} = 0.021 \approx 0.022$$

Con $\frac{F_{menor}}{F_{mayor}} = 0.022$, en la figura VII-11, N.C aerodinámico pág. 196, se obtiene

que:

$$s_{ent} \cong 0.5$$

$$w_{caja} * F_{mayor} = w_{a.cond} * F_{tubo}$$

$$F_{mayor} = 0.04648 \text{ m}^2$$

$$w_{caja} = 10 \text{ m / s}$$

$$F_{Tubo} = 0.00945 \text{ m}^2$$

$$w_{caja} = \frac{w_{a.cond} * F_{Tubo}}{F_{Mayor}} = \frac{10 * 0.00945}{0.04648}$$

$$w_{caja} = 2 \text{ m / s}$$

Sustituyen do :

$$\Delta P_{entrada .Tubos} = 0.5 * \frac{2^2}{2} * 0.132$$

$$\Delta P_{entrada .Tubos} = 10132 \text{ mmH}_2\text{O} (\text{Kg / m}^2)$$

- Caída de presión por el giro de 180° (ΔP_{giro})

$$\Delta P_{giro} = s * \frac{w_{caja}^2}{2} * \rho$$

Donde:

ξ_{180° - Coeficiente de resistencia por giro a 180°

En total son 5 giros porque el CAT tiene 6 pases.

$\xi_{180^\circ} = 2.0$ Pág. 19 N.C aerodinámica.

$$w_{caja} = 2 \text{ m/s}$$

- ρ – Densidad del Aire.

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{273}{273 + \bar{t}a} \right)$$

$$\rho_0 = 0.132 \frac{\text{Kg} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4} \text{ a } \dots 0^\circ \text{ y } 760 \text{ mmHg}$$

$\bar{t}a = 112.5$ —Temperatura promedio del aire en su recorrido por el CAT.

$$\rho = 0.132 \left(\frac{273}{273 + 112.5} \right)$$

$$\rho = 0.0935 \frac{\text{Kg} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4}$$

$$\Delta P_{giro} = 5 * 2.0 * \frac{2^2}{2} * 0.935$$

$$\Delta P_{giro} = 1.87 \text{ mmHg } \text{ }_2\text{O} (\text{Kg} / \text{m}^2)$$

- Caída de presión a la salida de los tubos del CAT. ($\Delta P_{salida.del.tubo}$)

$$\Delta P_{giro} = s * \frac{w_{tubos.CAT}^2}{2} * \bar{\rho}$$

Donde :

- $$\bar{\rho} = 0.0935 \frac{\text{Kg} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4}$$

$$w_{tubo.salida} = 6 \text{ m/s}$$

ξ_{Salida} - Se encuentra en la figura VII-11, Pág.196, N.C aerodinámico.

$$F_{menor} = F_{Tubo} = \frac{\pi * d_{int}^2}{4} = \frac{\pi * (0.036)^2}{4}$$

$$F_{menor} = 0.0012 \text{ m}^2$$

$$F_{Mayor} = F_{Caja} = a * h = 0.046480 \text{ m}^2$$

$$\frac{F_{menor}}{F_{Mayor}} = \frac{0.00102}{0.04648} = 0.0219 \approx 0.022$$

Con, $\frac{F_{menor}}{F_{Mayor}} \approx 0.022$ en la figura VII-11, N.C aerodinámico Pág. 196 se obtiene

que:

$$\xi_{salida} = 1.0$$

Sustituyen do :

$$\Delta P_{Salida .de.Tubos} = 1.0 * \frac{6^2}{2} * 0.0935$$

$$\Delta P_{Salida .de.Tubos} = 1.683 \text{ mmH}_2\text{O} (\text{Kg} / \text{m}^2)$$

- Caída de presión en el difusor de la salida.

$$l = 85 \text{ mm}$$

$$d = 111 \text{ mm}$$

$$\mu_d * \frac{85}{111} = 0.77$$

En la Tabla VII-3, N.C Pág. 173, se obtiene que:

$$\xi_{dif .salida} = 0.2 \text{ m} / \text{s}$$

- Velocidad del Aire en el conducto (tubo), a la salida del CAT ($w_{sal.conducto}$)

$$(Qa * \rho_a)_{ent.CAT} = (Qa * \rho_a)_{salida.CAT}$$

$$w_{cond.entrad} * \rho_{a(25^{\circ}C)} = w_{cond.salid} * \rho_{a(200^{\circ}C)}$$

$$w_{cond.salid} = 17.3m / s$$

$$\Delta P_{sal.tubos} = 0.2 * \frac{17.3^2}{2} * 0.0762$$

$$\Delta P_{sal.tubos} = 4.56mmH_2O(Kg / m^2)$$

- Caída de presión total en el CAT ΔP_{CAT} .

$$\Delta P_{CAT} = \Delta P_{dif.entrad} + \Delta P_{entrad.tubos} + \Delta P_{giro} + \Delta P_{salid.tubo} + \Delta P_{dif.salida} + \Delta P_{total.tubos}$$

$$\Delta P_{CAT} = 15.86mmH_2O(Kg / m^2)$$

Caída de presión entre el CAT – Quemador. ($\Delta P_{CAT-Quemador}$)

$$\Delta P_{CAT-Quemador} = \lambda \frac{L}{d} * \frac{w^2}{2} * \rho + \sum \xi * \frac{w^2}{2} * \rho$$

Donde:

d= 0.110m---diámetro del conducto (tubo) del abastecimiento de aire desde el CAT al Quemador.

- $w = 17.3$ m/s ---Velocidad del Conducto de Salida.

$$\rho_{(200^{\circ})} = 0.0762 \frac{Kg - s^2}{m^4}$$

L=6m—Longitud (tramo recto) entre el CAT-QUEMADOR.

$$\lambda = f(\text{Re})$$

$$w = 17.3 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 34.8 * 10^{-6} \text{ m/s, Viscosidad .Cinématica .del .Aire .a.200}^0 \text{ C ,Tabla .II - 1}$$

$$d_{\text{cond}} = 0.11 \text{ m}$$

$$w = 17.3 \text{ m/s}$$

Sustituyen do :

$$\text{Re} = \frac{17.3 * 0.11}{34.8 * 10^{-6}} = 0.05468 * 10^6$$

$$\text{Re} = 54680$$

Para $4 * 10^3 < \text{Re} < 100 * 10^3$

$$\lambda = \frac{0.136}{\sqrt[4]{\text{Re}}}$$

$$\lambda = 0.0206$$

$$\sum q = 3 * \xi_{90} = 3 * 1 = 3$$

Sustituyen do :

$$\Delta P_{\text{CAT} - \text{Quemador}} = 0.0206 * \frac{6}{0.11} * \frac{(17.3)^2}{2} * 0.0762 + 3 * \frac{(17.3)^2}{2} * 0.0762$$

$$\Delta P_{\text{CAT} - \text{Quemador}} = 46.81 \text{ mmH}_2\text{O} (\text{Kg} / \text{m}^2)$$

- Caída de presión en el quemador ($\Delta P_{\text{Quemador}}$)

$$\Delta P_{CT-Quemador} = \xi * \frac{(w_{as})^2}{2} * \rho$$

Donde :

$$\rho_{aire.a.200^{\circ}C} = 0.0762 \frac{Kg}{m^3} \dots \text{Densidad .del .Aire .Secundario .a.200}^{\circ}C$$

$w_{as} = 35 m/s$ --- Velocidad .Máxima .Re comendada .del .Aire .Secundario .

$\xi = 3.2$, --- Para .Intensidad .de.Turbulenci a., $S = 2$

$$\Delta P_{Quemador} = 3.2 * \frac{(35)^2}{2} * 0.0762$$

- $\Delta P_{Quemador} = 150 mmH_2O (Kg / m^2)$

- **Caída de presión total del aire, entre el VTF y el Quemador ($\Delta P_{VTF-Quemador}$)**

$$\Delta P_{VTF-Quemador} = \Delta P_{CAT} + \Delta P_{CAT-Quemador} + \Delta P_{Quemador}$$

$$\Delta P_{VTF-Quemador} = 213 mmH_2O (Kg / m^2)$$

- Carga o Presión de descarga del Ventilador de tiro Forzado (VTF) Secundario (H_{VTF}).

$$H_{VTF} = 1.20 * \Delta P_{VTF-Quemador}$$

$$H_{VTF} = 1.20 * 213$$

$$H_{VTF} = 255 mmH_2O (Kg / m^2) \equiv 10 pu lg H_2O$$

$$H_{VTF} = 2.5 Kpa$$

- Potencia consumida por el ventilador (N_{VTF})

$$N_{VTF} = \frac{Q * H}{3670 * \eta}, KW$$

Donde :

Q --- Flujo .de .Aire ., m^3 / h

H—Carga o presión de descarga, mmH₂O

η_v --Rendimiento del Ventilador, %

$$\eta_v = 0.5 \div 0.85 = 50 \div 85\%$$

$$\eta_v = 70\%$$

$$Q = 0.0945 \frac{m^3}{s} * \frac{3600}{1h}$$

$$Q = 340.2 m^3 / h$$

$$H = 255 mmH_2O$$

Sustituyen do :

$$N_{VTF} = \frac{340 * 255}{3670 * 70}, KW$$

$$N_{VTF} = 0.037 KW - Potencial .del.VTF .$$

- Potencia del Motor eléctrico que mueve el VTF ($N_{Mot.VTF}$)

$$N_{Mot.VTF} = 1.05 * N_{VTF}$$

$$N_{Mot.VTF} = 0.35 KW$$

Comprobando:

- a) Cálculo de la potencia por el método de la Rabaak and Wilcox (N_{VTF})

$$a.1) N_{VTF} = k \frac{\Delta P * v}{\eta f * c}$$

Donde:

N_{VTF} -Potencia al eje.

ΔP -Incremento de la presión a través del ventilador, Kpa

v -Flujo Volumétrico.

C-Constante

η_f -eficiencia mecánica del ventilador, Kpa

Tabla 4

Eficiencia Mecánica – rangos aproximados - -----	η_f
Ventiladores Centrífugos -----	η_f
Alabes curvados hacia adelante -----	45% a 60%
Alabes curvados hacia atrás -----	75% a 85%
Alabes Radiales -----	60% a 70%
Ventiladores Axiales -----	85% a 90%

Factores de Compresibilidad, Aproximados (h)

$\Delta P/p$	0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18
k	1	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94

$\Delta P=2.5\text{Kpa}$

$v=0.0945 \text{ m}^3 / s$

$\eta_f =70\% =0.7$

Sustituyendo:

$$N_{VTF} = \frac{2.5 * 0.0945}{0.7}$$

$$N_{VTF} = 0.337KW$$

Conclusión:

Datos del Ventilador de Tiro Forzado

$$Q = 0.0945 \text{ m}^3 / \text{s} = 340 \text{ Kg/h}$$

$$H = \Delta P = 255 \text{ mmH}_2\text{O} = 2.5 \text{ Kpa}$$

$$N_{VTF} = 0.337KW$$

$$N_{Mot.VTF} = 0.35KW$$

Capítulo 3

CAPÍTULO 3

Caracterización de los Secadores de arroz de la provincia de Cienfuegos.

3.1 Características físico-geográfico del territorio estudiado.

La provincia de Cienfuegos está ubicada al centro y sur de la isla de Cuba, en los 22° 15' 00" de latitud norte y los 80° 28' 00" de longitud oeste.

Limita por el norte y el este con la provincia de Villa Clara, por el norte y el oeste con la provincia de Matanzas, por el este con la provincia de Sancti Spiritus y por el sur con el Mar Caribe.

Cienfuegos presenta un relieve en el cual tenemos que el 75% de su territorio es clasificado como llano u ondulado y el otro 25% como de pre montaña y montaña. La misma se divide en cuatro regiones físico-geográficas, que son las siguientes:

Tabla No. 6

No.	Región geográfica
I	Llanuras de Real Campiña.
II	Llanuras erosiva denudativa de Cienfuegos.
III	Llanuras y alturas pre montañosas de Cumanayagua.
IV	Las montañas de Trinidad.

El comportamiento del clima es similar al de todo el archipiélago, o sea, con las condiciones de una región característica del trópico. Un resumen de las variables climatológicas se muestra en la tabla que aparece a continuación:

Tabla No. 7

Variable	Estación meteorológica
----------	------------------------

	Aguada	Cienfuegos
Temperatura media	24.5 ° C	24.8 ° C
Precipitación	1 613.1 mm	1 384.0 mm
Humedad relativa media	78 %	77 %
Dirección del viento	NE	NE ¹
Fuerza media del viento	7.5 km/h	7.1 km/h

La zona sur y sureste de la provincia comprende una faja de altas probabilidades de afectación por el cruce de huracanes, donde se han reportado vientos de hasta 180 km/h y mayores en los últimos años, siendo preciso tomar las medidas correspondientes a la hora de ubicar instalaciones de envergadura.

3.2.- Ingeniería básica.

- Origen y forma de adquisición.

La solución tecnológica adoptada se establece por una donación de la República de Vietnam a nuestra república de secaderos para la producción de arroz bajo la forma de arroz popular.

Los mismos constan de una batería de dos secaderos de 32 T de capacidad de secado diaria, lo que representa un total de 64 T de capacidad de secado en cada lugar

Conjuntamente con estos secaderos, los que serán instalados en tres puntos diferentes de la provincia, en los municipios de Aguada de Pasajeros, Abreus y Santa Isabel de las Lajas serán montadas una batería de 6 molinos en cada uno de los lugares antes mencionados.

- Características de los Insumos

¹ Predominan los vientos alisios.

Los insumos de arroz, como grano fundamental que se procesará en estos secaderos, con los que serán abastecidos cada uno de estos lugares, proceden de la producción de arroz popular de cada Consejo Popular, tanto bajo la forma de producción privada como de la estatal.

- Consumo energético.

Esta instalación para su funcionamiento requiere de la instalación trifásica a 440 V, para un consumo energético, a plena producción, de 160 kw/h

- Descripción del proceso tecnológico

Esta batería de secaderos utiliza un sistema de secado no continuo el cual después del pase por el horno de secado se dirige en su continuo movimiento a una tolva cilíndrica, bajando posteriormente por gravedad, utilizando al mismo tiempo un mecanismo de succión para separar las partículas, prosiguiendo el recorrido de secado, hasta finalmente ensacarse y almacenarse para su posterior molinado, nunca antes de los treinta días.

- Demanda.

Se entiende por demanda la cantidad de bienes y servicios que el mercado requiere para buscar la satisfacción de una necesidad específica, a un precio determinado y teniendo en cuenta la capacidad de producción, en éste caso la demanda se encuentra determinada por los clientes que conforman el mercado, dada la necesidad de incrementar los volúmenes de producción de Arroz, teniendo en cuenta la sustitución de las importaciones, lo cual conlleva a un ahorro al país de un volumen apreciable del grano.

Por ésta razón no se precisa de un Estudio de Mercado, ya que cualquiera que sean los volúmenes de producción, se tendrán clientes estables para asumirlos.

Estos son puntuales:

- MINCIN.
- MAE.

En el futuro, teniendo en cuenta los volúmenes de producción esperados se pueden insertar nuevos clientes a nuestro mercado.

- Fuerza de Trabajo.

La fuerza de trabajo de cada instalación proviene de los lugares oriundos a la zona donde se encuentre ubicado cada secadero, favoreciendo a la comunidad la obtención de una nueva fuente de empleo. Estimando la construcción de las obras inducidas necesarias para la eficiente y eficaz productividad de la instalación y la distribución equitativa considerada para la fuerza de trabajo de la misma, se consideran y distribuyen la cantidad de trabajadores por área.

Tabla No.8

Área	Cantidad
Planta	18
Indirectos	6
Total	24

- Componentes de la inversión.

Para la plena ejecución de los tres secaderos en los distintos lugares donde está planteado que se construyan los mismos, se necesita una inversión de 1 844.00 miles de pesos tal y cual se detalla en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla No. 9

INVERSIONES. Secaderos de arroz			
Descripción	Importe		Valor total
	MN	USD	
MODERNIZACIÓN DE LA INDUSTRIA	729853.53	375000.00	1104853.53
INVERSIONES INDUCIDAS	739200.00	0.00	739200.00
TOTAL	1469053.53	375000.00	1844053.53

3.3.- Localización de las áreas actuales y las que se incrementarán.

La provincia Cienfuegos posee producción de arroz en los ocho municipios que la conforman, aunque en esta valoración se estudian los seis de mayores volúmenes donde existen un total de 39 Consejos Populares tributarios pertenecientes a dichos municipios, razón por la cual no se incluyen los municipios de Cienfuegos y Cumanayagua

Las áreas que se valoran en este estudio se ubican en los municipios siguientes:

Tabla No. 10

Municipios tributarios	Cantidad de
	Consejo Popular
Aguada de Pasajeros	6
Rodas	8
Abreus	6
Santa Isabel de las Lajas	6
Cruces	7
Palmira	6
TOTAL	39

Los que poseen las siguientes áreas productivas:

Tabla No. 11

N/O	Municipios estudiados	Áreas productoras (ha)	
		Actual	Perspectiva
1	Aguada de Pasajeros	2851.7	3356.3
2	Abreus	944.7	2241.1
3	Rodas	415.3	2093.1
4	Santa Isabel de las Lajas	335.0	1026.8
5	Cruces	742.6	1876.0
6	Palmira	555.2	2036.0
	TOTAL	5844.5	12629.3

- Áreas con posibilidades a incrementar

Además de las áreas que se detallaron en el párrafo anterior se le pudieran incrementar otras áreas productoras de arroz en menor escala de la provincia como son las existentes en los municipios de Cienfuegos y Cumanayagua, así como también la de otros municipios aledaños a la provincia de Cienfuegos y que pertenecen administrativamente a las provincias de Villa Clara y Matanzas. Es de suma importancia señalar que al noreste del municipio de Aguada de Pasajeros existe un potencial de unas 5300.0 ha aptas para la producción de este cultivo, las cuales podrían aportar producciones a los secaderos que serán instalados en esta parte de la provincia. Esto llevará con posterioridad un estudio territorial para conocer su factibilidad económica.

3.4.- Ubicación geográfica de los secaderos.

Teniendo en cuenta diversos factores, fundamentales para la ubicación mas eficiente de cada batería de secaderos, como lo son las redes eléctricas, la situación que presentan los viales en lo relacionado con su ubicación así como su estado técnico así como las comunicaciones, entre otros de singular importancia, se partió del hecho de que la propuesta de ubicación fuera, por la situación geográfica que tienen con respecto a los principales macizos arroceros que presenta la provincia de Cienfuegos, las áreas en que se ubicaban con anterioridad tres Complejos Agroindustriales del MINAZ: **“1° de Mayo”, “Guillermo Moncada” y “Ramón Balboa”**, ya que estas tres comunidades poseen:

- Garantía de energía eléctrica para el funcionamiento de los secaderos,
- Viales en perfecto estado técnico para el trasiego eficiente de la materia prima de estas instalaciones.
- Las comunicaciones funcionan sin ningún obstáculo
- Recursos humanos disponibles.

Por otra parte, es de destacar que las instalaciones que poseen los Complejos en estos lugares, como es el caso de los almacenes, pueden ser aprovechados en estas nuevas funciones con una pequeña inversión de concretarse la autorización de su uso..

Partiendo de las características que presentan los aspectos antes estudiados, se recomienda la ubicación de las tres baterías de secaderos en los lugares que se relacionan a continuación: (ver Anexo No.)

Tabla No. 12

Nº	Lugar de ubicación	Coordenadas geográficas	Municipios que atenderá
1	Perseverancia , en Aguada de Pasajeros	523 370 - 281 557	Aguada de Pasajeros
2	Constancia , en Abreus	542 609 - 268 687	Abreus y Rodas
3	Balboa , Santa Isabel de las Lajas	570 393 - 281 626	Lajas, Cruces y Palmira

3.5.- Consideraciones de interés relacionadas con la producción arrocera en el área geográfica estudiada.

- Inventario del equipamiento.

A continuación, se ofrece una relación detallada de los diversos equipos que posee la provincia, para la atención de las distintas etapas productivas que presenta esta gramínea como lo son: agrotécnia, cosecha, trilla y transportación y que presentan buen estado técnico y que por lo tanto pueden prestar servicios a los distintos productores que tributarán el arroz a los secaderos.

Tabla No. 13

Municipio	Combinadas	Tractores	Carretas	Trilladoras	Molinos	Turbinas
Aguada	9	174	26	45	83	197
Abreus	4	89	18	31	45	143

Rodas	2	72	11	35	37	145
Cienfuegos	1	4	1	2	23	60
Palmira	-	2	-	3	13	19
Cruces	-	9	3	13	28	14
Lajas	-	7	4	16	30	21
Cumanayagua	-	5	6	24	25	231
Total	16	362	69	169	284	830

- Área total anual de siembra.

Tal y como se muestra en la tabla # 1(Anexo), donde se muestran las características que presentan todas las áreas arroceras de cada municipio que se estudian en el presente trabajo, en la actualidad se posee un total de 5 845.1 ha de arroz, con un rendimiento medio de 3,9 T/ha, las que deben producir 24 287.7 T del preciado grano. La situación perspectiva, basada en los planes de expansión arrocera que se propone la provincia Cienfuegos, es la de llegar hasta un total de 12 629.3 ha de explotación, lo que arroja un crecimiento medio anual de unas 1350.0 ha, pero ya con rendimientos superiores, el que debe estar en las 4.7 T/ha y que nos llevará a producir un total de 35 614.6 T de arroz. Estas áreas y producciones son solo en los municipios que se estudian en la presente Factibilidad económica.

- Área sembrada con la técnica del trasplante.

Del total de las áreas sembradas en el territorio, son sembradas con la técnica del trasplante 5637.45 ha, lo que representa un 96.4 % de toda el área ya que el resto, o sea el 3.6 %, lo siembra el municipio de Rodas sin utilizar esta técnica.

- Área por variedad.

En la provincia Cienfuegos se siembra un variado número de variedades de arroz entre las que podemos destacar las que aparecen descritas en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla No. 14

Variedades sembradas que se estudian (ha)			
VARIEDAD	AREA	VARIEDAD	AREA
Caribe-7	75.9	LP-4	59.3
Marañón	83.2	J-104	74.1
IA-CU	199.6	Perla	238.7
Amistad	284.4	Reforma	1185.7
1529	177.2	Bolito	158.3
LP-5	2861.5	Otras	447.4

- Área protegida con herbicidas.

Con relación a este tipo de actividad técnica, debemos decir que en la provincia Cienfuegos, no hay asignado valores de herbicidas para ser aplicado sobre las áreas productoras de arroz.

- Área donde se emplea fertilizantes.

Al igual que en el aspecto tratado en el párrafo anterior, tampoco hay asignación de fertilizantes químicos para este cultivo ni producción de fertilizantes orgánicos para el mismo, por tanto no existe tampoco la combinación de ambos tipos de fertilizantes. Solo se emplean fertilizantes, químicos u orgánicos incluyendo el humus de lombriz, en poca medida, en las áreas que están destinadas a semilleros.

- Área donde se realiza la cosecha mecanizada con combinada.

Como muestra la tabla que aparece a continuación la provincia cosecha de forma mecanizada un 29.38 % del área existente. Aparece, además, el porcentaje que cosecha con esta técnica cada municipio estudiado.

Tabla No. 15

Municipio	Área Sembrada (ha)	Cosechada con combinada(ha)	%
Aguada Pasajeros	de 2852.0	1426.0	50
Abreus	944.8	189.0	20
Rodas	415.3	20.7	5
Sta. Is. de las Lajas	335.0	67.0	20
Cruces	742.6	14.9	2
Palmira	555.3	-	-
TOTAL	5845.1	1717.6	29.38

- Nivel de producción anual actual.

Como se analizó en el Capítulo No. 1, los municipios estudiados en el presente trabajo, producen un total de 24 287.7 T de arroz en las 5845.1 ha que se siembran actualmente.

- Secado, almacenamiento y molinación.

En la misma ubicación de los secaderos estarán instalados los almacenes de arroz, secado así como los molinos

3.6.- Comportamiento de la producción de arroz en las áreas que aportarán el grano a los diferentes secaderos. Otros datos de interés.

El área que poseen estos municipios para la producción de este grano, tiene una dimensión de 1 832.8 ha las que poseen un rendimiento promedio de 4.16 T/ha Se pretende llegar a tener un área de 4938.8 ha con un rendimiento mayor que el actual ya que debe llegar a una media de 4.7 T/ha.

Actualmente una parte del total del área se cosecha mecanizadamente con combinada como se muestra a continuación:

Tabla No. 16

Área (ha)	sembrada: Cosecha combinada (ha)	% que representa del área total
1632.9	81.9	5.0

- Equipamiento con que cuentan los tres municipios.

Estos municipios para la explotación del cultivo del arroz popular cuentan con un total de 182 equipos desglosados como se muestra a continuación:

Tabla No. 17

Equipamiento actual del municipio para la producción de arroz popular					
<i>Combinada</i>	<i>Tractores</i>	<i>Carretas</i>	<i>Trilladoras</i>	<i>Molinos</i>	<i>Turbinas</i>
-	18	7	32	71	54

Capítulo 4

CÁPITULO 4.

Análisis ambiental y Económico.

4.1- Análisis Ambiental.

El aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía ofrece un amplio rango de beneficios ambientales: puede contribuir a mitigar el cambio climático y el efecto invernadero, reducir las lluvias ácidas, prevenir la erosión de los suelos y la contaminación de las fuentes de agua, reducir la presión provocada por los desperdicios humanos, enriquecer el hábitat de la vida silvestre y ayudar a mantener la salud humana y la estabilidad de los ecosistemas.

En la evaluación ambiental se centra la atención en la comparación del impacto ambiental que provoca el consumo de la cáscara de arroz como combustible para el proceso de secado, con la utilización del Diesel para este mismo proceso. En función de ello se calculó la cantidad de CO₂, NO_x, SO_x y CO que se dejan de emitir por este concepto.

4.1.2 Emisiones de CO₂, SO_x, NO_x en el Diesel.

I.- Emisiones de Dióxido de Carbono (Diesel).

$$M_{CO_2} = \frac{44}{12} * \%C * q$$

Donde:

M_{CO_2} Masa de dióxido de carbono expulsada.

%C..... % de carbono del combustible en fracción molar.

q..... Masa de combustible consumido.

Composición del Diesel.

C=85%

H2=12.8%

S=0.8%

N2=0.7%

O2=0.7%

Expulsión de CO_2 en 1 hora, en 1 día, en 1 año.

$$M_{CO_2} = \frac{44}{12} * 0.85 * 9$$

$$M_{CO_2} = 28.05 \text{ Kg} / h$$

$$M_{CO_2} = 280.50 \text{ Kg} / \text{día}$$

$$M_{CO_2} = 668.52 \text{ Kg} / \text{mes}$$

$$M_{CO_2} = 33426.25 \text{ Kg} / \text{año}$$

El aporte a la disminución del efecto invernadero por concepto de ahorro de combustible Diesel es de 33 426, 25 Kg/año.

II.- Emisiones de $SO_x(SO_2)$ en Diesel.

$$M_{SO_x} = \frac{64}{32} * (\%S - f) * q$$

Donde:

M_{SO_x} Masa de SO_2 empleada.

%S % de azufre del combustible.

f Azufre que se queda en ceniza. (se puede asumir 0.0002)

q..... masa de combustible consumido.

$$M_{SO_2} = \frac{64}{32} * (0.008 - 0.0002) * 9$$

$$M_{SO_2} = 0.1439 \text{ Kg / h}$$

$$M_{SO_2} = 1.439 \text{ Kg / día}$$

$$M_{SO_2} = 34.31 \text{ Kg / mes}$$

$$M_{SO_2} = 171.55 \text{ Kg / año}$$

Se deja de emitir por concepto de sustitución del combustible Diesel 171, 55 Kg/año de SO₂.

III.- Emisiones de NO_x (Diesel).

Para el cálculo de las emisiones de NO_x en un combustible se plantea que por cada 1 000 000 de Kj de energía consumida se emiten 0.13Kg.

$$PCI_{diesel} = 45725 \text{ Kj / Kg}$$

$$B_{anual} = 10725 \text{ Kg / año}$$

$$B_{anual.cascarilla} = 2.52 * 10725$$

Conociendo el consumo anual de diesel y el poder calórico de este, se puede determinar la cantidad de kilogramos de diesel necesarias para generar 1 000 000 Kj de energía.

$$0.13 \text{ Kg} \dots\dots\dots 1\ 000\ 000.$$

$$X \dots\dots\dots B_{anual}$$

$$X \dots\dots\dots \text{Cantidad de NO}_x \text{ que se emite.}$$

$$X = 46.5 \text{ Kg/año}$$

IV.- Emisiones de Dióxido de Carbono. Cascarilla.

En la biomasa las emisiones de dióxido de carbono son iguales a cero porque este se había fijado al arroz durante el desarrollo de la planta.

V.- Emisiones de SO_x en la cascarilla.

$$MSO_2 = \frac{64}{32} * (\%S - f) * 9$$

$$MSO_2 = \frac{64}{32} * (0.0003 - 0.0002) * 22.69$$

$$MSO_2 = 0.004538Kg / h$$

$$MSO_2 = 0.04538Kg / día$$

$$MSO_2 = 0.108Kg / mes$$

VI.- Emisiones de NO_x de la cascarilla de arroz LP-5.

Composición:

$$C^t = 46.9\%$$

$$H^t = 5.2\%$$

$$O^t = 37.8\%$$

$$S^t = 0.03\%$$

$$W^t = 7.3\%$$

$$A^t = 2.6\%$$

Emisiones de NO_x en la cascarilla.

$$PCI = 18136 \text{ Kj/Kg}$$

$$B_{Cascarilla} = 27\ 627 \text{ Kg/año}$$

Conociendo el consumo anual de cascarilla y el poder calórico de este, se determinó la cantidad de kilogramos de cascarilla necesaria para generar 1 000 000 KJ de energía.

$$0.13 \text{ Kg} \dots\dots\dots 1\ 000\ 000$$

$$X \dots\dots\dots B_{anual}$$

$$X \dots\dots\dots \text{Emisiones de } NO_x$$

$$X = 65 \text{ Kg/año de } NO_x$$

Tabla No. 18

Emisiones	Diesel (Kg/año)	Cascarilla (Kg/año)
CO_x	33 426.25	0
SO_x	171.55	-
NO_x	46.5	65

Los resultados demuestran que cuando se quema Diesel para el secado de arroz, se produce un alto impacto sobre el medio ambiente, evidenciando los efectos negativos de las tecnologías que producen energía utilizando combustibles fósiles, por lo que la quema de cáscara de arroz no solo ofrece saldos positivos económicamente, sino también desde el punto de vista ambiental.

4.2.- Análisis Económico.

El costo de realización de las modificaciones que se exponen a continuación es el resultado de la oferta que se realiza para llevar a cabo el trabajo. El costo de los materiales es el precio de venta de los materiales por ACINOX.

Costo del Diesel = \$ 0.55 USD/L

Consumo anual = \$ 13 000 L/año = 10 725 Kg/año

Consumo de Cascarilla = $2.52 * B_{diesel / año}$

Tabla No. 19

Coto del diesel (USD)/L	Consumo anual de Diesel (Kg/año)	Consumo anual de Cascarilla (Kg/año)	Costo de la Cascarilla. (USD)/Kg
0.55	10 725	27 027	0.05

$$C_{D.Año} = C_d * B_A$$

Donde:

C_d Costo del Diesel.

B_A Consumo Anual.

$C_{D.Año}$ Costo del Diesel en el año.

$$C_{D.Año} = C_d * B_A$$

$$C_{D.Año} = 0.55 * 13000$$

$$C_{D.Año} = \$7150USD / año$$

El gasto anual en el túnel de secado teniendo en cuenta el consumo de combustible es de \$ 7 150 USD

- **Costo de la cascarilla que se va a quemar.**

$$B_{anual.de.cascarilla} = 27027 Kg / año$$

$$C_{as} = C_a * B_a$$

$$C_{as} = 1351.35USD / Año$$

- **Ahorro monetario teniendo en cuenta el cambio de combustible.**

$$Ahorro = C_{diesel} - C_{cascarilla}$$

$$Ahorro = 7150 USD / año - 1351.35 USD / año$$

$$Ahorro = 5798.65 USD / año$$

- **Costo de materiales para la construcción de la instalación.**

Para el cálculo del costo de fabricación de los CAT se tuvo en cuenta los costos de la tonelada de la tubería de Acero y el costo de la tonelada de las planchas de acero.

- **CAT proceso de secado.**

Tuberías de acero de diámetro 36mm de diámetro interior y 40mm de diámetro exterior.

Costo de la tonelada.....740 USD

Peso por metro.....3.16Kg/m

Longitud de los tubos del CAT. Long.=0.318m

Para obtener cuánto pesa un tubo de 0.318 m

1m.....3.16

0.318.....X

Cada tubo pesa aproximadamente 1 Kg.

Como el CAT tiene 95 tubos entonces este pesa 95 Kg.

Luego si una tonelada cuesta 740 USD entonces 95 Kg cuestan 70.3 Kg

- **CAT de Combustión.**

Para obtener cuánto pesa un tubo de 0.318 m

1m.....3.16

0.86m.....X

Cada tubo pesa aproximadamente 2.71 Kg

Número total de tubos 33

Peso total de los tubos=89.68 Kg

Sí una tonelada cuesta 740 USD entonces 89.68 Kg cuestan 66.36 USD pero como son 2 CAT con estas dimensiones entonces cuestan 132.72 USD.

- **Planchas da Ac dimensión 0.76mX1m**

Datos:

1 000 Kg..... 500 USD

Densidad de Ac..... $1.27 * 10^4 \text{ Kg} / \text{m}^3$

Plancha de 3mm Cantidad de planchas = 16

$V = a * b * c$

$V = 2.89 * 10^{-3} \text{ m}^3$

Conociendo la densidad del material puedo saber cuánto pesa $2.8 * 10^{-3} \text{ m}^3$

Conociendo el costo de la tonelada y el peso de 2.28 m^3 puedo saber el costo de $2.89 * 10^{-3} \text{ m}^3$

Por tanto:

$2.89 * 10^{-3} \text{ m}^3$. Cuestan $1.445 * 10^{-7}$ USD

El costo total de las planchas es $2.312 * 10^{-6}$ USD

- **Planchas da Ac (3mm) dimensión 0.76mX1.5m.**

El peso de las planchas de 2.17 Kg cuestan $4.343 * 10^{-7}$ USD el Kg.

Costo de las planchas de estas dimensiones es $1.73 * 10^{-6}$ USD

Costo total de las planchas de 3mm $4.08 * 10^{-6}$ USD

- **Planchas da Ac (4mm) dimensión 0.76mX0.7m.**

Costo total de las plnchas de 4mm $7.66 * 10^{-8}$ USD

- **Costo Total de los CAT.**

$$C_{CAT} = C_{4mm} + C_{3mm} + C_{Tubos}$$

Costo total de los CAT = 207.14 USD.

Conclusiones.

CONCLUSIONES

- 1.- La sustitución del quemador Diesel por un QDTE, es factible desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.
- 2.- Con 2.52 t de cáscara de arroz se sustituyen 1 t de Diesel, con un ahorro anual de $Ahorro = 5798.65USD/año$.
3. La ceniza obtenida por la quema de la cascarilla, ha encontrado múltiples aplicaciones en la actualidad, que van desde la construcción, hasta los substratos para mejorar las condiciones de los suelos para cultivos.
- 3.- La liberación y combustión de las sustancias volátiles de los residuos agrícolas se produce por lo general a temperatura relativamente baja (250 a 300 oC), aportando la mayor proporción de calor liberado por unidad de masa y desempeñando un rol importante en las fases de diseño y explotación de los sistemas de combustión de la biomasa.
5. Se establece una metodología de cálculo termo - hidrodinámico que permiten establecer todas las dimensiones funcionales del Quemador de cascarilla de arroz con Doble Turbulizador Estático y que puede ser aplicada a todo equipo con estas características.
6. El análisis económico de la inversión del Quemador de Doble Turbulizador Estático demuestra que la misma es económicamente atractiva y conveniente, por la combinación efectiva de los indicadores económicos .
7. El análisis cualitativo de los impactos socio- ambientales de las opciones energéticas presentadas, permiten considerar la cáscara de arroz como un combustible de muy bajo impacto sobre la sociedad y el medioambiente.

Recomendaciones.

RECOMENDACIONES

- 1.- Fabricar el Quemador de Doble Turbulizador Estático para la combustión de la cascarilla de arroz en el proceso de secado de este.
2. Implementar un sistema experimental que simule el funcionamiento del Quemador con Doble Turbulizador Estático en condiciones reales de explotación y realizar la evaluación del mismo isotérmicamente y con carga.
3. Hacer las modelaciones tanto físicas como matemáticas con el objetivo de determinar toda la información que normalmente se procesa en estos casos: trayectoria descrita por la partícula cuando entra en la zona de altas temperaturas, las direcciones de las corrientes de aire primario y secundario y el efecto sobre el movimiento de las partículas una vez que interactúan, las dimensiones de la zona de flujo inverso (ZFI), etc.
4. Realizar las correcciones en el supuesto caso de que sea necesario, tanto desde el punto de vista de diseño como en detalles constructivos.
5. Trabajar en un programa de computación para el cálculo energético, exegético e hidrodinámico de variantes para el calentamiento de aire, utilizado para el proceso de secado, empleando la biomasa como fuente de energía, que incluyan entre los criterios de selección los indicadores específicos determinados en esta tesis.

Bibliografía.

1998. 38 Energía de la biomasa. . *Manual de Energía Renovable* , (3), p.115.
2000. Combustion of coffee husks . Available at:
www.elsevier.com/locate/pecs.
1999. Energía y el Desarrollo Sustentable. , (1), p.23-28.
2002. Energías Renovables. . Available at:
www.energiasrenovables.com/ContenidoDiccionario.asp?ID=6 .
1997. La Sustentabilidad como objetivo del desarrollo. *Revista Energética OLADE* , (2), p.14-19.
1993. Programa de desarrollo de las fuentes nacionales de energía. Cuba.
2008. Secadores de grano importante . Available at:
www.fao.org/inpho/vlibrary/x0059s/X0059S00.htm - 9k.
- 2003a. Situación mundial de la producción cafetalera. Publicación seriada irregular. . Available at: www.infoagro.com/cont.htm .
- 2003b. Situación mundial de la producción cafetalera. Publicación seriada irregular. . Available at: www.ambiental.com.mx/cont.htm.
- 2003c. Situación mundial de la producción cafetalera. Publicación seriada irregular. . Available at: www.cafesaula.com/formacio_cont.htm .
2001. ZenithBiomass Characteristics. . Available at:
www.zenithenergy.com/BioChar.html.
- Kartha Sivan Larson Eid D, 2000. *Modernised Biomasa Energy for sustainable development.*, Estados Unidos: United Nations Development Programme.
- Brealey, R. , 1988. *Fundamentos de financiación empresarial.*, Madrid: Editorial Mc Graw Group. Nova Scotia.
- Calero Pérez , Roque, 1997. El papel de la Ingeniería Mecánica en el desarrollo de las EnergíasRenovables. En La Habana.
- Campos, J. C, Leonardo Santos & Rafael Gómez Dorta, 1998. Eficiencia energética y competitividad de empresas.
- Comisión Nacional de Energía , 1993. Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía. .
- Eblesi-Evans Company, 1999. Combustion Basic. Available at: www.blesi-evans.com/combusti.htm.

- Freisjo Ruiz, Jesús. , 2000. Propuesta de una instalación trituradora de cascarilla de arroz. , p.89.
- Instituto de pesquisas tecnologicas, 1990. Conservación de la energía en la industria: Manual de Recomendaciones.
- J.Werther. , 2000. Combustion of agricultural residues. Available at: www.elsevier.com/locate/pecs.
- Juvillar, J.B. , *Tecnologías de Transformação da Madeira em Carvao. Uso da Madeira para Fins Energéticos.*, Minas Gerais: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais .
- Kartha, S. , 2000. *Bioenergy Premier. Modernized Biomass energy for sustainable development* , Estados Unidos: Ed. United Nations Development Programme.
- Kotas, T. J. , 1995. *The Exergy Method of Thermal ofPlant Analysis*, Florida: Krieger Publishing Company Malabar.
- Nielsen, H.P. , 2000. The implications of chlorine-associated corrosion on the operation of biomass-fired boilers. Available at: www.elsevier.com/locate/pecs.
- OCDE/AIE, 1999. Combustion. Available at: www.energy-coal-eur.com/Technology/combustion.htm.
- Plauchu Lima, Alberto, 1999. *Eficiencia en Calderas*, México: Aries al Instante.
- PitakarnnoP, N. , 1983. Production and Evaluation of Rice Husk Briguettes in Thailand. En *Agricultural Wastes and Solar Technologies For Energy Needs in Farms*. Bangkok Thailand: FAO, p. 120-128.
- Romero. R. O. , 1997. Evaluación técnico – económica de diferentes variantes para cogenerar en una central de destilería anexa. . , p.145.
- SCG, 2000. Numerical methods in combustion. Available at: www.win.tue.nl/~martijna/combustion.html .
- Storm Technologies, Inc, 2001. Twelve Essentials of Optimum Cumbustion. Available at: www.stormeng.com/opt_pulv/opt_pulv.htm.
- The American Society Of Mechanical Engineers, 1977. A future for biomass. Available at: www.memagazine.org/backissues/october97/features/biomass/biomass.html.
- Turrini, Enrico, 1999. *El camino del sol*, La Habana.

Walter, M. K. , 2000. Análisis de competitividad de la agroindustria del Café de Nicaragua .

Anexos

ANEXO No.1

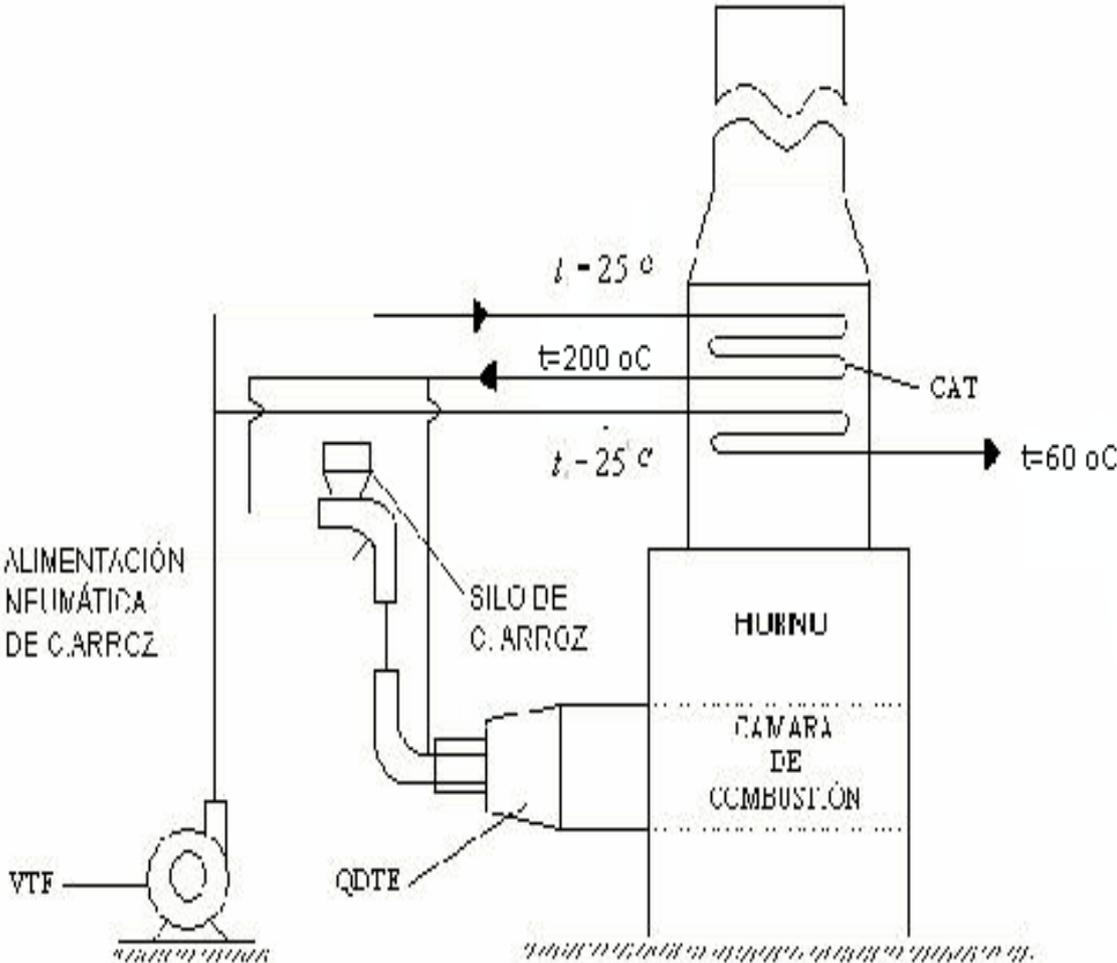


Figura No 1: Representación esquemática del proceso de calentamiento de aire para el secado del arroz utilizando el QDTE.

ANEXO No.2

HORNO QUEMADOR DE BIOMASA TEO IV - 3000



****Observar**

**la relación
de tamaño
del operador
vs. el equipo**

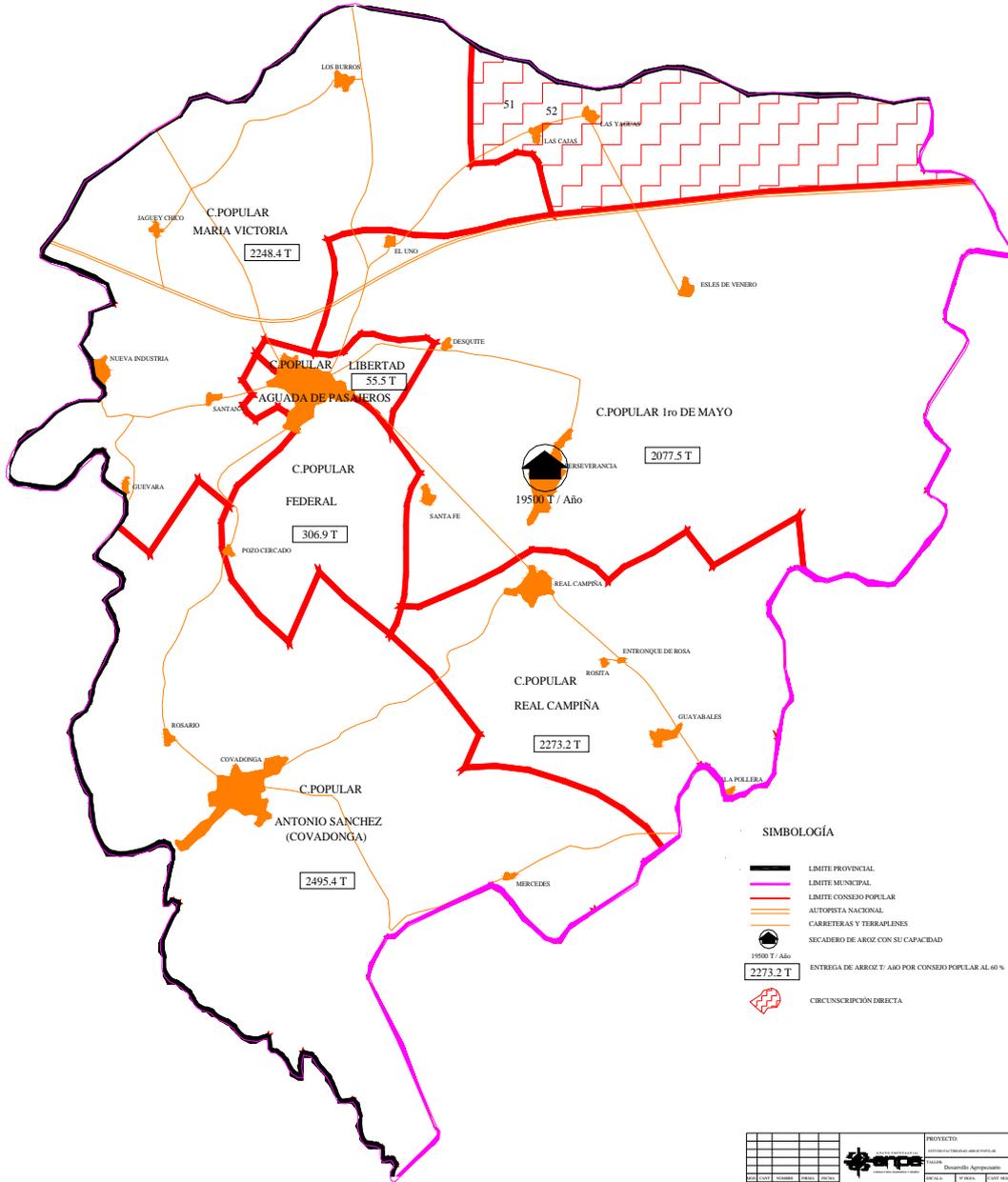
ANEXO No.3

Superficie sembrada y superficie existente sembrada de arroz. Total general (incluye Levantamiento). Hectáreas

Superficie sembrada y superficie existente sembrada de arroz. Total general. (Incluye el levantamiento) HECTÁREAS										
CONCEPTO	Superficie sembrada hasta: Dic. 31					Superficie existente sembrada total en: Dic. 31				
	2004	2005	2006	2007	2008	2004	2005	2006	2007	2008
Cuba	13 1343,2	10 7260,6	100 909,3	107 416,9	112 218,3	36 425,8	29 497,3	33 457,4	32 021,3	32 126,1
Pinar del Río	34537,7	32366,4	28286,7	23862,1	23101,2	10212,6	8145,9	8241,3	6268,5	5134,5
La Habana	9309,5	9747	6114,2	5582,8	6551,6	1417,2	1217,2	872,3	3834	3754,9
Ciudad Habana	100,7	80,6	116,7	93,9	814,6	69,8	72,4	84,5	64,4	339,5
Matanzas	5896,5	5633,7	5439,2	7000	8639,7	2191,4	2186	2182,2	3768,3	3055,7
Villa Clara	9508	7548,8	6271,1	6461,7	5329,1	2645,2	2736,4	1798,3	1750	1359,5
Cienfuegos	8418,4	7595,6	5751,7	4648,6	6686	1138,1	1626,6	1073,5	873,6	1355,3
Sancti Spíritus	16647,5	14439,9	16963	23393,8	19480,5	5612,3	5296,9	7641,4	6194,5	3937,5
Ciego de Avila	4647,4	1826,4	2763,2	3157,8	4662,1	1291	872,3	1248	1226,6	1563,4
Camagüey	11129,3	9434,2	11619	11795	14327,2	2847,6	2280	3524,1	3737,5	4872,7
Las Tunas	3548,2	1147,5	743,4	1496,4	1279	617,4	285,8	304,6	433,6	516,7
Holguín	558,3	410,6	194,6	257,7	185,2	295,1	102	76,4	32,3	104,8
Granma	24989,4	15362	14238,7	18766,5	19013,5	7126	3808,7	5348	3784,5	5358,7
Santiago de Cuba	1325,9	1057,4	1033,5	455	1280,3	3658,9	625,4	717,9	34,8	480,5
Guantánamo	617,4	500,5	1326	56,4	543,5	279,1	220,2	324,8	5,3	202,6
Isla de la Juventud	108,7	110	48,3	389,2	324,8	24,1	21,5	20,1	13,4	89,8

ANEXO No.5

**SECADERO PRIMERO DE MAYO
MUNICIPIO DE AGUADA**



- SIMBOLOGÍA**
- LIMITE PROVINCIAL
 - LIMITE MUNICIPAL
 - LIMITE CONSEJO POPULAR
 - AUTOPISTA NACIONAL
 - CARRETERAS Y TIERRAPLENES
 - SECADERO DE ARROZ CON SU CAPACIDAD
 - 19500 T / Año
 - 2273.2 T
 - CIRCUNSCRIPCIÓN DIRECTA

PROYECTO		Sistema de Información Geográfica	
AUTOR		Departamento de Agronomía	
FECHA	ESTADO	NO. DE	FECHA
15/05/2018	Finalizado	1	15/05/2018
OBJETIVO		PROTECCIÓN	
Elaboración de mapas de límites de C. Popular		Protección de Datos	
AUTOR		06-05-95-11-04	