

# **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**



**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“REEMPLAZAR EL USO DE DIESEL POR CASCARILLA DE ARROZ  
EMPLEADO PARA GENERACIÓN DE VAPOR. ASPECTOS TÉCNICOS Y  
ECONÓMICOS.”**

**INFORME MATERIA DE GRADUACIÓN**

**“CONTROL DE PROCESOS EN ENERGÍAS RENOVABLES”**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**ESPECIALIZACIÓN: ELECTRONICA Y AUTOMATIZACION INDUSTRIAL**

Presentada por:

Humberto Eloy Acero Peñafiel

Jonnathan Manuel Rodríguez Alvarado

**GUAYAQUIL–ECUADOR**

Año 2011

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, porque ha estado en cada capítulo de mi vida y aunque sé que le fallo, su mano siempre estará extendida para levantarme y bendecirme, a mis padres, que siempre creyeron en mi y llevare en mi corazón hasta el ultimo día de mi existencia, a las personas que han estado, están y estarán conmigo por siempre: Nancy, Elcy, Yoli, mis sobrinos, ocupan un lugar especial en mi corazón por eso les digo GRACIAS.

**ELOY ACERO P.**

Luego de tantas noches en vela y trabajo duro constante solo me queda agradecer primero a Dios que me ha dado las fuerzas para cumplir con este objetivo no dejándome solo en ningún momento aun cuando parecía que El no estaba allí, a mi Padre, que más que eso fue mi amigo y con sus consejos siempre me supo guiar por el buen camino, a mi madre, a mi hermana, a mi novia Vanessa, al Ing. Javier Urquizo que fue nuestra guía en este trabajo y en general a todos los que hicieron posible este logro.

**JONNATHAN RODRIGUEZ A.**

## **DEDICATORIA**

Dedico este documento a las personas que tuvieron parte en mi formación moral y profesional, mi familia, mis padres, que con sus consejos me encaminaron por la senda del bien, mis profesores, Ing. Javier Urquizo, que me instruyeron profesionalmente para lograr esta etapa de mi vida, mis amigos de toda la vida, mis compañeros, este trabajo no es solo mío, es de ustedes también!

**ELOY ACERO P.**

Este trabajo está dedicado a todos quienes con su apoyo moral siempre estuvieron pendientes de cada uno de los avances en el mismo, sin embargo hay una persona que quiero destacar y ese es mi Padre que nunca me dejó solo y siempre me impulsó a destacarme, a ser mejor cada día y esforzarme por las cosas que quiero, para ti este trabajo Papá.

**JONNATHAN RODRIGUEZ A.**

# **TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

Ing. Javier Urquizo  
PROFESOR DE LA MATERIA  
DE GRADUACIÓN

---

Ing. Douglas Aguirre  
DELEGADO DEL DECANO

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este Trabajo de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

-----  
Humberto Eloy Acero Peñafiel

-----  
Jonnathan Manuel Rodríguez Alvarado

## **RESUMEN**

El presente trabajo muestra los aspectos a tener en cuenta para la sustitución del Diesel, muy usado en las industrias pero muy perjudicial para el ambiente debido a que su combustión provoca la emisión de agentes dañinos para la naturaleza, por una alternativa que resulta más amigable con el medio que nos rodea pero que sin embargo aún no ha sido explotada de manera correcta en nuestro País; nos referimos a la Cascarilla de Arroz que, en su calidad de Biomasa, proporciona características favorables para ser usada como combustible.

En el Capítulo 1 se hace un análisis de la situación actual del arroz, profundizando en factores como su producción anual, las zonas arroceras más importantes en el País, tipos de piladoras, subproductos del arroz pilado, terminando con un estudio sobre el potencial energético de la cascarilla.

En el Capítulo 2 se enfatiza en la evolución y estado de la tecnología en los procesos de extracción de energía de la Biomasa, en nuestro caso la Cascarilla de Arroz; se hace un recuento de los inicios de la máquina de vapor y los métodos para su generación por medios convencionales utilizando combustibles fósiles; además, se hace referencia a los métodos para la obtención de energía de la cascarilla de arroz, sus aplicaciones actuales y el futuro que le espera a este recurso renovable.

En el Capítulo 3 se encuentra una valoración de las características de la cascarilla tales como su peso, la humedad que posee y su capacidad calorífica; se pone de manifiesto la comparativa frente al Diesel, se analizan el proceso de la combustión de la cascarilla y los diferentes tipos de hogares en que puede ser quemada, luego se visualiza el concepto de caldera y sus clases para luego describir su funcionamiento y los requerimientos básicos para un sistema de generación de vapor a base de cascarilla de arroz así como las consideraciones que un método de este tipo debe tener.

En el Capítulo 4 se analizan los aspectos del tipo económico que demandarían crear un proyecto de utilización de biomasa (cascarilla de arroz) para generación de vapor concluyendo con un análisis de viabilidad para el aprovechamiento de este sistema en la elaboración de arroz pre-cocido.

Finalmente se ponen de manifiesto conclusiones y recomendaciones en el uso de este recurso renovable para la generación de vapor.

## INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIAS.....	IV
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.....	VI
DECLARACIÓN EXPRESA.....	VII
RESUMEN.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XXIII

## **CAPITULO 1**

LA CASCARILLA DE ARROZ EN EL ECUADOR.....	1
1.1.- LA CASCARILLA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE.....	2
1.2.- CANTIDAD DE ARROZ PRODUCIDO EN EL AÑO.....	2
1.2.1.- Producción Nacional de Arroz .....	3
1.3.- DISTRIBUCIÓN GEOGRAFICA DE LAS PILADORAS DE ARROZ.....	4
1.3.1.1.- Piladoras de primera categoría.....	5
1.3.1.2.- Piladoras de segunda categoría.....	6
1.4.- SUBPRODUCTOS GENERADOS DEL PILADO DE ARROZ.....	9
1.5.- PERSPECTIVAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ARROZ.....	11
1.6.- POTENCIAL DE LOS RESIDUOS DEL PILADO DE ARROZ.....	14
1.7.- POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA CASCARILLA DE ARROZ.....	16

## **CAPITULO 2**

EVOLUCION Y ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGIA.....	19
2.1.- EL COMIENZO DEL DESARROLLO .....	20

2.2.- TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE VAPOR CONVENCIONALES...	23
2.3.- COMBUSTIBLES CONVENCIONALES.....	24
2.3.1.- EL PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS.....	24
2.3.1.1.- Productos livianos.....	25
2.3.1.2.- Productos pesados.....	25
2.4.- METODOLOGÍAS ACTUALES PARA LA EXTRACCIÓN DE LA ENERGÍA DE LA CASCARILLA DE ARROZ.....	26
2.4.1.- Tecnología de briquetas de cascarilla .....	29
2.4.2.- La gasificación.....	30
2.4.3.- La pirolisis.....	32
2.4.4.- Digestión anaeróbica.....	32
2.4.5.- Licuefacción.....	33
2.5.- APLICACIONES ACTUALES DE LA CASCARILLA DE ARROZ DE PRODUCTOS.....	34
2.6.- EL FUTURO DE LA CASCARILLA DE ARROZ.....	35

## CAPITULO 3

ASPECTOS TÉCNICOS.....	36
3.1.- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA CASCARILLA DE ARROZ.....	37
3.1.1.- Peso.....	37
3.1.2.- Densidad	
a.- Densidad en masa.....	38
b.- Densidad aparente.....	38
c.- Densidad verdadera.....	39
3.1.3.- Porosidad.....	39
3.2.- COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA CASCARILLA.....	41
3.3.- CONTENIDO DE HUMEDAD.....	44
3.4.- PORCENTAJE DE CENIZAS.....	46
3.5.- PORCENTAJE DE MATERIA VOLÁTIL.....	47
3.6.- PORCENTAJE DE CARBONO FIJO.....	48
3.7.- PODER CALORIFICO.....	49

3.8.- COMPARACIÓN CON OTRAS BIOMASAS.....	50
3.9.- COMPARACIÓN CON EL DIESEL.....	52
3.9.1.- Diesel vs Cascarilla de Arroz.....	53
3.9.2.- Comparación de capacidad calorífica.....	53
3.9.3.- Precios.....	54
3.9.4.- VENTAJAS DEL USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ.....	55
3.9.5.- DESVENTAJAS DE USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ .....	56
3.10.- PROCESO DE COMBUSTIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ.....	57
3.10.1.- Emisión de la combustión completa .....	59
3.10.2.- Emisión de la combustión incompleta.....	60
3.11.- ESTUDIO Y COMPARACIÓN DE LOS HOGARES DE COMBUSTIÓN PARA EL QUEMADO DE LA CASCARILLA DE ARROZ.....	60
3.11.1.- TECNOLOGÍA DE PARRILLAS.....	61
3.11.1.1- Hogar con parrilla fija.....	63
3.11.1.2.- Hogar con parrilla plana.....	63
3.11.1.3.- Hogar con parrilla escalonada.....	64

3.11.1.4- Hogar con parrilla escalonada movable.....	67
3.11.2.- TECNOLOGÍA DE LECHO FLUIDIZADO.....	68
3.11.2.1.- Lecho fluidizado burbujeante.....	70
3.11.2.2.- Lecho fluidizado circulante.....	70
3.12.- ANÁLISIS DEL HOGAR MAS ADECUADO PARA QUEMAR LA CASCARILLA.....	71
3.13.- CALDERAS.....	73
3.13.1.-Calderas pirotubulares.....	73
3.13.2.- Calderas acuotubulares o tubos de agua.....	74
3.14.- SELECCIÓN DEL TIPO DE CALDERA.....	75
3.15.-PARTES PRINCIPALES DE UNA CALDERA ACUATUBULAR.....	76
3.16.- FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR.....	77
3.17.- RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LA CASCARILLA DE ARROZ.....	79
3.17.1.1 Parquee de almacenamiento con foso.....	80
3.17.1.2.- Tolva receptora para descarga de camiones.....	81
3.17.1.3.- Transporte mecánico hasta estación dosificadora .....	83

3.18.- AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERA .....	83
3.18.1.- Consideraciones en el agua de alimentación .....	84
3.18.2.- Control de sólidos disueltos totales .....	84
3.18.3.- Control de la alcalinidad.....	85
3.19.- PERIFÉRICOS MÍNIMOS PARA UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR.....	86
3.20.- ESQUEMA FINAL PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR.....	88
 <b>CAPITULO 4</b>	
ASPECTOS ECONOMICOS .....	89
4.1.- COSTOS DE OPORTUNIDAD.....	93
4.2.- EFICIENCIA.....	94
4.3.- ECONOMÍA.....	94
4.4.- INFRAESTRUCTURA.....	94
4.5.- DISPONIBILIDAD INMEDIATA DEL COMBUSTIBLE.....	95
4.6.- REDUCCIÓN EN COSTOS.....	95
4.7.- VENTA DE BONOS VERDES.....	95

4.8.- FACTORES PARA DESENVOLVER UN PROYECTO MDL (MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO).....	96
4.8.1.- Disminución de emisiones de gases con efecto invernadero.....	96
4.8.2.- Aportación al progreso sostenible.....	98
4.8.3.- Localización.....	98
4.8.4.- Monitoreo.....	98
4.8.5.- Escenario de la línea base.....	99
4.9.- IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS DEL PROYECTO.....	99
4.9.1.- Impactos ambientales.....	100
4.9.2.- Impactos socio-económicos.....	100
4.9.3.- Impacto social .....	100
4.10.- EVOLUCIÓN DEL MERCADO INTERNACIONAL DE CARBONO.....	101
4.10.1.- Progreso del mercado.....	101
4.10.2.- Oferta y demanda.....	101
4.10.3.- Precios y condiciones.....	102
4.11.- BENEFICIOS DE PROYECTO DE ENERGÍAS RENOVABLES.....	104
4.11.1.- Beneficios, a nivel nacional y subregional.....	104

4.11.2.- Beneficios a nivel local.....	105
4.12.- BARRERAS.....	105
4.13.- COSTOS DE INVERSIÓN.....	106
4.13.1.- Costos de generación de vapor.....	107
4.14.- COMPARACIÓN EN COSTOS DE LA PRODUCCIÓN CON CASCARILLA Y PRODUCCIÓN CON DIESEL.....	107
4.15.- CASO DE ESTUDIO .....	109
4.15.1.- Consideraciones para la obtención de vapor utilizado para la elaboración de arroz pre-cocido (Parbolizado).....	109
4.15.1.1.- Cascarilla total disponible.....	109
4.15.1.2.- Días de trabajo .....	110
4.15.1.3.- Demanda de vapor para la producción de arroz parbolizado.....	110
4.15.1.4.- Consumo de cascarilla correspondiente.....	111
4.15.1.5.- Diesel requerido.....	111
4.15.1.6.- Costos anuales en combustible para la producción de vapor.....	111
4.15.1.6.1.- Combustible I: Cascarilla de Arroz.....	112

4.15.1.6.2.- Combustible II: Diesel.....	112
4.15.1.7.- Evaluación de la generación de vapor.....	112
4.15.1.8.- Inversiones para la producción de arroz parbolizado.....	113
4.15.1.9.- Consideraciones en la venta de bonos verdes.....	115
4.15.1.9.1.- Emisiones de CO <sub>2</sub> por la combustión de Cascarilla de Arroz.....	115
4.15.1.9.2.- Emisiones de CO <sub>2</sub> por la combustión de Diesel.....	116
4.15.1.9.3.- Beneficios por la venta de bonos verdes al utilizar la Cascarilla de Arroz como combustible.....	116
4.15.1.10.- Beneficios por la parbolizacion del arroz.....	117
4.15.1.11.- Análisis de los beneficios de la generación de vapor con Cascarilla de Arroz.....	118
4.15.1.12.- Cálculos del TIR y VAN.....	119

# INDICE DE FIGURAS

## CAPITULO 1

<b>FIGURA 1.1.</b> Producción nacional de arroz cáscara seco/limpio.....	4
<b>FIGURA 1.2.</b> Partes Constituyentes del grano de arroz.....	10
<b>FIGURA 1.3.</b> Diagrama de Molinera Arroceras .....	11
<b>FIGURA 1.3.</b> Proyección futura de la producción nacional de arroz.....	13

## CAPITULO 2

<b>FIGURA 2.1.</b> Máquina de Newcomen. ....	21
----------------------------------------------	----

<b>FIGURA 2.2.</b> Máquina de Watt. ....	22
<b>FIGURA 2.3</b> Esquema de central térmica convencional .....	23
<b>FIGURA 2.4.</b> Resultado del briquetado de la cascarilla de arroz .....	29

### **CAPITULO 3**

<b>FIGURA 3.1</b> Disposición de cascarilla de arroz en pellets .....	40
<b>FIGURA 3.2.</b> Esquema de las etapas de descomposición térmica de la cascarilla de arroz.....	59
<b>FIGURA 3.3</b> Hogar con parrilla plana.....	64
<b>FIGURA 3.4</b> Hogar con parrillas bajo el piso.....	65
<b>FIGURA 3.5</b> Hogar a nivel del piso.....	65
<b>FIGURA 3.6</b> Hogar a nivel del piso portátil.....	66
<b>FIGURA 3.7</b> Hogar con parrilla en escalón de tipo móvil.....	68

<b>FIGURA 3.8.</b>	a) Combustión en lecho fluidizado	
	b) combustión en lecho Fluidizado Recirculante.....	69
<b>FIGURA 3.9</b>	Composición de un horno con lecho Fluidizante Burbujeante.....	70
<b>FIGURA 3.10</b>	Calderas Piro tubulares.....	73
<b>FIGURA 3.11</b>	Calderas Acuatubulares .....	75
<b>FIGURA 3.12</b>	Esquema de Funcionamiento de una caldera acuotubular.....	79
<b>FIGURA 3.13</b>	Parque con foso de 8x14m.....	81
<b>FIGURA 3.14</b>	Tolva receptora para descarga de camiones.....	82
<b>FIGURA 3.15</b>	Almacenamiento mediante silo.....	82
<b>FIGURA 3.16</b>	Instalación con transporte mecánico.....	83

## CAPITULO 4

<b>FIGURA 4.1</b>	Proyección de la generación de emisiones / Generación de vapor con diesel (ton CO <sub>2</sub> / año).....	97
-------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## INDICE DE TABLAS

### CAPITULO 1

<b>TABLA 1.1</b>	Distribución De Las Piladoras De Arroz En La Provincia Del Guayas.....	7
<b>TABLA 1.2</b>	Distribución De Las Piladoras De Arroz En La Provincia De Los Ríos.....	8
<b>TABLA 1.3</b>	Proyección Futura De La Producción Nacional De Arroz.....	13
<b>TABLA 1.4</b>	Porcentaje De Productos Que Se Obtienen Del Pilado.....	14
<b>TABLA 1.5</b>	Producción Anual De Cascarilla De Arroz.....	15
<b>TABLA 1.6</b>	Proyección Futura De La Cascarilla De Arroz.....	16
<b>TABLA 1.7</b>	Potencial De Residuos Del Año2010.....	17

### CAPITULO 3

<b>TABLA 3.1</b>	Densidad De La Cascarilla De Arroz, Suelta Y En Pellets.....	39
------------------	--------------------------------------------------------------	----

<b>TABLA 3.2</b>	Porosidad De La Cascarilla De Arroz, Suelta Y En Pellets.....	41
<b>TABLA 3.3</b>	Análisis De Elementos Último De La Cascarilla En Porcentajes.....	43
<b>TABLA 3.4</b>	Características Químicas De La Cascarilla De Arroz.....	44
<b>TABLA 3.5</b>	Comparación Del Contenido De Humedad Con Otras Biomosas.....	45
<b>TABLA 3.6</b>	Análisis Del Contenido De Humedad De La Cascarilla De Arroz De Laboratorios De PRONACA.....	45
<b>TABLA 3.7</b>	Análisis Del Porcentaje De Cenizas En PRONACA Y AGROCALIDAD.....	46
<b>TABLA 3.8</b>	Composición De La Ceniza De La Cascarilla De Arroz.....	47
<b>TABLA 3.9</b>	Análisis De Porcentaje De Materia Volátil En La Cascarilla De Arroz.....	48
<b>TABLA 3.10</b>	Porcentaje De Carbono Fijo En La Cascarilla De Arroz.....	49
<b>TABLA 3.11</b>	Poder Calorífico De La Cascarilla De Arroz En Función Del Contenido De Humedad.....	50
<b>TABLA 3.12</b>	Componentes Más Importantes En Algunas Biomosas.....	51

<b>TABLA 3.13</b>	Capacidad Calorífica De Ciertos Tipos De Biomasa.....	51
<b>TABLA3.14</b>	Características Técnicas Del Diesel.....	52
<b>TABLA 3.15</b>	Comparación Del Poder Calorífico Entre La Cascarilla De Arroz Y Los Combustibles Fósiles.....	54
<b>TABLA 3.16</b>	Resumen De La Comparación De La Cascarilla De Arroz Con El Diesel.....	57
<b>TABLA 3.17</b>	Calidad Del Agua Para Calderas.....	86

## **CAPITULO 4**

<b>TABLA 4.1</b>	Potencial De Reducción De Emisiones / Generación De Vapor – Cascarilla De Arroz.....	97
<b>TABLA 4.2</b>	Consideraciones Generación De Vapor.....	110
<b>TABLA 4.3</b>	Evaluación De Obtención De Vapor Para La Elaboración De Arroz Parbolizado.....	113
<b>TABLA 4.4</b>	Inversiones Del Proyecto (cascarilla de arroz).....	114

<b>TABLA 4.5</b>	Inversiones Del Proyecto (Diesel).....	115
<b>TABLA 4.6</b>	Beneficios Generación De Vapor.....	118
<b>TABLA 4.7</b>	Calculo Del TIR y VAN.....	119

## INTRODUCCIÓN

El fin de este informe es mostrar que la utilización cascarilla de arroz como combustible es viable y provechoso para el medio ambiente; la metodología usada consiste primeramente en tomar en cuenta la situación actual del arroz en el país con el objetivo de mostrar las zonas más productivas y tener una visión de cuanta cascarilla se dispone.

Es evidente que la cascarilla de arroz siempre se ha considerado como un desecho por lo que en este informe se ponen de manifiesto algunas tecnologías de aprovechamiento de este recurso que bien pudieran dar réditos económicos si se los pone en práctica.

Nuestro objetivo es la generación de vapor requerido en la industria para diferentes procesos; para ello se ha diagnosticado a la cascarilla de arroz en parámetros importantes como la humedad y la densidad que posee para poder hacerle frente a los combustibles tradicionales utilizados en nuestros días.

Luego, se analizarán requerimientos tales como calderas y periféricos para la construcción de una planta de generación de vapor para finalmente por medio de datos proporcionados por una consultora, realizar un análisis financiero y determinar el grado de factibilidad económica que posee la utilización de este recurso para la producción de arroz parbolizado.

# **CAPITULO 1**

## **LA CASCARILLA DE ARROZ EN EL ECUADOR**

En el mundo, los tipos de energía renovable más comunes son las que se obtienen del sol y del viento pero, existen otras fuentes de energía.

La cascarilla de arroz es uno de los desechos más importantes de la producción en el país, porque constituye una fuente de energía al utilizarla como combustible.

Según el MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca), el 35% de la cascarilla de arroz se utiliza en la industria florícola y criaderos de animales, mientras que el sobrante es agrupado de la siguiente forma:

50% es quemada dentro de piladoras

15% es tirada en los bordes de las carreteras

15% es quemada en terrenos aislados

10% se quema en los bordes de las carreteras

5% es tirada en ríos

5% se pierde a causa del viento

El total de cascarilla producida en el país, es considerable. Debido a la generación y acumulación, han sido diversos los ensayos para aprovechar la cascarilla de arroz en diferentes campos y por intermedio de diferentes métodos.

### **1.1.- LA CASCARILLA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE**

Para considerar la utilización de la cascarilla de arroz como combustible, se debe evaluar su capacidad de aprovechamiento energético y analizarse algunos aspectos como:

- Cantidad de arroz producido en el año.
- Distribución geográfica de las piladoras de arroz.
- Subproductos generados del arroz pilado.
- Valoración potencial de residuos de arroz.
- Potencial de la cascarilla de arroz para producir energía.

### **1.2.- CANTIDAD DE ARROZ PRODUCIDO EN EL AÑO.**

En nuestro país, por su ubicación geográfica, posee un alto potencial agropecuario, debido a esto, el arroz un producto agrícola de gran importancia porque constituye uno de las fuentes de alimentación favoritas por volumen y bajo precio en el mercado.

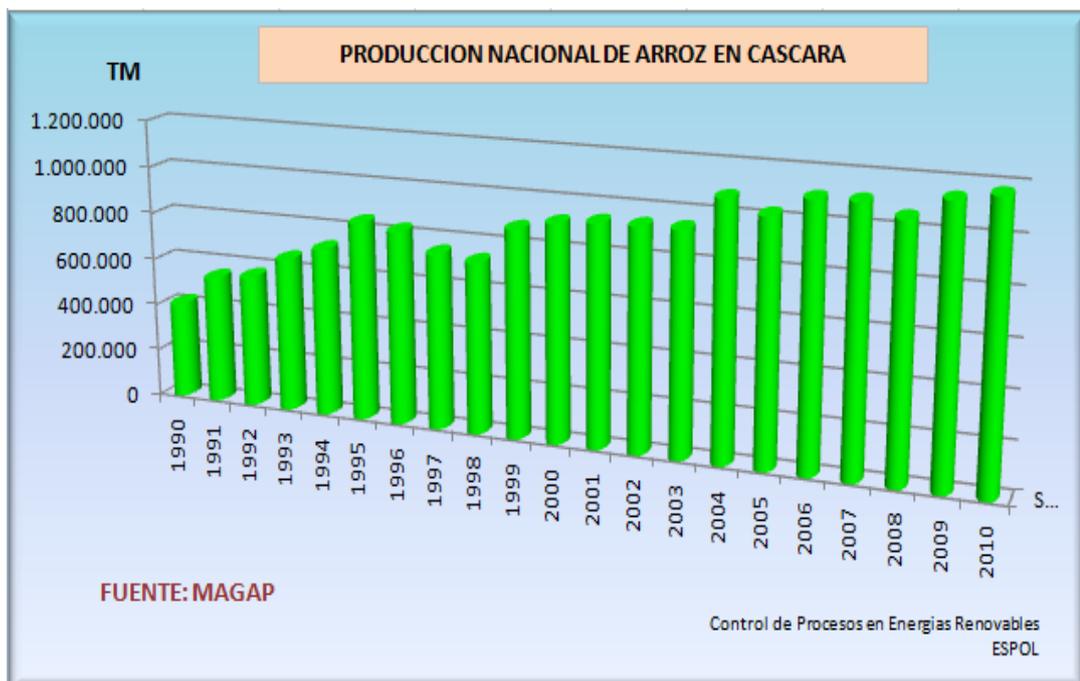
### **1.2.1.- PRODUCCIÓN NACIONAL DE ARROZ**

La producción nacional de arroz, tiende a ser fluctuante por varios factores que han influyen en la misma

El aumento de la producción de arroz en ciertos años es ocasionado por un crecimiento de las zonas utilizadas para su cultivo, mayor utilización de productos agrícolas, mejoramiento del servicio de tecnologías, y facilidades para la obtención de infraestructura para la comercialización en las zonas de producción, que han contribuido para darle confiabilidad, seguridad y desarrollo del mercado al agricultor.

El decaimiento en la producción de arroz es debido a las condiciones climáticas de nuestro medio, pues es uno de los principales factores que la limitan, podemos citar falta de luminosidad, sequías, inundaciones, plagas, y enfermedades, que son causales para un menor aprovechamiento de la tierra y pérdida de granos; debido a esto existe la diferencia notable en determinados años entre la superficie sembrada y cosechada.

Comparando la producción de ciertos años (Figura 1.1), según el MAGAP, aun con condiciones climáticas aceptables, la producción no es de lo mejor, debido a la forma en que se ha manejado la política arrocera; esto es, problemas al solicitar créditos, posesión de tierras, administración de cultivos, infraestructura, comercialización de grano y otros.



**Figura 1.1.-** Producción nacional de arroz cáscara seco/limpio (Fuente: MAGAP)

### 1.3.- DISTRIBUCIÓN GEOGRAFICA DE LAS PILADORAS DE ARROZ

El requerimiento de arroz en los últimos años ha demandado una expansión y mayor contribución de la industria de procesamiento, junto a ciertas facilidades de crédito e

importación de equipos, se ha originado el establecimiento de plantas de diferentes características.

Según datos obtenidos del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, se tienen registradas más de 1.066 empresas funcionando, esta cantidad es superior a la mitad de las plantas piladoras de arroz que se encuentran ubicadas en la provincia del Guayas, que reúne la mayor producción del país, seguida de la provincia de Los Ríos.

### **1.3.1.- TIPOS DE PILADORAS DE ARROZ**

Las plantas procesadoras de arroz se pueden clasificar en dos categorías, piladoras de primera categoría, y piladoras de segunda categoría.

#### **1.3.1.1.- PILADORAS DE PRIMERA CATEGORÍA.**

A este tipo pertenecen las piladoras que pueden procesar más de 20 qq/hora. La gran parte de estas poseen facilidades de secado artificial y almacenamiento; esto les facilita el funcionamiento durante todo el año, sin embargo aún existen piladoras que carecen de los medios para secar el grano, labor que se realiza en tendales con ayuda de la radiación solar. Esta operación es muy generalizada en el país, ya que se tiene el problema que a menudo al arroz se le extrae un contenido de humedad superior

que el que se requiere para poder ser pilado, esto provoca la partidura de los granos durante su procesamiento.

Además de su capacidad de procesamiento, las plantas catalogadas de primera categoría realizan las siguientes operaciones:

- Descascar intensivamente con una baja producción de arroz partido
- Dispersión automática de impurezas;
- Blanqueamiento;
- Pulimento; y,
- Separación del polvillo y arrocillo.

#### **1.3.1.2.- PILLADORAS DE SEGUNDA CATEGORÍA**

Las piladoras que pueden procesar menos de 20 qq/hora están agrupadas en esta categoría. El secado del arroz se lo realiza en tendales y solo se posee bodegas para un almacenamiento momentáneo. Así, estas piladoras solo pueden operar un tiempo límite de 120 días al año, en la época de cosecha. La maquinaria para el proceso de pilado está conformada por un descascarador y un separador de arrocillo y polvillo. No se blanquea ni se pule el grano. Al final se obtiene un elevado porcentaje de grano quebrado.

CANTÓN	PILADORAS POR CATEGORÍAS		
	1ra. CATEGORÍA	2da. CATEGORÍA	TOTAL
Alfredo Baquerizo Moreno	8	14	22
Balzar	3	12	15
Colimes	4	18	22
Daule	25	27	52
El Empalme	2	14	16
El Triunfo	8	2	10
Eloy Alfaro	10	4	14
Guayaquil	9	6	15
Lomas de sargentillo	15	15	30
Milagro	12	6	18
Naranjal	5	8	13
Naranjito	0	4	4
Nobol	9	7	16
Palestina	5	15	20
Pedro carbo	0	7	7
Samborondón	30	33	63
Santa Lucía	12	29	41
Simón Bolívar	11	14	25
Salitre	18	38	56
Yaguachi	22	19	41
		<b>TOTAL (GUAYAS)</b>	<b>500</b>

**Tabla1.1.-** Distribución de las Piladoras de Arroz en la Provincia del Guayas  
(Fuente: MAGAP)

CANTÓN	PILADORAS POR CATEGORÍAS		
	1ra. CATEGORÍA	2da. CATEGORÍA	TOTAL
Buena Fe	5	5	10
Baba	3	50	53
Babahoyo	32	108	140
Mocache	2	19	21
Montalvo	8	27	35
Palenque	1	37	38
Pueblo Viejo	13	19	32
Quevedo	11	19	30
Urdaneta	12	17	29
Ventanas	8	70	78
Vinces	8	87	95
		<b>TOTAL (LOS RÍOS)</b>	<b>561</b>

**Tabla 1.2.-** Distribución de las Piladoras de Arroz en la Provincia de Los Ríos  
(Fuente: MAGAP)

#### **1.4.- SUBPRODUCTOS GENERADOS DEL PILADO DE ARROZ.**

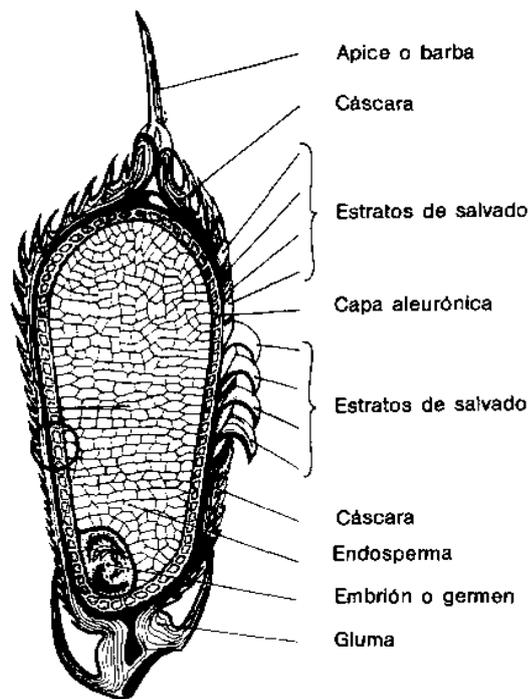
El arroz es un fruto cariósipide similar a la avena y el trigo. Es ovalado y mide de 8 -10 mm de longitud. En la base posee dos glumas estériles pequeñas y sobre ellas otras glumas fluorescentes llamadas lema y palea, que constituyen la cascarilla del grano, ésta le da una superficie abrasiva y rígida que le protege de daños mecánicos y de ataques de insectos; la cascarilla constituye el 18-23% del arroz entero (Figura 1.4).

Teniendo como objetivo la eliminación de la cascarilla, el arroz es sometido a trituración y, a continuación, por el procedimiento de aeración se separa la cascarilla del resto, obteniendo, entonces el arroz moreno y otros subproductos.

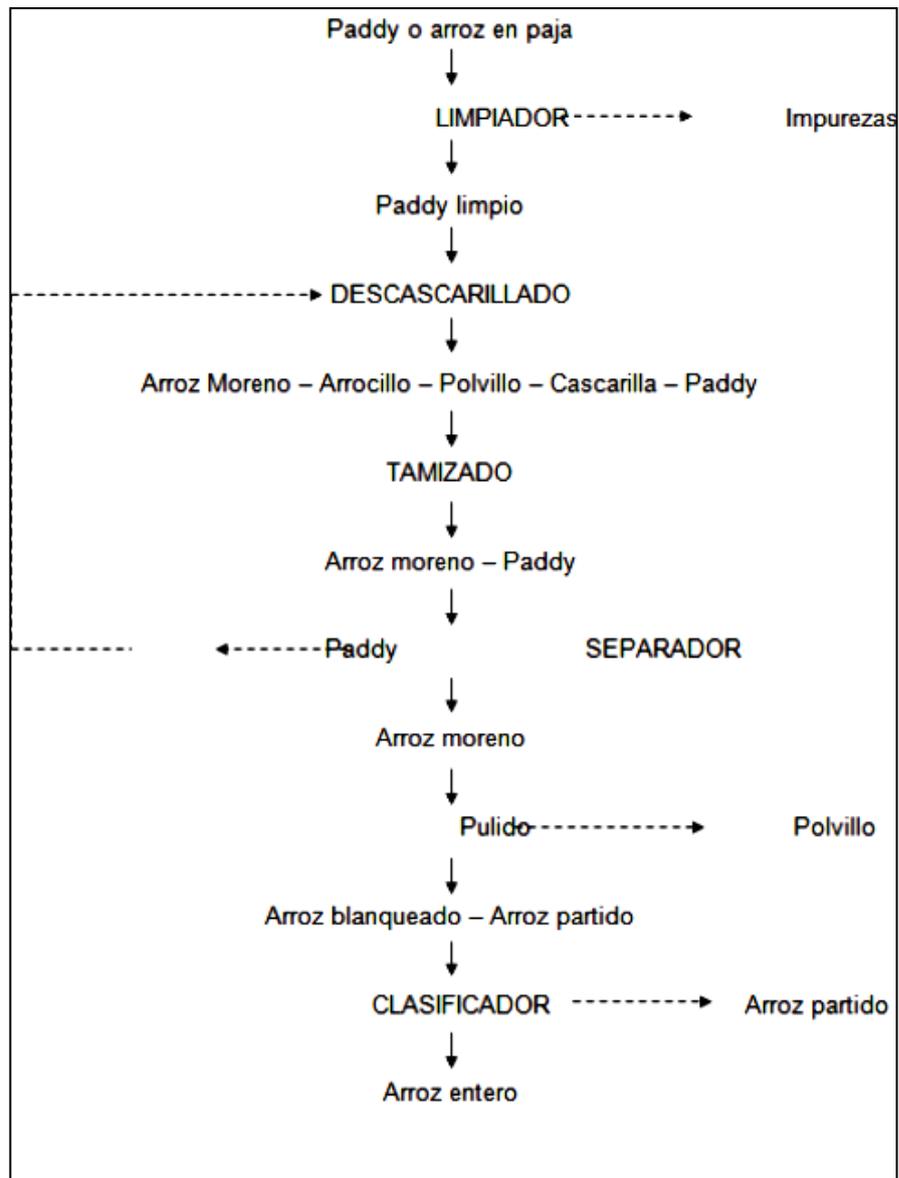
El arroz moreno es ya un subproducto que puede utilizarse de manera directa en la alimentación de las personas, sin embargo, el color café claro que posee resulta desagradable para el consumidor, que lo prefiere blanco. Para descartar este problema, el arroz moreno se somete un procedimiento llamado “pulido”.

De la operación de blanqueado se obtiene al arroz pulido, raspado, y salvado, este producto obtenido se conoce como polvillo.

El arroz blanqueado entra a un clasificador, donde se procede a separar los granos que se quiebran en el proceso y que conforman en el grano comercial llamado arrocillo. Se Obtiene como producto final el arroz de primera que se utiliza en la alimentación humana, y que se conoce como arroz entero. (Figura 1.5).



**Figura 1.2.-** Partes Constituyentes del grano de arroz (Fuente: [www.banquita.com.co](http://www.banquita.com.co))



**Figura 1.3.-** Diagrama de Molinera Arrocera (Fuente: MAGAP)

## **1.5.- PERSPECTIVAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ARROZ.**

La expansión demográfica aumenta cada día y aún más en los países que se encuentran en vías de desarrollo, en los que se necesitará también un incremento en la producción de productos de carácter alimenticio.

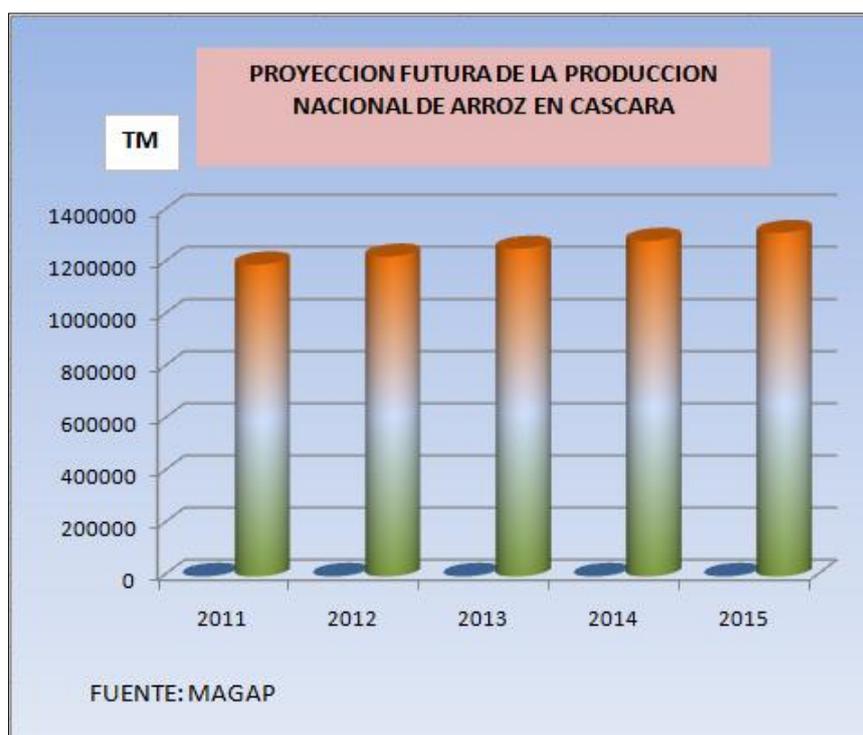
El arroz se encuentra en el tercer puesto en cuanto a su importancia cerealícola, pues tiene sobre el trigo la ventaja de que puede ser consumido después del descascarillado, sin necesidad del proceso de molienda ni la transformación en pan, por lo que esta gramínea puede obtenerse en grandes cantidades.

El aumento de la población provocará un crecimiento de la producción de arroz, es así que, el consumo per-cápita incrementará la demanda global mensual, debido a esto, habrá más demanda en la producción de arroz pilado. El País alcanzará a cubrir las necesidades en los años venideros e incluso estará capacitado para operaciones de exportación de este gramínea a países vecinos.

Esta situación se debe a se han tomado en cuenta las correcciones respectivas a algunas fallas que en años anteriores ha tenido la producción de arroz, algunos de estos problemas son: pérdidas por post-cosecha, transportación, almacenamiento y la variación de políticas más agresivas de investigación.

AÑOS	PRODUCCIÓN ARROZ CÁSCARA SECO/LIMPIO (T.M)
2011	1.195.852
2012	1.226.115
2013	1.256.378
2014	1.286.641
2015	1.316.904

**Tabla 1.3.-** Proyección futura de la producción nacional de arroz (Fuente: MAGAP)



**Figura 1.4.-** Proyección futura de la producción nacional de arroz (Fuente: MAGAP)

El MAGAP proporciona una proyección de producción arroz en toneladas métricas con la que se establece que ésta dará lugar a una mayor producción de cascarilla de arroz como consecuencia del proceso de pilado, esto determina un serio problema medioambiental pues, por lo general la cascarilla se quema a la atmósfera sin ninguna clase de aprovechamiento, considerando que este residuo posee algunas propiedades físicas y químicas que desde un ámbito energético lo hacen muy adecuado para utilizarlo como combustible bioenergético térmicamente eficaz y de un muy bajo impacto ambiental.

## 1.6.- POTENCIAL DE LOS RESIDUOS DEL PILADO DE ARROZ.

Debido a la existencia de algunas variedades de arroces criollas y foráneas en el Ecuador, resulta complicado establecer un solo tipo predominante en nuestro medio, por lo que el MAGAP estimó apropiadamente tomar un promedio de los porcentajes por unidad de peso del rendimiento en el pilado de arroz, estos datos se ponen a consideración en la Tabla 1.4.

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE (%)
Arroz Pilado entero (18% pulido)	63
Arrocillo (>1/4y 5% <3/4) + yelem	5
Polvillo	8.5
Cascarilla	22
Impurezas	1.5
Yelem= Arrocillo muy fino	

**Tabla 1.4.-** Porcentaje de productos que se obtienen del pilado. (Fuente: MAGAP)

En la Tabla 1.5, el MAGAP proporciona las toneladas métricas de cascarilla de arroz generadas a partir de la producción anual de arroz en cáscara, tomando en cuenta que en el proceso de pilado de arroz un 22% es cascarilla como según datos de la Tabla 1.4.

<b>PRODUCCION ANUAL DE CASCARILLA DE ARROZ</b>		
<b>AÑOS</b>	<b>PRODDUCIÓN DE ARROZ EN CASCARA SECO/LIMPIO T.M</b>	<b>CASCARILLA DE ARROZ (T.M)</b>
1990	409.601	90.112
1991	539.846	118.766
1992	560.598	123.331
1993	652.823	143.621
1994	712.101	156.662
1995	839.308	184.647
1996	818.987	180.177
1997	741.125	163.047
1998	722.089	158.859
1999	874.874	192.472
2000	912.354	200.718
2001	929.865	204.570
2002	931.427	204.914
2003	934.166	205.516
2004	1.071.601	235.752
2005	1.017.179	223.779
2006	1.096.303	241.186
2007	1.100.242	242.053
2008	1.050.175	231.038
2009	1.135.326	249.771
2010	1.165.589	256.429

**Tabla 1.5.-** Producción Anual de cascarilla de arroz . **(Fuente: MAGAP)**

Tomando en cuenta el estudio de las perspectivas futuras en la producción nacional de arroz el MAGAP en la Tabla 1.6, establece la cantidad de cascarilla de arroz, que se podría generar mediante el proceso de pilado de la gramínea para los próximos 5 años.

<b>PROYECCION FUTURA DE LA CASCARILLA DE ARROZ</b>		
<b>AÑOS</b>	<b>PROYECCION FUTURA DE PRODUCCION DE ARROZ</b>	<b>PROYECCION FUTURA DE CASCARILLA (T.M)</b>
2011	1.195.852	263.087
2012	1.226.115	269.745
2013	1.256.378	276.403
2014	1.286.641	283.061
2015	1.316.904	289.718

**Tabla 1.6.-** Proyección futura de la cascarilla de arroz. (Fuente: MAGAP)

### **1.7.- POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA CASCARILLA DE ARROZ.**

El mejor uso a la cascarilla de arroz puede ser fuente de generación de empleos y su correcto manejo puede evitar el riesgo de enfermedades debido a que la quema sin control de cascarilla de arroz es un factor de contaminación de suelo, agua y aire.

Evaluando la cantidad de energía que se está desperdiciando sin ser utilizada, se puede tomar conciencia de que se tiene una fuente de energía que no es explotada y bien podría ser un complemento de los combustibles convencionales.

La cantidad de productos producidos en el proceso del pilado de arroz para el año 2010 es:

DESCRIPCIÓN	TM
Arroz en cáscara seco y limpio	1.165.589
Arroz pilado	757.632,85
RESIDUOS DEL ARROZ	
Arrocillo	58279,45
Polvillo	99075,065
Cascarilla	256.429,58
Impurezas	17483,835

**Tabla 1.7.-**Potencial de residuos del año 2010. (Fuente: MAGAP)

Haciendo un pequeño cálculo se tiene:

Producción de arroz-cáscara (año 2010) = 1.165.589 TM

Del proceso del pilado del arroz se obtiene un 22% de cascarilla de arroz lo que implica:

$$256.429,58 \text{ TM} = 2.56 \times 10^8 \text{ Kg}$$

Tomando en cuenta el poder calorífico promedio de la cascarilla de arroz = 15 MJ/Kg

y además la energía generada por la cascarilla de arroz:

$$2.56 \times 10^8 \text{ Kg} \times 15 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} \equiv 38.4 \times 10^8 \text{ MJ}$$

Considerando que:

$$1 \text{ BEP (Barril equivalente de petróleo)} = 1.700 \text{ KWh} = 6.120 \text{ MJ}$$

La cantidad de cascarilla de arroz producida al año genera un valor equivalente en BEP igual a:

$$38.4 \times 10^8 \text{ MJ} \times \frac{1 \text{ BEP}}{6.120 \text{ MJ}} \equiv 627450 \text{ BEP}$$

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de cascarilla de arroz en energía, es necesario considerar ciertos parámetros y condiciones que la caracterizan. Estos determinan el proceso de conversión más adecuado y permiten realizar proyecciones de los beneficios económicos y ambientales esperados; entre estos parámetros están: el tipo de cascarilla, la disponibilidad, composición química y física, contenido de humedad, poder calórico, densidad aparente así como también la recolección, transporte y manejo.

## **CAPITULO 2**

### **EVOLUCION Y ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGIA**

Con la innovación tecnológica las características favorables de la cascarilla de arroz serán usadas para resolver los problemas ambientales y al mismo tiempo producir electricidad y productos industriales de alto valor.

Durante muchos años se conjuntaron esfuerzos para mejorar los sistemas de combustión, aun cuando todavía no se habían generado razones económicas para pensar en la sustitución del petróleo por combustibles renovables.

En el área de la generación de energía, los inventos más innovadoras fueron los que uilizaban el vapor. La importancia de las máquinas de vapor, atrajo la atencion de grandes científicos como Carnot quien se convertiria en el fundador de la termodinámica, que es una rama de la física que estudia el calor y propiedades térmicas de la materia.

A comienzos del siglo XX, las máquinas de vapor se aplicaban a las bombas para extraer el agua de las minas que se encontraban varios metros bajo la superficie. En 1775 James Watt construyó una máquina de vapor que tuvo gran aceptación en la industria mecánica y metalúrgica, la textil y la alimenticia. Pronto se tuvo la idea utilizar el vapor para el transporte de personas o cargas; de esta manera se crearon los buques de vapor. Todos estos inventos influían sobre los demás sectores de la producción de aquella época.

## **2.1.- EL COMIENZO DEL DESARROLLO**

Cuando los Británicos llegaron por primera vez a conquistar América por el siglo XVII, no hubo ningún indicio de lo que hoy llamamos la Revolución Industrial. Ellos venieron con una estrategia del fondo política y con la idea de realizar un crecimiento de su nacionalismo y pensando en desarrollar una economía creciente en tierras americanas.

En esos momentos Inglaterra era un ejemplo a seguir porque era conocida como un imperio exitoso en su economía. En la primera mitad del siglo XVIII se relata que los Británicos empezaron a cavar canales, extraer carbón de las minas, mecanizar la industria textil, crear máquinas de vapor para diferentes aplicaciones y en general desarrollaron una industria dominante del siglo en curso. En el continente Americano, tomaba lugar algo parecido, pero a más baja escala.

Mecánicos y artesanos crearon sus talleres donde construían o inventaban las demandas hechas por los gobiernos federales de la época de mejor manufactura y el mejoramiento del transporte, estos dos para lograr un equilibrio integrado y una economía autosuficiente.

Una solución a todas estas demandas fue la invención de la máquina de vapor que fue desarrollada por Thomas Newcomen. Él conocía los problemas de abastecimiento de agua en las minas por lo que por 1712, había trabajado en la construcción de una máquina de vapor la cual se puso en funcionamiento en aquel lugar.

Con esta máquina Newcomen solucionó los problemas de abastecimiento de agua en las minas de carbón y proporcionó las cantidades necesarias de agua.

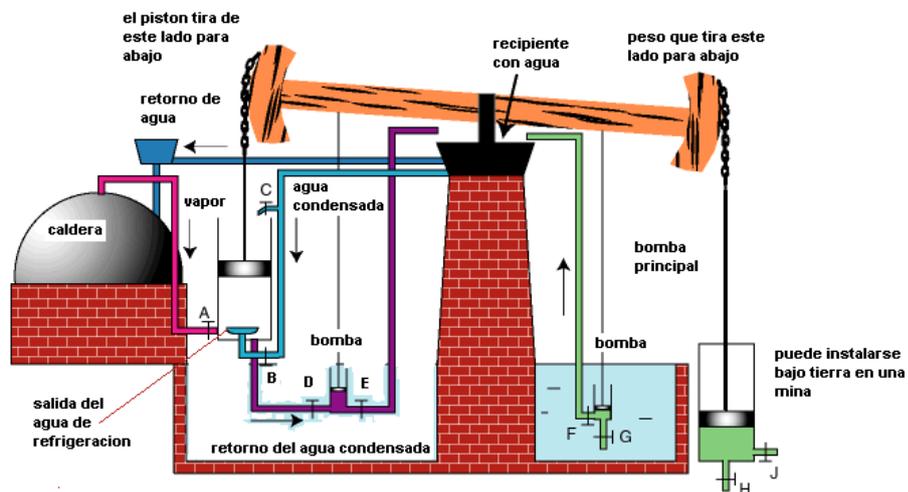
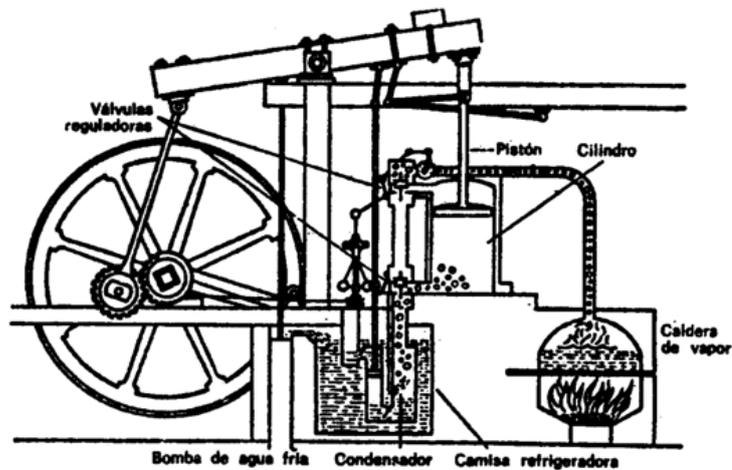


Figura. 2.1.- Máquina de Newcomen. (Fuente: [www.teleformacion.com](http://www.teleformacion.com))



**Figura 2.2.- Máquina de Watt. (Fuente: [www.teleformacion.com](http://www.teleformacion.com))**

El problema de la máquina de Newcomen fue su bajo rendimiento, la causa de su baja eficiencia fue debido a que el vapor se enfriaba en el cilindro.

En el año 1764, Jame Watt, tuvo a su cargo la reparación de dicha máquina, un año después, en 1765 realizó grandes modificaciones con respecto a su invención original; en esta modificación se hace que el vapor se condense en un recipiente especial, un condensador. Con esta importante modificación se podía mantener siempre caliente el cilindro, ahorrando una cantidad considerable de combustible.

El desarrollo de la máquina de vapor creó grandes expectativas en los empresarios que llegaron a América por 1776, las colonias americanas se convertirían en una nueva nación. Esta también puede ser una razón por la cual James Watt es considerado el pionero de las máquinas de vapor, ya que las máquinas que fueron construidas posteriormente siguen el principio que estableció Watt.

## 2.2.- TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE VAPOR CONVENCIONALES

Se entiende por calderas de vapor convencionales aquellas utilizadas principalmente en producción de vapor para energía eléctrica, es decir, las centrales termo-eléctricas convencionales.

En estas centrales, la caldera, o más genéricamente, el generador de vapor, es el elemento donde tiene lugar la primera de las transformaciones energéticas del combustible. El producto de dicha transformación, energía térmica, se transfiere al agua líquida y al vapor de agua que circulan por la caldera, con objeto de hacer adecuada la entalpía de vapor para su aprovechamiento en una turbina.

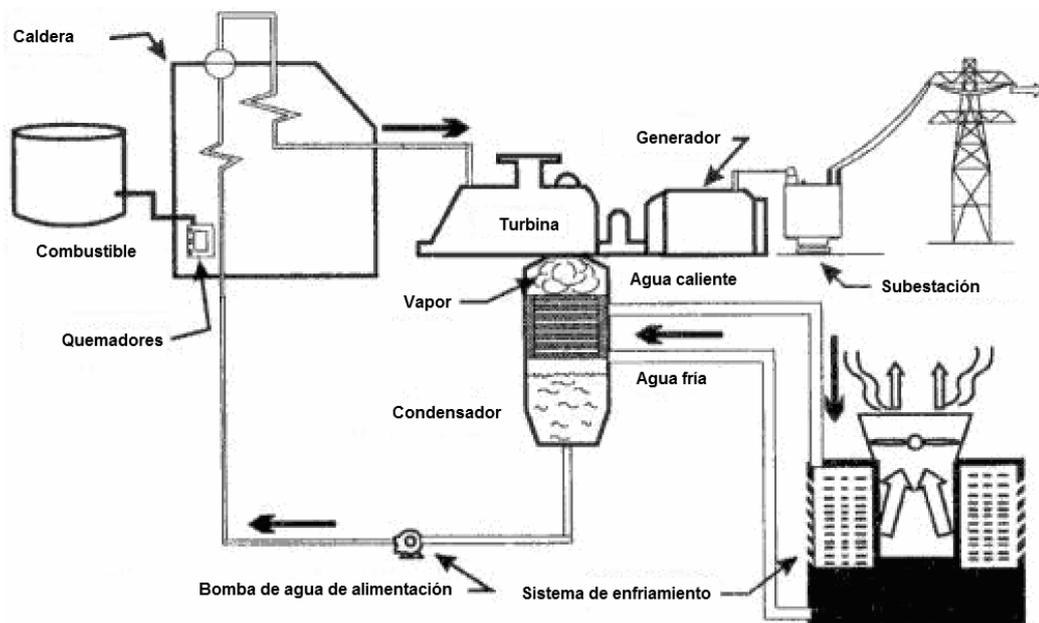


Figura 2.3.- Esquema de central térmica convencional

(Fuente: <http://www.ipen.gob.pe>)

La caldera está formada principalmente por:

- El hogar o cámara de combustión, recinto donde se quema el combustible en presencia de aire, liberándose el calor de combustión que se entrega al circuito agua-vapor.
- Intercambiadores de calor de haces tipo tubular, es donde el vapor que genera la turbina es acondicionado y se disminuye la temperatura de los gases de combustión en la salida sin causar peligro en el escape por la posibilidad de condensaciones ácidas.
- El hogar es el lugar donde predomina la radacion, es donde se llegan a altas temperaturas lo que provoca el flujo termico a la superficie calefactada, las temperaturas mayormente vienen siendo desde 1500°C-1700°C, y se reducen hasta 1000°C-1200°C cerca de las paredes y de la salida del hogar. Ese rango de temperaturas está asociado con flujos térmicos máximos del orden de 350 kW/m<sup>2</sup>, aunque el valor medio resulta inferior, 100-125 kW/m<sup>2</sup> [2-26].

## **2.3.- COMBUSTIBLES CONVENCIONALES**

### **2.3.1.- EL PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS**

El petróleo, materia prima para la formación de una enorme cantidad de combustibles fósiles utilizados para las calderas convencionales, lo encontramos en yacimientos ubicados en muchos puntos debajo de la corteza terrestre, en su aspecto físico es un

líquido espeso; compuesto por hidrocarburos alifáticos de cadena abierta o también hidrocarburos cíclicos y aromáticos.

El yacimiento recién extraído se conoce con el nombre de petróleo crudo y no tiene ninguna aplicación comercial, por esta razón es necesario someterlo a un proceso de destilación fraccionada en refinерías. Como resultado de este proceso tenemos una gran cantidad de combustibles que citaremos a continuación, de los cuales muchos son utilizados en las calderas para la generación de vapor.

#### **2.3.1.1.- PRODUCTOS LIVIANOS**

(Menor densidad y su alta volatilidad)

- Gas licuado
- Gasolinas
  - Extra
  - Súper
- Diesel
- Queroseno (kerosene)

#### **2.3.1.2.- PRODUCTOS PESADOS**

- Diesel marino
- Combustóleo o bunker

## **2.4.- METODOLOGÍAS ACTUALES PARA LA EXTRACCIÓN DE LA ENERGÍA DE LA CASCARILLA DE ARROZ**

La selección de la tecnología de combustión de la cascarilla de arroz para producir energía (calor y potencia) es basada en los siguientes criterios:

- Costo de producción
- Recuperación del capital y beneficio financiero
- Disponibilidad de la cascarilla de arroz y características del combustible
- Manufactura del equipamiento y capacidad de suministro
- Impactos ambientales y medidas para su mitigación

Las 6 principales tecnologías de conversión existentes son: (1) combustión directa; (2) gasificación; (3) anaeróbico; (4) pirolisis; (5) briquete y (6) licuefacción. Al presente, las tecnologías más comunes son combustión directa y gasificación de la cáscara de arroz. La producción de vapor a alta presión y temperatura forma parte de la combustión directa. Antes de seleccionar la tecnología, un análisis de las características del combustible es necesario.

El contenido de humedad de la biomasa es una de sus características importantes, por esto, consideraciones cuidadosas deberían de tenerse al seleccionar el modo más apropiado para la tecnología de combustión. La presencia de agua en la cascarilla reducirá la porción de sustancias combustibles. La cascarilla que tiene un alto

contenido de humedad debería ser secada naturalmente bajo el sol o en una secadora antes de ser usada como combustible. Por otra parte, con un contenido de humedad muy alto siempre se necesita más tiempo para calentar la biomasa arriba de la temperatura de incendio.

Actualmente, las nuevas tecnologías y técnicas existentes permiten quemar los combustibles teniendo un alto contenido de humedad hasta un 60%. Por lo tanto, debemos considerar y escoger el contenido de humedad en un rango apropiado a la tecnología. El valor calorífico del combustible es la cantidad de calor liberado de la combustión completa de una unidad del mismo. Esta es una característica básica, la cual será usada para calcular los parámetros de la cámara de combustión como volumen de calor, la superficie de las rejillas así como los procesos de combustión y transferencia masa/calor en el horno. Otro aspecto importante es la homogeneidad del combustible que en términos de tamaño y tipo no es asegurada, el proceso de combustión en el horno podría no ser estable. Se necesita seleccionar una apropiada tecnología de combustión.

El contenido de ceniza tiene importantes efectos en las propiedades del combustible: reducir el valor calorífico, causando polvo y corroyendo el material de la caldera, llevando a disminuir la intensidad de transferencia de calor. Para combustibles de biomasa en este caso la cascarilla de arroz, el contenido de ceniza es bajo y la relación entre la ceniza que vuela y la escoria depende mucho de la forma y el tamaño

de la cascarilla así como la tecnología de combustión seleccionada, el tamaño y la forma de la caldera/horno. Para la combustión convencional en rejillas, esta relación es de 60/40 e incluso 80/20. Durante el proceso de combustión, la ceniza es usualmente arrastrada en el humo debido al efecto de succión del ventilador. Consecuentemente, en orden de mantener permisibles parámetros ambientales se necesita usar trampas de ceniza, filtros de gas de chimenea (seco, húmedo o de bolsa).

A la fecha los mecanismos para extraer la energía de la cascarilla de arroz se encuentran en un estado tal que lo convierten en una empresa muy rentable. Una *caldera/horno* bien diseñado puede convertir hasta el 60% de la energía de la cascarilla de arroz en calor.

Los mayores productores de arroz en el mundo son China, India, Indochina y Vietnam. En ellos podemos encontrar los proyectos de mayor envergadura, principalmente en la producción de energía eléctrica en proyectos de cogeneración en grandes plantas procesadoras de arroz donde el vapor producido por la combustión de la cascarilla se comparte también con los procesos de secado. En América latina, Brasil ocupa el primer puesto en producción. Es en estos países donde podemos encontrar el mayor desarrollo y aplicación de la tecnología para la extracción de la energía de la cascarilla.

#### **2.4.1.- TECNOLOGÍA DE BRIQUETAS DE CASCARILLA**

La tecnología de briquetas para la cascarilla de arroz es una tecnología de aumento de tamaño, en el que la cascarilla de arroz se reduce a polvo y se fabrican briquetas que son como “Pequeños Ladrillos” producto de un proceso de prensado en moldes de diferentes formas y tamaños.

El aumento de densidad del producto generalmente se obtiene por compresión mecánica. En el proceso de briqueteado en seco es necesario tener altas presiones de compactación. En tal caso no es necesario usar aglomerantes, pero este proceso es de elevado costo y recomendado sólo para niveles altos de producción. Por otro lado, el proceso de briqueteado en húmedo se lo puede realizar con bajas o menores presiones de trabajo, pero se necesita usar una sustancia aglomerante.



**Figura 2.4.-** Resultado del briquetado de la cascarilla de arroz

(Fuente: <http://www.palestra.pucp.edu.pe>)

Los niveles de producción de las briquetas no son altos y la capacitación para operar este equipo son relativamente sencillas. Además, los aglomerantes seleccionados están disponibles en el mercado, son baratos y poseen una fuerte capacidad de aglomeración.

Este proceso empieza desde la conversión de la cascarilla de arroz en partículas de polvo muy fino, mediante un proceso de molienda en un molino tipo martillo. Luego se mezcla el polvo fino con agua y una sustancia de aglomeración. La mezcla queda en forma de pasta y es colocada en una prensa briqueteadora. En su fase final la briqueta es secada para reducir el contenido de agua. El secado puede ser realizado al aire libre o en un secadores eléctricos.

La realización de este proceso da como resultado una mejora en la combustión, los productos son uniformes teniendo el mismo tamaño y peso. De igual manera de contaminación por polvo son reducidos durante la manipulación, transporte y combustión. Es más práctico transportar y almacenar briquetas que hacerlo con el material original.

#### **2.4.2.- LA GASIFICACIÓN**

En la gasificación de la cáscara del arroz, esta se convierte de un combustible sólido en uno gaseoso; gasificar es hacer reaccionar la materia combustible a una temperatura mayor que 700 °C, oxidándose parcialmente en una atmósfera en defecto

de oxígeno; que contenga menos del necesario para llevar a cabo la combustión completa, obteniéndose el “gas de síntesis” compuesto principalmente por monóxido de carbono e hidrógeno. El paso de los residuos del arroz al gas de síntesis pasa por dos etapas: la gasificación y el tratamiento de los gases. Las reacciones de gasificación se producen en el gasificador. El gas de síntesis producido en la gasificación sale caliente y contiene alquitranes, partículas y hollín que deben ser eliminados para alcanzar una calidad óptima.

El gas de síntesis tiene varias posibilidades de aprovechamiento: Puede quemarse en quemadores de calderas o secaderos para la producción de energía térmica. Con un adecuado tratamiento el gas de síntesis es un combustible apto para motores o turbinas de gas, equipos generalmente empleados para la producción de energía térmica y eléctrica. Cuando la potencia instalada en motores o turbinas es suficientemente alta, existe la posibilidad de aprovechar los gases de escape en un ciclo combinado. En cuanto al rendimiento en la generación de energía eléctrica, hay mucha variabilidad de datos, pero puede considerarse que para generar 1 Kwh. es necesario emplear 2,8 kg de cascarilla de arroz. El gas de síntesis puede también utilizarse como materia prima para la obtención de gases técnicos, origen de la producción de compuestos como el metanol o el amoníaco. El hidrógeno que puede obtenerse del gas tiene una posible aplicación energética muy interesante en las pilas de combustible. De todos los usos mencionados, conviene distinguir entre

aplicaciones “industriales” con resultados probados y parámetros de operación conocidos y aplicaciones que todavía están en fase “de demostración”.

### **2.4.3.- LA PIROLISIS**

Es la combustión de la cascarilla de arroz de manera incompleta eliminando la presencia del oxígeno, este proceso se realiza a una temperatura de 500°C, esta tecnología es utilizada desde hace mucho tiempo para la producción del carbón vegetal. Además, en este procedimiento de pirolisis se liberan gases pobres, que son productos de la mezcla de monóxido de carbono y dióxido de carbono, de hidrógeno y de hidrocarburos ligeros. Este gas, es de débil poder calorífico. Existe una variación en el proceso de pirolisis que se llama Pirolisis flash, obtiene este nombre ya que se lleva a 1000°C en menos de un segundo, posee ventajas de asegurar una gasificación casi total de la biomasa y producir menos pérdidas.

### **2.4.4.- DIGESTION ANAERÓBICA**

Se utiliza mayormente para transformar de la cascarilla de arroz cuando esta húmeda, en los fermentadores, la celulosa se convierte en un gas, que posee alrededor de 60% de metano y 40% de gas carbónico. El problema de esta tecnología radica en la necesidad de calentar el equipo, para mantener su temperatura alrededor de los 30-35 grados centígrados. Sin embargo, el uso de digestores es un camino que ofrece autonomía energética de las explotaciones agrícolas. Además, es una técnica

de gran interés para los países en vías de desarrollo. Así, millones de digestores ya son utilizados por familias campesinas chinas.

#### **2.4.5.- LICUEFACCIÓN**

La licuefacción de la cascarilla se basa en hidrogenación indirecta. Básicamente, consiste en reducir la materia prima con hidrógeno y/o monóxido de carbono para obtener una fracción gaseosa, constituida fundamentalmente por anhídrido carbónico y metano, y una fracción líquida que puede ser considerada como un combustible sintético. Las moléculas complejas de celulosa y lignina son rotas, el oxígeno es removido, y se adicionan átomos de hidrógeno. El producto de esa reacción química es una mezcla de hidrocarburos que al enfriarse se condensan en un líquido.

En el proceso de licuefacción la cascarilla de arroz se calienta con vapor y monóxido de carbono, o hidrógeno y monóxido de carbono, a temperaturas de 250 °C a 450 °C y presiones de alrededor de 27 MPa en la presencia de un catalizador. La biomasa no necesita ser seca como en la mayoría de los procesos de gasificación, dado que en el proceso se adiciona agua.

## **2.5.- APLICACIONES ACTUALES DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN PRODUCTOS.**

La cascarilla de arroz, subproducto del arroz pilado, está formada en un 25 a 30 por ciento de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), es utilizada en diferentes tipos de aplicaciones como:

- Refuerzo de caucho
- Paneles solares
- Refuerzo para plástico
- Agricultura (comida para animales)
- Alimentos, atención médica, cosméticos
- Catálisis, recubrimientos
- Procesamiento de pulpa y papel
- Detergentes y jabones
- Adsorbentes
- Purificación de agua
- Suavizantes
- Recuperador de solvente
- Purificación del aire

## **2.6.- EL FUTURO DE LA CASCARILLA DE ARROZ**

Tanto Argentina como Brasil cuentan con el desarrollo total de la tecnología y fabricación de calderas y generadores para producir vapor y energía eléctrica a partir de residuos agrícolas como la cascarilla de arroz y también desechos forestales. Dicha implementación es importante debido a que muchas zonas industriales se encuentran alejadas de los centros urbanos y no cuentan con un adecuado suministro de energía.

La utilización de biomasa en general como fuente de energía puede ser una contribución para la sustitución de la utilización de los combustibles fósiles, lo que daría mayor seguridad energética nacional con una variedad más amplia de las fuentes de energía.

Y además, al ser una fuente de energía renovable puede ayudar a mitigar el cambio climático, siempre y cuando se produzca de manera sostenible.

## **CAPITULO 3**

### **CARACTERIZACION DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y EVALUACIÓN TECNICA PARA LA GENERACION DE VAPOR**

El aumento de tecnología ha permitido la mejora de procesos haciéndolos más eficaces y limpios para la transformación de la biomasa en una forma energética; convirtiéndola, por ejemplo, en formas de combustibles líquidos o gaseosos, los mismos que son mucho más convenientes.

En la industria de la agricultura, de los procedimientos de secado de granos se obtienen subproductos que son utilizados para la generación térmica en procesos de combustión directa; como es el caso de la cascarilla de arroz.

La industria de procesos alimenticios, genera una importante cantidad de residuos, que podrían ser utilizados como fuentes de energía, éstos se obtienen de carnes y vegetales cuyo procesamiento como desechos implica un costo significativo. Estos residuos poseen un importante contenido de azúcares y carbohidratos, los mismos pueden ser transformados en combustibles gaseosos.

Debido a la significativa generación y acumulación de la cascarilla de arroz, han sido diversos los métodos para aprovechar este desecho en algunos campos y por intermedio de diferentes procedimientos, lograr materiales que se puedan utilizar de manera inmediata y directa o a través de etapas previas que viabilicen el uso posterior del residuo pre-tratado.

### **3.1.- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA CASCARILLA DE ARROZ**

La cascarilla de arroz es un grano del tipo cariósido y sus dimensiones no son únicas debido a los numerosos tipos de arroz existentes, estas dimensiones varían en longitud de 4-14 mm, en ancho 2-4 mm, y posee un espesor promediado de 50  $\mu\text{m}$ . Tiene una apariencia uniforme en la superficie exterior, sin embargo al observar con la asistencia de un microscopio se aprecia una superficie rugosa con crestitas, a diferencia de la superficie interior que es lisa, como se ve en la Figura 3.2 y 3.3, esto es de suma importancia para que el aire quede atrapado en los intersticios exteriores y tenga mucho que ver en la humedad de la cáscara.

#### **3.1.1.- PESO**

La obtención de una completa descripción de la cascarilla de arroz, depende de la determinación de su peso. El rango, según un análisis realizado en los laboratorios de AGROCALIDAD, oscila entre 2.944 y 3.564 mg, en base seca. Una de los

problemas para la medición del peso es la cantidad de pequeñas porosidades que posee la cascarilla lo que influye en la cantidad de humedad que posee.

### **3.1.2.- DENSIDAD**

#### **a.- DENSIDAD EN MASA.**

A este tipo de densidad se la conoce como el valor que se obtiene si se relaciona una cantidad de masa con un volumen determinado; en la cascarilla de arroz se toma en cuenta también, los poros internos y externos de la misma.

Los factores que toman gran importancia en el valor de la densidad a granel son: los diversos tamaños de la cascarilla, el contenido de humedad y el grado de compactibilidad que posean.

$$\rho_b = \frac{M}{V}$$

#### **b.- DENSIDAD APARENTE.**

Este valor se obtiene si al volumen presente en la densidad en masa se le quitan los espacios libres que se encuentran en la camada.

$$\rho_a = \frac{M}{V_a}$$

### c.- DENSIDAD VERDADERA.

Es la cantidad que se obtiene si al volumen de la materia sólida se le quitan todos los poros internos y externos en la cascarilla.

$$\rho_t = \frac{M}{V_\sigma}$$

Se debe tomar en consideración que para obtener estas densidades, la masa debe ser en base seca.

DENSIDAD	PELLETS (gr/cm <sup>3</sup> ) (COMPACTADA)	Cascarilla(gr/cm <sup>3</sup> )
Verdadera, $\rho_t$	1.60	1.42
Aparente, $\rho_a$	1.18	0.65
En masa, $\rho_b$	0.58	0.10

**Tabla 3.1.-** Densidad de la cascarilla de arroz, suelta y en pellets.

(Fuente: Escuela Politécnica Nacional)

### 3.1.3.- POROSIDAD

El aire alojado en los poros internos y en los espacios intergranulares de la cascarilla de arroz se conocen como poros y se considera que componen el 30% - 40% de la masa total.

La descomposición por temperatura, decremento de niveles de CO<sub>2</sub>, reactividad, resquebrajamiento y el potencial de hollín son alteraciones químicas que se producen en la cascarilla de arroz y generan los espacios disponibles para el oxígeno en la combustión.

Si se realiza la compactación de la cascarilla, dejándolas como pellets o briquetas, los espacios vacíos (huecos) se reducen en gran manera dificultando el contacto con el oxígeno suministrado. Durante la combustión, esto genera incandescencia, de esta forma se podría aumentar la densidad de combustible, lo mismo que permite reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> que la cascarilla libera al ambiente.



**Figura 3.1.-** Disposición de cascarilla de arroz en pellets (**Fuente:** [www.agroterra.com](http://www.agroterra.com))

La porosidad de un biocombustible sólido (biomasa) está dada de la siguiente manera:

$$E_T = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_t}$$

Siendo:

ET: Total de porosidad del combustible.

$\rho_a$ : Densidad aparente.

$\rho_t$ : Densidad verdadera.

La porosidad total del combustible, no representa obligatoriamente el volumen de los poros disponibles que contienen oxígeno, ya que nuevos poros son producidos a través del efecto de pirolisis poco antes que la cascara de arroz sea quemada.

La tabla 3.2 muestra el porcentaje de las cantidades de porosidad para la cascara de arroz suelta (sin compactar) y en pellets.

<b>Porosidad</b>	<b>Pellets(%) (COMPACTADA)</b>	<b>Cascarilla(%) (SIN COMPACTAR)</b>
Porosidad del Combustible $E_t$	26	54
Fracción de espacios libres $E_v$	51	85
Fase gaseosa teórica $E_g$	64	93

**Tabla 3.2.** Porosidad de la cascara de arroz, suelta y en pellets. (Fuente: Escuela Politécnica Nacional)

### **3.2.- COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA CASCARILLA**

Las características físicas y químicas determinan el tipo de combustible y las reacciones que se generan durante la combustión; por ejemplo, los desechos animales producen metano durante su descomposición liberan altas cantidades de este compuesto, por otro lado la madera produce un gases con una mezcla compuesta por

monóxido de carbono. Las características físicas influyen en el tratamiento que sea necesario aplicar previamente.

La composición química de una sustancia combustible está basada en los porcentajes en masa de carbono, azufre, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, humedad y cenizas o residuos. De esta manera podemos realizar un análisis para los procesos de combustión con bases firmes y desarrollar cálculos que ayuden a controlar eficientemente el proceso de combustión extrayendo la máxima cantidad de energía. Los cálculos que podemos realizar son los siguientes: cálculos de volumen de aire contenido en la biomasa, gases y entalpía. A continuación se muestran los compuestos elementales que forman la cascarilla de arroz y se basan en las diferentes cantidades (porcentajes) de humedad analizadas previamente.

La composición de elementos del combustible (Tabla 3.3), expresa el porcentaje en masa de contenidos de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Cenizas y Humedad.

Los resultados obtenidos en la tabla 3.3 muestran los siguientes rangos de variabilidad para cada elemento: Carbono 37.6- 42.6%; Hidrógeno 4.7-5.78; Oxígeno 31.37 – 37.62; Nitrógeno 0.38 – 1.88; Azufre 0.01 – 0.18; Cenizas 16.93 – 24.6, con un poder calórico entre 13.24 - 14.22 MJ / Kg.

Parámetros	PORCENTAJES			
	v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	v <sub>3</sub>	v <sub>4</sub>
C	37.60	42.10	38.70	42.60
H	5.42	4.98	4.70	5.10
O	36.56	33.66	31.37	33.44
N	0.38	0.40	0.50	0.51
S	0.03	0.02	0.02	0.02
Cl	0.01	0.04	0.12	0.13
Ceniza	20.00	18.80	24.60	18.20
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Poder calórico Mj/Kg	14.22	13.24	13.40	14.12

**Tabla 3.3.-** Análisis de elementos último de la cascarilla en porcentaje

(Fuente: Escuela Politécnica Nacional)

En la siguiente tabla, se menciona algunas características que se han obtenido por investigaciones previas y fuentes fiables, obteniendo estos parámetros mas comunes para la evaluación de la cascarilla de arroz, El contenido elevado de sílice que se demostró en la cascarilla hace que el uso alimenticio en harinas para animales sea limitado.

Uno de los elementos que son resultado de la combustión de la cascarilla es la celulosa (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>) siendo el componente con mayor concentración de este subproducto.

<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Fibra (Celulosa)	39.05
Lignina	22.80
Proteínas	3.56
Extracto no Nitrogenado	6.60
Extracto con éter	0.93

**Tabla 3.4.-** Características químicas de la cascarilla de arroz (**Fuente:** EPN)

La “lignina” sometida a elevadas temperaturas posee una propiedad importante en la cascarilla de arroz, convirtiéndola en pasta sólida difícil de romper.

### **3.3.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

La cantidad de humedad presente en la cascarilla de arroz ya que es un combustible de carácter biomásico y por su espesor y tamaño, la adquiere conforme a la humedad relativa del medio ambiente.

La presencia de humedad no es aconsejable debido a que tiene un efecto doblemente negativo:

- Reducción del poder calorífico.
- Decaimiento de la cantidad de combustible efectivo

Según datos de la Universidad Tecnológica de Pereira en su Análisis fisicoquímico de la Cascarilla de Arroz, la humedad que posee cuando sale del descascarador oscila

entre 5 y 40%, y después de estar expuesta a la intemperie, en época no lluviosa, la humedad promedio de la cascarilla puede estar aproximadamente entre el 8 y 15%, a continuación se muestra una comparación entre la humedad de la cascarilla y otras biomásas.

<b>BIOMASA</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>
Bagazo de Caña	46.9
Cascarilla de arroz	6.5
Cáscara de la palma africana	8.0
Fibra de la palma africano	35.0
EBF (tusa) de la palma africana	29.5

**Tabla 3.5.-** Comparación del contenido de humedad con otras biomásas

(Fuente: Estudio Universidad UCA)

En un análisis efectuado por laboratorios PRONACA a varias muestras de cascarilla de arroz se obtuvo el siguiente resultado.

<b>PARAMETROS</b>	<b>LABORATORIOS PRONACA</b>
Humedad (%)	8.41

**Tabla 3.6.-** Análisis del contenido de humedad de la cascarilla de arroz de laboratorios de Pronaca (Fuente: Laboratorios Pronaca)

### 3.4.- PORCENTAJE DE CENIZAS

Este porcentaje es la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo del materia, en este caso de la cascarilla de arroz, y corresponde a los residuos minerales que resultan después de la combustión completa.

En la cascarilla, la masa de la ceniza en su más alto porcentaje es sílice. Según los laboratorios PRONACA y AGROCALIDAD en un análisis del contenido de cenizas en muestras de cascarilla de arroz luego de su combustión directa (Tabla 3.7), se observa que el porcentaje de cenizas esta en el orden de 14,83 – 23,94%, a pesar de esto, no es el principal motivo por el cual no puede ser quemada satisfactoriamente, su principal inconveniente radica en la mínima reducción de tamaño y la retención del carbono en su estructura de sílice.

<b>PARAMETROS</b>	<b>LABORATORIOS PRONACA</b>	<b>LABORATORIOS AGROCALIDAD</b>
Cenizas (%)	14.83	23.94

**Tabla 3.7.-** Análisis del porcentaje de cenizas en Pronaca y Agrocalidad

(Fuente: Pronaca y Agrocalidad)

Tomando en cuenta estos datos, se aprecia que el porcentaje de ceniza en la cascarilla de arroz es alto; esto demanda consideraciones especiales a tomar en cuenta en el

caso de la combustión directa de la cascarilla debido a que se requiere un recolector de residuos minerales o desalojos frecuentes.

Según Laboratorios Agrocalidad la composición mineral de la ceniza de la cascarilla de arroz es la mostrada en la Tabla 3.8.

COMPOSICIÓN	FRACCION DE PESO (%)
Sílice (SiO)	90 – 97
Óxido de Calcio (CaO)	0.2 - 1.5
Oxido de Magnesio (MgO)	0.1 - 2.0
Oxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	0.6 - 1.6
Oxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	Trazas - 1.75
Oxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.3
Sulfatos (SO <sub>3</sub> )	0.10 – 1.13
Cloro (Cl)	0.15 – 0.40
Oxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Trazas – 0.40
Oxido de Manganeso (MnO <sub>2</sub> )	Trazas

**Tabla 3.8.-** Composición de la Ceniza de la Cascarilla de Arroz (**Fuente:** EPN)

### 3.5.- PORCENTAJE DE MATERIA VOLÁTIL

La materia volátil corresponde a la disminución de masa que sufre una muestra, cuando se la somete a pruebas de temperaturas normalizadas en una atmósfera inerte. Esta masa perdida está constituida principalmente por vapor de agua, hidrocarburos condensables, gases no condensables.

Tomando en cuenta el ámbito cuantitativo, la materia volátil muestra la cantidad de gases del combustible, esto tiene suma importancia en el volumen que posea la cámara del hogar donde se procederá a quemar la cascarilla, pues se necesita que se produzca un adecuado desalojo de humos, a continuación se muestran datos obtenidos por PRONACA y AGROCALIDAD al realizar un análisis de materia volátil en muestras de cascarilla de arroz

PARAMETROS	LABORATORIOS	LABORATORIOS
	PRONACA	AGROCALIDAD
Materia Volátil (%)	61.34	52.85

**Tabla 3.9.-** Análisis de Porcentaje de materia volátil en la cascarilla de arroz

(Fuente: Pronaca y Agrocalidad)

### 3.6.- PORCENTAJE DE CARBONO FIJO

El porcentaje de carbono fijo se refiere a la cantidad de masa efectiva que puede ser sometida al proceso de quemado como combustible luego de que haya sucedido la salida de los volátiles.

El carbono fijo muestra la proporción de combustible que puede ser quemado en estado sólido. En la Tabla 3.10 se dan a conocer resultados de pruebas de carbono fijo para muestras de cascarilla de arroz realizados por PRONACA Y AGROCALIDAD.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>LABORATORIOS PRONACA</b>	<b>LABORATORIOS AGROCALIDAD</b>
Carbono Fijo (%)	15.42	16.81

**Tabla 3.10.-** Porcentaje de carbono fijo en la cascarilla de arroz

(Fuente: Pronaca y Agrocalidad)

### **3.7.- PODER CALORIFICO**

Establece la cantidad de calor que se desprende al quemarse completamente una cantidad de masa unitaria de combustible en estado sólido o líquido. El poder calorífico lo constituye el calor de combustión añadiéndole el calor de vaporización del agua que se forma en el proceso, así como la que ya contenía previamente.

El vapor de agua que se encuentra entre los productos de la combustión está condicionado por la temperatura de los mismos, de tal forma que puede permanecer como vapor, puede condensar parcialmente o puede condensar completamente. Debido a que el vapor al condensarse libera calor, mientras más condensado se forme mayor calor se estará obteniendo del combustible. La Tabla 3.11 muestra el poder calorífico de la cascarilla de arroz de acuerdo a su contenido de humedad.

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>PODER CALORIFICO (PCI) Kj/Kg</b>
0	19880
10	17644
20	15412
30	13180
40	10947
50	8715
60	6413

**Tabla 3.11.-** Poder calorífico de la cascarilla de arroz en función del contenido de humedad. **(Fuente: EPN)**

### **3.8.- COMPARACIÓN CON OTRAS BIOMASAS**

El poder calorífico de los tipos de biomosas existentes se convierte en uno de los puntos más relevantes para poder emprender su uso como combustible, la composición química influye en el poder calorífico. En la Tabla 3.12 se muestran los componentes más importantes de las siguientes biomosas:

<b>BIOMASA</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>H</b>	<b>O</b>
Bagazo De Caña	44.60%	0.60%	5.80%	42.50%
Cascarilla De Arroz	34.20%	0.60%	4.70%	54.50%
Cascarilla De Palma Africana	35.50%	0.60%	6.35%	55.15%
Fibra De La Palma Africana	30.60%	0.70%	6.90%	59.70%
EBF (Tusa) De La Palma Africana	20.80%	0.60%	7.40%	69.20%

**Tabla 3.12.-** Componentes más importantes en algunas biomosas

**(Fuente:** Escuela Politécnica Nacional)

En cuanto a la capacidad calorífica de diferentes biomosas se puede apreciar en la Tabla 3.14 cuanta diferencia existe entre la cascarilla de arroz y las demás.

<b>TIPO DE RESIDUO</b>	<b>CAPACIDAD CALORÍFICA Kcal/Kg</b>
Cascarilla de Arroz	3281.6
Bagazo de Caña	1824.4
Palma Africana	3558.5
Cáscara de Café	4245.8

**Tabla 3.13.-** Capacidad calorífica de ciertos tipos de biomasa

**(Fuente:** Escuela Politécnica Nacional)

### 3.9.- COMPARACIÓN CON EL DIESEL

El Diesel es un combustible derivado del petróleo. Todos los combustibles fósiles son contaminantes del medio ambiente a través de los gases que se emiten en su combustión. Esta compuesto principalmente por compuestos parafínicos, naftalénicos y aromáticos, 75% hidrocarburos saturados (principalmente parafinas) y un 25% hidrocarburos aromáticos. El promedio de la formula química para Diesel común es  $C_{12}H_{26}$ , variando entre  $C_{10}H_{22}$  a  $C_{15}H_{32}$ . En la Tabla 3.15 se muestran las características técnicas del diesel.

Característica	Unidad	Mínimo	Máximo
Punto de inflamación	°C	40	--
Temperatura de destilación 90%	°C	--	288
Agua y Sedimentos	% en V	--	0.15
Índice de cetano	--	40	--
Contenido de Azufre	% en peso	--	0.30
Calor de combustión	KJ/Kg	--	45914

**Tabla3.14.-** Características técnicas del Diesel (**Fuente:** Calidad de un combustible tipo diesel **Autor:** José Ramón Pérez Prado)

### **3.9.1.- DIESEL vs CASCARILLA DE ARROZ**

Los gases de efecto invernadero aceleran el aumento en la temperatura de la atmósfera y contribuyen a un cambio climático que afectará negativamente en muchos aspectos de las actividades de los seres humanos.

La quema de combustibles como el diesel, se ha convertido en la principal causa de la emisión a la atmósfera de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), siendo éste el gas más peligroso en la generación del efecto invernadero. A consecuencia de esto se viene implementando metodologías para el aprovechamiento de los desechos agrícolas para su utilización como combustibles amigables con el medio ambiente; sin embargo el uso de estas alternativas comprende una comparación principalmente en cuanto al poder calorífico en este caso del diesel y la cascarilla de arroz.

### **3.9.2.- COMPARACION DE CAPACIDAD CALORIFICA**

El diesel es definitivamente superior a la cascarilla de arroz por su alto poder calorífico, es así que desde el principio de la era industrial ha sido utilizado como combustible.

Se conoce que el poder calorífico de la cascarilla de arroz es superior a 3 veces la del diesel por lo que se requiere el triple de cascarilla que de diesel para obtener la misma cantidad de energía. En la tabla 3.16 se muestra una tabla comparativa entre la cascarilla de arroz y los combustibles convencionales, entre ellos el Diesel.

COMBUSTIBLES	PODER CALORÍFICO (PCI) (KJ/Kg)
Gas Natural	39900
Diesel	42275
Fuel Oil	40600
Cascarilla de Arroz	15300

**Tabla 3.15.-** Comparación del poder calorífico entre la cascarilla de arroz y los combustibles fósiles. (**Fuente:** Dpto. Termodinámica y Termotecnia UPV).

### 3.9.3.- PRECIOS

El precio de los combustibles fósiles tiende al alta, mientras que el precio de la biomasa es estable e incluso tiene una tendencia a la baja.

El precio de la biomasa en general es muy variable. Puede llegar a costar sencillamente nada, o llegar a precios sumamente bajos. En gran parte de los casos, los usuarios consiguen biomasa del tipo agrícola producida localmente a un precio mucho más competitivo en piladoras en el caso de la cascarilla de arroz.

Es pertinente destacar que los equipos destinados a la quema de la biomasa de manera general son capaces de quemar varios tipos de desechos biomásicos siendo mucho

más costosos que los equipos que realizan la combustión del diesel; también se destaca que en nuestro caso la cascarilla puede ser comprada o producida por efectos de las labores del pilado.

#### **3.9.4.- VENTAJAS DEL USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ**

La utilización de la cascarilla de arroz con fines energéticos tiene las siguientes ventajas medioambientales:

- **Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>.** A pesar de que para utilizar la cascarilla de arroz se tenga que hacer uso de una combustión, que como tal tendrá como resultado agua y CO<sub>2</sub>; la cantidad de este gas que ocasiona el efecto invernadero se ve disminuido, tal es así que una empresa dedicada por varios años a la utilización de biomasa en general llamada FACTOVERDE estima una reducción anual promedio de 100000 toneladas de CO<sub>2</sub>. Es decir, que la utilización de la cascarilla de arroz no supone un incremento de este gas a la atmósfera.
- **No existe emisión de contaminantes del tipo sulfurados o nitrogenados .-** Al utilizar residuos de actividades agrícolas como la cascarilla de arroz para su combustión, esto significa un reciclaje y disminución de este tipo de residuo proveniente de las labores del pilado. Es decir, se cumple con la labor de canalizar estos excedentes agrícolas alimentarios, permitiendo un correcto aprovechamiento de tierras.

- **Disminución de la dependencia del abastecimiento de combustibles.**- En los tiempos actuales la tecnología utilizada para el aprovechamiento de la biomasa en general está teniendo un gran desarrollo.

Según un catedrático de la Universidad Autónoma de Madrid, *“La contribución de los combustibles fósiles, por su formación en las profundidades de la corteza terrestre a partir de restos de organismos existentes hace cientos de millones de años, al conjunto de la energía primaria consumida en el mundo es del 35% el petróleo, 29% el carbón y 24% el gas natural; en conjunto representan, por tanto, el 88% del total, lo que por muchas razones configura un escenario insostenible incluso a corto plazo”*

A pesar del abarcamiento abismal de los combustibles fósiles, la utilización de la biomasa como la cascarilla de arroz ha venido en aumento debido a que es un combustible amigable con el medio ambiente, provocando así una disminución progresiva de la dependencia de los combustibles convencionales.

### **3.9.5.- DESVENTAJAS DE USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ**

- Desafortunadamente producción de vapor utilizando la cascarilla de arroz implica un mayor coste de producción comparada con la energía que proviene de los combustibles fósiles.

- Debido a su menor capacidad calorífica la cascarilla posee un menor rendimiento energético comparado con los combustibles derivados del petróleo.
- La cascarilla posee una baja densidad energética lo que implica que ocupa un gran volumen, por lo tanto la el uso de la misma se encuentra expuesto a problemas de transporte y almacenamiento.
- Por lo general la cascarilla de arroz requiere acondicionamiento para poder ser utilizada.

A continuación se muestra un resumen comparativo entre la cascarilla de arroz y el diesel.

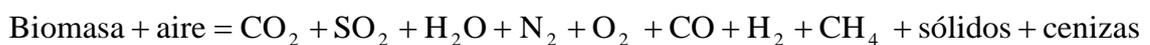
<b>CASCARILLA DE ARROZ</b>	<b>DIESEL</b>
Es abundante	Cada vez hay menos
Precios competitivos y estables	Constante incremento de los precios
Genera puestos de trabajo locales	El beneficio va hacia el exterior
Emisiones prácticamente nulas	Altas emisiones de gases nocivos

**Tabla 3.16.-** Resumen de la comparación de la cascarilla de arroz con el diesel.

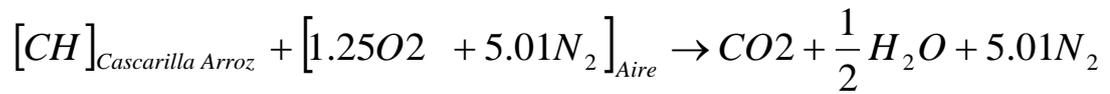
(Fuente: [www.grpenlace.com](http://www.grpenlace.com))

### **3.10.- PROCESO DE COMBUSTIÓN DE LA CASCARILLA DE ARROZ.**

La combustión de la biomasa en general obedece a la siguiente reacción química:



En el caso de la cascarilla de arroz:



La cascarilla al estar expuesta a la acción del calor provoca una descomposición físico-química en tres etapas que ocurren simultáneamente: desecación, pirolisis y combustión propiamente dicha.

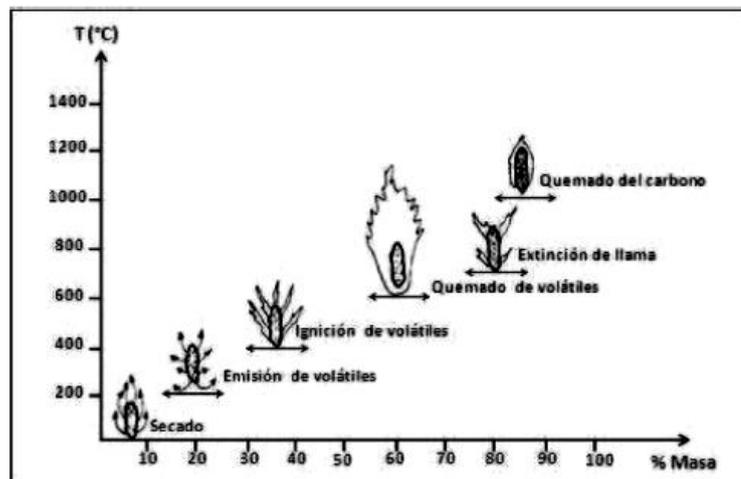
La *dsecación*, significa la eliminación del agua que se encuentra en la superficie y en los poros internos de la cascarilla; esta cantidad de agua se refiere a aquella que ha adquirido del ambiente y no la que se forma durante la combustión.

A continuación está la pirolisis que es una descomposición química interna de la cascarilla inducida por el calor, cuando se llega a temperaturas entre 250 y 500°C. En la pirolisis, la celulosa, hemicelulosa y lignina, se transforman en polímeros líquidos y gaseosos de composición menos compleja, quedando así residuos sólidos carbonizados. Las especies químicas que se emiten en la pirolisis forman el material volátil constituido por alquitranes, acetona, metano, monóxido, agua y pequeñas porciones ácidas.

Por último está la *combustión* del material volátil y de la cascarilla, esta ocurre cuando el proceso de pirolisis sucede en una atmósfera oxidante a temperaturas que superan los 500°C. En esta fase ocurren reacciones de combustión intermedias, pero se toma en cuenta la reacción final de oxidación cuando el carbono y el hidrógeno se combinan a una gran velocidad con el oxígeno, generándose dióxido de carbono,

agua y liberándose calor. En la combustión de la cascarilla, la parte volátil y la parte sólida con alto contenido de carbono pueden llegar a la fase de oxidación.

La combustión es un proceso exotérmico, esto quiere decir que se produce con liberación de calor; en cambio, la desecación y la pirolisis necesitan un suministro parcial de calor. En la quema de cascarilla, una porción de la energía liberada en las reacciones de oxidación se utiliza para alimentar los procesos de desecación y pirolisis.



**Figura.3.2** - Esquema de las etapas de descomposición térmica de la cascarilla de arroz. (Fuente: EPN)

### 3.10.1.- EMISIÓN DE LA COMBUSTIÓN COMPLETA

Los siguientes componentes se emiten a la atmósfera como resultado de la combustión completa en aplicaciones de la combustión de la cascarilla de arroz.

- Dióxido de carbono CO<sub>2</sub>
- Óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>
- Óxido nitroso N<sub>2</sub>O
- Óxidos de azufre SO<sub>x</sub>
- Cloruro de hidrógeno HCl
- Partículas
- Metales pesados

### **3.10.2.- EMISIÓN DE LA COMBUSTIÓN INCOMPLETA**

En la combustión incompleta de la cascarilla de arroz se emiten a la atmósfera los siguientes componentes:

- Monóxido de carbono CO
- Metano CH<sub>4</sub>
- Partículas
- Amoníaco NH<sub>3</sub>
- Ozono O<sub>3</sub>

### **3.11.- ESTUDIO Y COMPARACIÓN DE LOS HOGARES DE COMBUSTIÓN PARA EL QUEMADO DE LA CASCARILLA DE ARROZ.**

Los tipos de mecanismos existentes para la quema de combustibles del tipo residual como es el caso de la cascarilla de arroz, usualmente de bajo poder calorífico, tienen características muy específicas en comparación con los sistemas convencionales de combustión.

Los componentes para la incineración y recuperación energética de combustibles biomásicos se puede agrupar en dos tecnologías: de parrillas y de lecho fluidizado.

### **3.11.1.- TECNOLOGÍA DE PARRILLAS**

Esta tecnología el transporte de la cascarilla de arroz se realiza por medio del arrastre de componentes dentro del hogar que realizan un movimiento relativo entre ellos. Estos componentes sostienen al combustible y a la vez permiten la circulación del aire entre ellos necesario para la combustión. Conforme los residuos de la combustión avanzan, se completa la combustión de los mismos, de forma que el contenido de combustible sin quemar.

La materia prima, al avanzar por la parrilla, atraviesa por 3 casos consecutivas del proceso. En la primera fase se produce el secado por medio de la evaporación del agua contenida en el material.

La combustión principal tiene lugar en la fase dos y en aquellas partículas de materia prima que son de mayor temperatura de ignición, la fase final de combustión se

encarga de quemar estas partículas. Los gases de la combustión son expulsados desde las parrillas por medio de una corriente de aire.

Las calderas utilizadas para la combustión de biomasa utilizan parrillas de tipo fijas o móviles. Las calderas de tipo fijas están dispuestas de manera inclinada y producen vibraciones con el fin de distribuir de una mejor manera el combustible y además facilitar la evacuación de las cenizas al exterior de la caldera.

Los gases de la combustión con alta temperatura se hacen pasar por la sección de convección de la caldera, que está ubicada por encima de las parrillas que es el lugar donde se transfiere el calor al agua de circulación para producir el vapor.

Existen proyectos en donde es conveniente instalar un economizador, ya sea interior o exterior a la cámara de combustión y donde se reduce la temperatura del humo a 100 °C.

La alimentación de aire a la caldera se lleva a cabo por medio de sopladores, este aire pasa directamente a la cámara de combustión y pasa por debajo de la parrilla y en ocasiones el aire es introducido a la cámara de pre combustión.

Es importante la introducción de aire secundario para la correcta combustión de los residuos volátiles que se desprenden de la biomasa.

El aire primario y secundario son introducidos con sopladores por orificios ubicados sobre la cámara de combustión. El mecanismo de transporte de biomasa de mayor

extensión hacia las parrillas es el sistema que utiliza tornillos sin fin cuya velocidad regula el flujo de combustible para mantener la cantidad de calor necesaria.

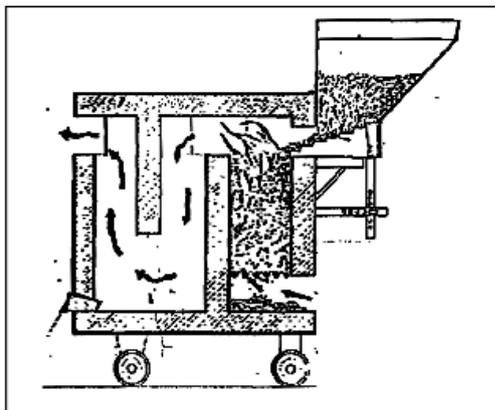
La tecnología de parrillas es el mecanismo que más se utiliza en Europa y América ya que permite aumentar la capacidad horaria. Existen parrillas de diferente tipo, la diferencia se marca de acuerdo al fabricante y a la forma que este le da y estas pueden ser: Fijas, Horizontal e Inclinada, como Móvil y de vibración, los cuales se detallan a continuación.

#### **3.11.1.1.- HOGAR CON PARRILLA FIJA.**

Con parrilla fija la combustión de la cascarilla se efectúa en el piso de la caldera, en muchos casos este es de tierra o de cualquier otro material que resista a la temperatura. La ceniza, producto de la combustión es removida manualmente durante el mantenimiento de la caldera.

#### **3.11.1.2.- HOGAR CON PARRILLA PLANA.**

El uso de este tipo de parrilla requiere de una técnica especial para que resulte conveniente (Figura 3.2). Normalmente en nuestro medio la cascarilla es agregada como combustible suplementario.



**Figura 3.3.-** Hogar con parrilla plana. (Fuente: Generadores de Vapor “Calderas”

www.DirectIndustry.com)

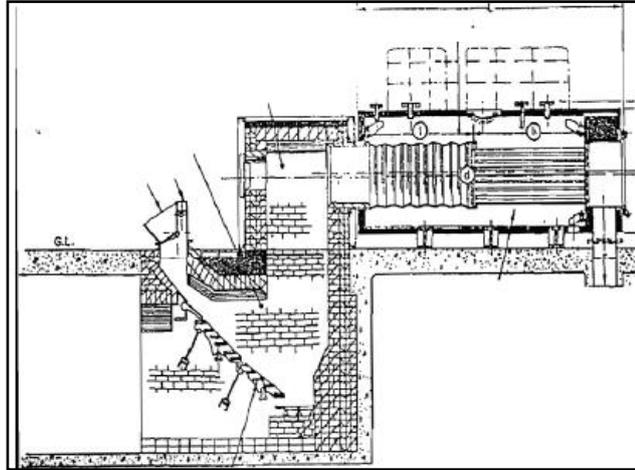
Al incinerarse la cascarilla de arroz produce gran cantidad de ceniza, por lo que las parrillas deberán ser removidas frecuentemente para extraer los residuos de la combustión.

Muchos ensayos se han realizado para utilizar la cascara de arroz en parrilla plana no se han obtenido buenos resultados ya que no hay estabilización de la zona de fuego, además se requiere presiones elevadas de aire para que el oxígeno se combine con la cascarilla.

### **3.11.1.3.- HOGAR CON PARRILLA ESCALONADA.**

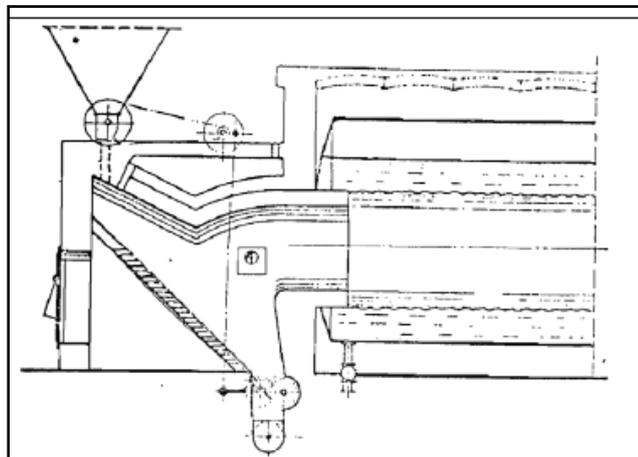
Existen tres tipos básicos que mencionamos a continuación:

- a. *Bajo el piso.*- A continuación se muestra en la figura 3.9 el sistema de parrillas bajo el piso. En esta configuración es posible acoplar al mismo nivel con una caldera, pero las cenizas pueden ser causa de problemas para su desalojo.



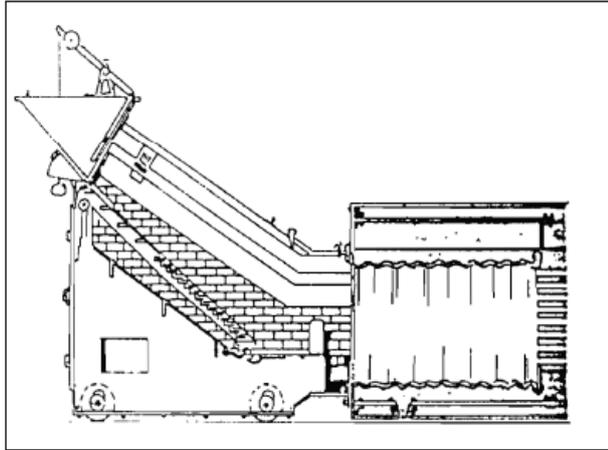
**Figura 3.4.-** Hogar con parrillas bajo el piso. (**Fuente:** Generadores de Vapor “Calderas” [www.DirectIndustry.com](http://www.DirectIndustry.com))

b. *A nivel del piso.-* Se muestra también este sistema en la figura 3.10 donde la remoción de cenizas es por hundimiento con un sistema de poleas.



**Figura 3.5.-** Hogar a nivel del piso. (**Fuente:** Generadores de Vapor “Calderas” [www.DirectIndustry.com](http://www.DirectIndustry.com))

c. *Hogar Portátil.-* Es a manera de un fogón desacoplable, apropiado para dar mantenimientos de forma periódica.



**Figura 3.6.-** Hogar a nivel del piso portátil. (Fuente: Generadores de Vapor “Calderas” [www.DirectIndustry.com](http://www.DirectIndustry.com))

Adicionalmente a los estilos de hogares con parrillas de tipo inclinadas, se debe tener presente la forma de la parrilla, la misma que puede ser en forma de varillas escalonada con un ángulo de inclinación específico. Todo esto para tener una combustión eficiente, económica y completa que va a depender de estos factores:

- Parrilla de sección simple.
- Parrilla de sección múltiple.
- Parrilla de sección múltiple con inclinación variable.

El grado de la pendiente que posea la parrilla dependerá de algunos factores: La densidad de la cascara al suministro, porcentaje de humedad, dimensiones o tamaños de la cascarilla, cantidad de materia prima y si la cascarilla de arroz esta previamente precocida o no.

#### **3.11.1.4.- HOGAR CON PARRILLA ESCALONADA MOVIBLE.**

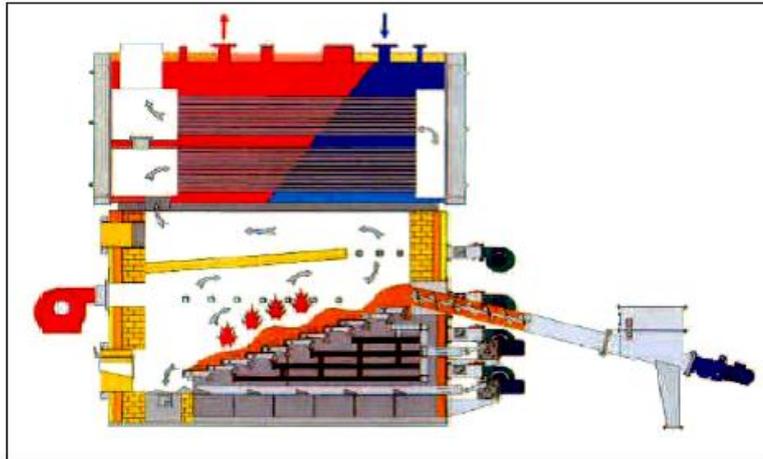
Las pruebas con este modelo de parrillas han dado resultados mucho más importantes y con alta eficiencia en combustión de cascarilla. Este tipo de parrilla ofrece las posibilidades de controlar las zonas de alimentación, combustión y extracción de cenizas.

Algo de destacar es que el aire de combustión se divide en cada zona de la parrilla y puede también suministrarse de manera concreta dentro de la principal zona de combustión. Hay que tener mucha atención con diseño de la cámara de incineración, para poder lograr el rendimiento máximo y encendido óptimo.

La utilización de este sistema de parrilla, alcanza alta razón de conversión de energía.

Cada una de las tres secciones consiste de:

- Parrilla de partes rígidas con ángulo de inclinación variable.
- Parrilla que trabajan con alimentación mecánica.
- Parte longitudinal, lo que divide dos zonas en movimiento.



**Figura 3.7.-** Hogar con parrilla en escalón de tipo móvil. (**Fuente:** [www.uclm.es](http://www.uclm.es))

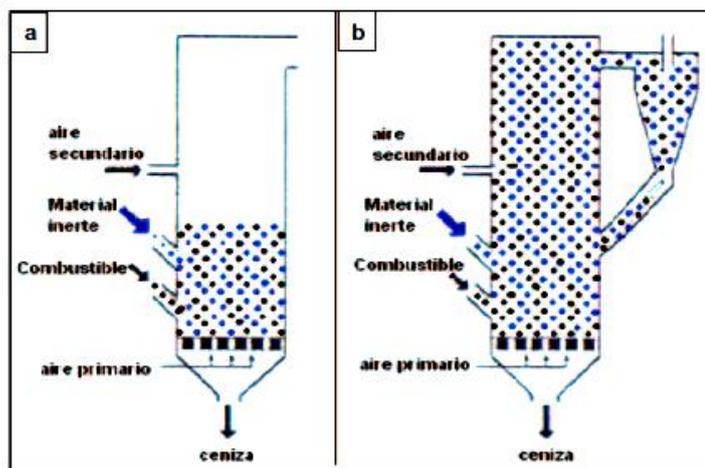
### 3.11.2.- TECNOLOGÍA DE LECHO FLUIDIZADO.

Esta tecnología está basada en generar la reacción de combustión en un medio de denominado lecho, en este lugar las partículas de combustible se mueven pareciéndose a las partículas de un líquido.

Esto se logra desarrollando la combustión en el centro de una masa de suspensión de: combustible particulizado, cenizas y, a veces, un inerte, los mismos que son fluidizados por una corriente de aire de combustión introducida en forma ascendente. De esta manera únicamente entre un 2% y 3% del lecho está con contenidos de carbón; lo demás está conformado de material inerte o arena. El material de esta manera está ofreciendo el almacenamiento de calor dentro del hogar y amortigua las fluctuaciones en el poder calorífico del combustible que son debido a los porcentajes de humedad o composición del combustible en la generación de vapor.

Cuando el flujo de circulación de aire esta en un nivel bajo, éste pasa atravesando la masa de partículas sin producir distorsión en las mismas. Si se incrementa la velocidad, llegará un momento en que la fuerza del aire se aproxima a la fuerza gravitacional que mantiene unidas las partículas en el fondo del cilindro, en ese instante comienzan a moverse y se observa un crecimiento de la porosidad en el lecho. Al incrementar aún más el flujo, llegara el instante en el que las partículas son forzadas a moverse hacia arriba, quedando suspendida en la corriente de aire y originando el llamado "lecho suspendido". Un crecimiento en la velocidad del aire originará que el lecho se expanda, permitiendo el movimiento de las partículas en su internamente, y produciendo la llamada fluidización.

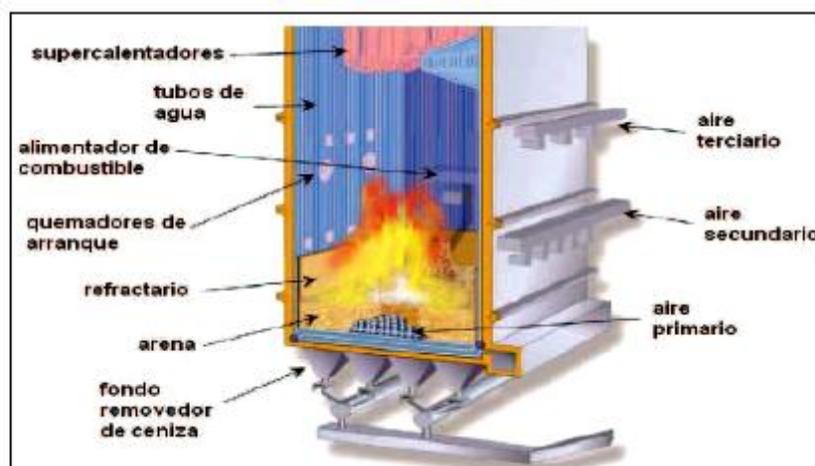
Existen dos tipos de combustores de lecho fluidizado, dependiendo del grado de fluidización del lecho y a la velocidad de fluidización; estos son lecho fluidizado burbujeante y lecho fluidizado con recirculante (Figura 3.13).



**Figura 3.8.-** a) Combustión en lecho fluidizado b) combustión en lecho fluidizado recirculante. (Fuente: [www.uclm.es](http://www.uclm.es))

### 3.11.2.1.- LECHO FLUIDIZADO BURBUJEANTE

Este tipo de lecho trabaja a baja velocidad de aire de fluidización y se distingue por permanecer en el lecho la mayoría de los sólidos y únicamente una parte menor al 10%, pasan al ciclón. Esta fluidización se la llama “fluidización en fase densa”, caracterizándose por la superficie despejada que permanece definida.



**Figura 3.9.-** Composición de un horno con lecho fluidizante burbujeante.

(Fuente: [www.uclm.es](http://www.uclm.es))

### 3.11.2.2.- LECHO FLUIDIZADO CIRCULANTE.

A velocidades muy altas del aire de fluidización se genera el arrastre de gran cantidad de sólidos del lecho, estos pueden ser reciclados mediante un ciclón y se da lugar al llamado lecho fluidizado circulante.

Los lechos fluidizados se distinguen entre sí por la velocidad del aire en los mismos. Según el incremento de la velocidad del aire los lechos fluidizados pueden llegar a ser de fijo a burbujeante, turbulentos y circulantes.

### **3.12.- ANÁLISIS DEL HOGAR MAS ADECUADO PARA QUEMAR LA CASCARILLA.**

Al analizar las tecnologías de combustión mencionadas anteriormente se ha establecido que la tecnología de parrillas es la más conveniente cuando se trata de un rango de potencia de mediano a bajo, mientras que le tecnología de lecho fluidizado es más idónea para grandes potencias

Las ventajas que ofrece el uso del sistema de parrillas en la cámara de combustión son las siguientes:

- Es una tecnología que ha sido probada muchas veces y ha sido usada comúnmente para la combustión de biomasa y existen una gran variedad de referencias en el mercado.
- Permite que el combustible tenga variaciones en su granulometría como es el caso de la cascarilla.

Ventajas de la tecnología de lecho fluidizante con relación a la tecnología de parrillas:

- Rendimientos más altos, ya que la corrosión es menor al añadirse una aditivación en el lecho.
- Practicidad en su operación ya que debido a la rapidez del proceso de combustión produce que la inercia del horno sea muy reducida, esto permite paradas y arranques de períodos de tiempo muy cortos.
- Fácil Control ya que se pueden ajustar con precisión los espacios para admitir incluso diferentes combustibles.
- Fácil mantenimiento ya que las dimensiones del horno para igual capacidad son menores que en caso de parrillas.
- Los desechos no quemados de la caldera pueden ser enfriados y separados en seco.

Inconvenientes presentados en la utilización de la tecnología de lecho fluidizado:

- Es una tecnología nueva por este motivo las referencias que existen son menores que las tecnologías de parrillas que hay en el mercado.
- Menor capacidad en horas de trabajo continuo.
- Existe una mayor producción de polvo en el horno de combustión, por tal motivo es necesario la utilización de filtros en los niveles posteriores para evitar este tipo de contaminación.
- Se produce un incremento en el consumo de energía eléctrica por la utilización de los motores que introducen el aire circulante a la cámara de combustión.

### 3.13.- CALDERAS

La producción de vapor necesita la transmisión de energía térmica del proceso de combustión que sucede dentro de la caldera hacia el agua, esto aumenta su temperatura, la presión, y finalmente la convierte en vapor.

#### 3.13.1.-CALDERAS PIROTUBULARES

Según Ferrero Rocher, industria alimenticia reconocida en el país en su publicación GENERACIÓN DE VAPOR, una caldera de ese tipo se encuentra formada por un cuerpo cilíndrico colocado en forma horizontal, tiene interiormente un paquete del tipo multitubular de transferencia de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor, el hogar y los tubos se encuentran rodeados de agua, la llama se origina en el hogar circulando los humos por el interior de los tubos para finalmente ser dirigirse hacia una chimenea.



**Figura 3.10.- Calderas pirotubulares (Fuente: Generación de Vapor, Industrias Ferrero Rocher)**

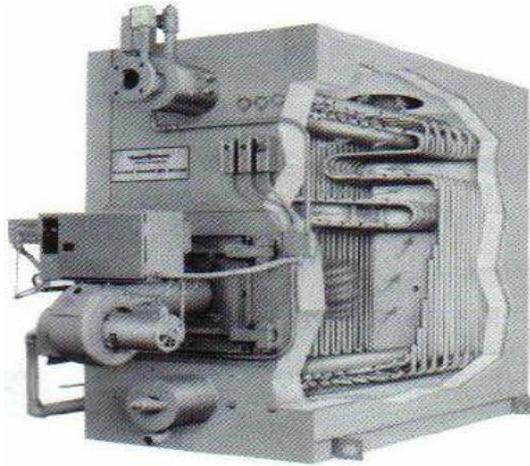
**Características:**

- Facilidad de construcción.
- Facil inspección, reparación y limpieza.
- Peso elevado
- Puesta en marcha demanda mucho tiempo.
- Peligro en caso de explosión

**3.13.2.- CALDERAS ACUOTUBULARES O DE TUBOS DE AGUA.**

El mismo artículo mencionado anteriormente, las calderas acuotubulares se caracterizan por el agua dentro de tubos situados longitudinalmente en el interior y se utilizan para ampliar la superficie de calefacción, estos tubos tienen una inclinación tal que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta provoca un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja.

La llama se forma en un recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión. Las calderas acuotubulares se utilizan en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, alcanzando así un menor diámetro y dimensiones totales a una presión de trabajo superior.



**Figura 3.11.- Calderas Acuatubulares (Fuente: Generación de Vapor, Industrias Ferrero Rocher)**

**Características:**

- Puede trabajar a altas presiones.
- Es una caldera inexplorable.
- La eficiencia térmica está por arriba de cualquier caldera de tubos de humo.
- El tiempo de arranque para la producción de vapor es mínimo.
- El vapor producido es del tipo seco, a causa, en los sistemas de transmisión de calor habrá un mayor aprovechamiento.

**3.14.- SELECCIÓN DEL TIPO DE CALDERA:**

Lo principal para la selección de la caldera a utilizar es conocer a que tipos de trabajo será sometida.

Existen algunos datos que se deben saber:

- La potencia.
- El voltaje de funcionamiento de l Caldera
- El tipo de combustible que esta necesita para trabajar (en nuestro caso la cascarilla de arroz)
- La demanda de vapor.

Los factores a considerar son:

- Capacidad de consumo de la Planta
- Capacidad de la Caldera
- Capacidad de Turbina / Generador (En el caso de cogeneración)

La selección del tipo de caldera más adecuado para una instalación industrial se hace más factible en cuanto más barato sea el combustible y el recurso humano para la operación. El rendimiento térmico influye en el gasto de combustible, pero no es lo más importante para economizar la caldera, pues puede suceder que una caldera de elevado rendimiento térmico, sea poco rentable debido a sus costos de mantenimiento y funcionamiento.

### **3.15.-PARTES PRINCIPALES DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR**

Las partes constituyentes de una caldera acuotubular son:

- Banco de convección
- Domo
- Sobrecalentador
- Precalentador de aire
- Economizador
- Captador de hollin
- Cámara de combustión
- Materiales refractarios
- Aislamiento térmico y envoltura metálica
- Equipo de combustión

### **3.16.- FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR**

El aire primario para la quema del combustible es pre-calentado por medio de gases en el calentador de aire primario e insuflado por conductos debajo del emparrillado. Para garantizar una combustión completa, encima del emparrillado es insuflado el aire secundario, a una presión más alta, ocasionando la turbulencia necesaria para la combustión y con temperatura alta para asegurar la quema del combustible, mismo con variación de humedad.

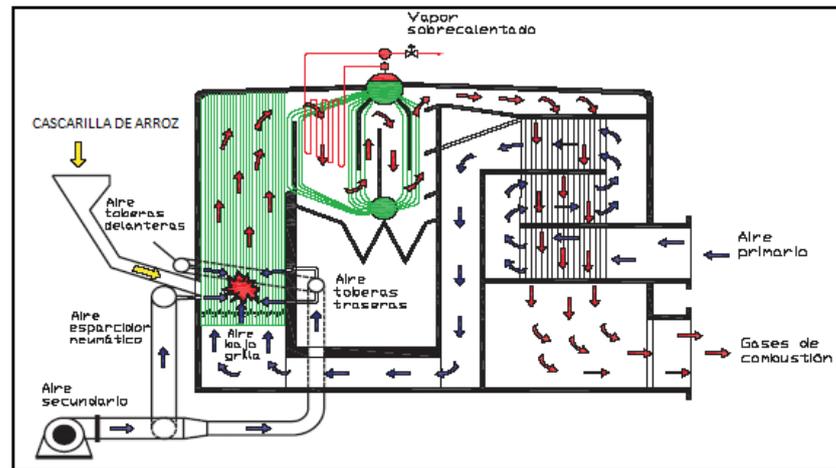
Los gases de combustión ceden calor a las paredes de agua nervuradas del hogar, sobrecalientan el vapor en el serpentín del sobrecalentador e intercambian calor en las

superficies del fascículo tubular en un pasaje único por el mismo. Los gases después de ceder parte del calor para el agua y vapor de la caldera, son aprovechados en el precalentador de aire secundario, primario y en el economizador, finalmente eliminados en la atmósfera por la chimenea. El rendimiento térmico del generador de vapor (Caldera) es la relación entre la cantidad de calor recuperado de los gases de combustión y el calor total recibido por la unidad. Este rendimiento es determinado directa o indirectamente en función de las siguientes variables:

- Presión y temperatura del vapor.
- Temperatura del agua de alimentación.
- Consumo de combustible.
- Producción de vapor.
- Exceso de aire para la combustión.
- Humedad del combustible
- Temperatura del aire y de los gases de combustión.

La producción del vapor es determinada por el consumo del agua de alimentación o por los instrumentos de medición de caudal de vapor / agua. La temperatura final de los gases de combustión así como su composición, prevista en el desempeño (performance), deben ser mantenidos afín de garantizar un rendimiento ideal y una combustión perfecta en la unidad. El examen visual de la combustión en la salida de la chimenea puede indicar las condiciones de la quema, una humareda muy oscura puede indicar falta de oxígeno (aire de combustión) y una humareda muy blanca, exceso de oxígeno, ocasionando en ambos casos un bajo rendimiento térmico de la

unidad, entretanto es recomendable el uso de instrumentos adecuados para esta finalidad.



**Figura 3.12.-** Esquema de Funcionamiento de una caldera acuotubular.

(Fuente: [www.uclm.es](http://www.uclm.es))

### 3.17.- RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LA CASCARILLA DE ARROZ

Este es uno de los procedimientos que se convierte en un factor realmente importante. La ubicación de la cascarilla con respecto a la planta en donde es procesada y la distancia hasta el punto de utilización del vapor, se deben tener muy en cuenta para lograr un nivel de operación del sistema apropiado, con relación al proceso de generación de vapor a base de combustibles fósiles.

Para poder controlar el uso de la cascarilla desde su llegada a la planta hasta su

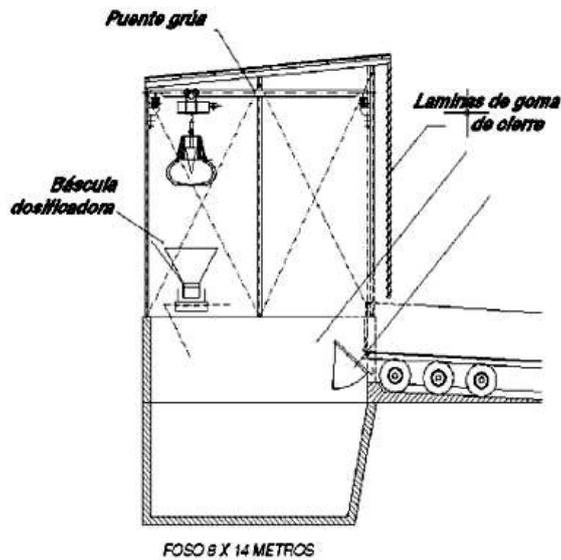
entrada al horno, se necesitan instalaciones especialmente diseñadas, en las que deben estar sistemas de almacenamiento, sistemas de dosificación y sistemas de transporte hasta el horno, cuyos diseños estarán siempre a las condiciones del espacio que haya disponible en cada planta.

### **3.17.1.- ALMACENAMIENTO**

#### **3.17.1.1 PARQUE DE ALMACENAMIENTO CON FOSO**

Según VIDMAR RM2000, empresa líder en la fabricación y suministro de equipos para pesaje, dosificación y control, se trata de un parque rectangular de aproximadamente cuatro u ocho metros de ancho por 14 metros de longitud con un foso de 4 metros de profundidad donde descargan directamente los camiones de forma transversal. Este tipo de parque tiene la facilidad de permitir una gran capacidad de almacenamiento de cascarilla, de forma limpia y sencilla.

A este sistema se añade un recogedor tipo “pulpo” que transportará en nuestro caso a la cascarilla secuencialmente hasta el conjunto dosificador. Este recogedor se acciona por un sistema hidráulico.

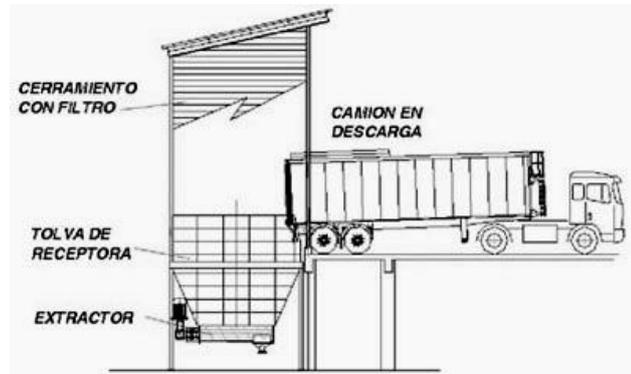


**Figura 3.13.-** Parque con fosó de 8x14m. (Fuente: [www.concretonline.com](http://www.concretonline.com))

### 3.17.1.2.- TOLVA RECEPTORA PARA DESCARGA DE CAMIONES

La misma empresa mencionada anteriormente propone una tolva de recepción, (Figura 3.23), con capacidad máxima para descarga.

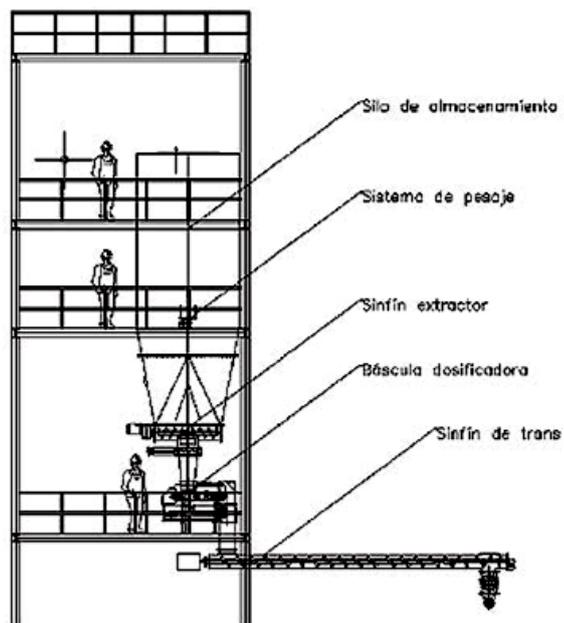
En el fondo de la tolva se instala un extractor que podrá ser de banda de goma, de láminas de placas, o dobles tornillos sinfín con sentido de giro inverso. El extractor descarga sobre un sistema de transporte mecánico, mediante cintas transportadoras o en su defecto tornillos sinfines. Este sistema de recepción, es ideal donde exista poco espacio para la instalación. Posee muy poca capacidad de almacenamiento y deberá preverse un flujo de camiones más continuo.



**Figura 3.14.-** Tolva receptora para descarga de camiones.

(Fuente: [www.concretonline.com](http://www.concretonline.com))

### 3.17.1.5.- SILO

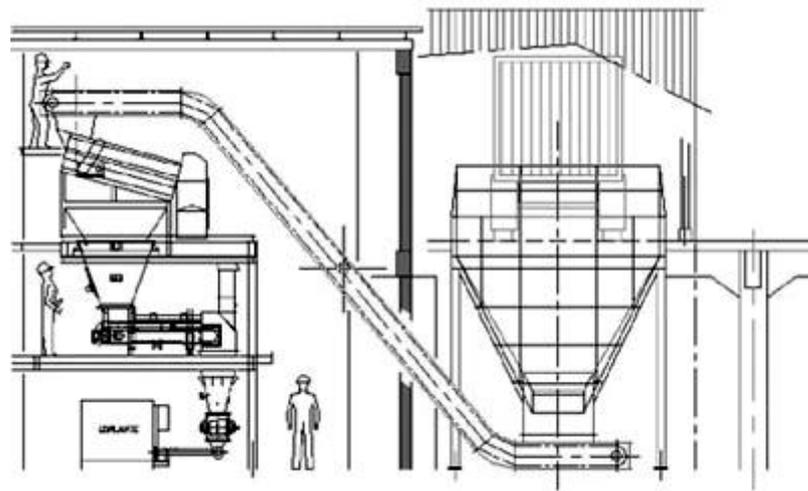


**Figura 3.15.-** Almacenamiento mediante silo. (Fuente: [www.concretonline.com](http://www.concretonline.com))

Una de las ventajas del silo es que toda la aportación de la cascarilla hasta la estación dosificadora se realiza totalmente en línea, por gravedad, con el consiguiente ahorro por el transporte mecánico y por simplificación de la instalación.

### 3.17.1.3.- TRANSPORTE MECÁNICO HASTA ESTACIÓN DOSIFICADORA

Estará constituido por bandas transportadoras, tornillos sinfín, y elevadores.



**Figura 3.16.-** Instalación con transporte mecánico. (Fuente: [www.uclm.es](http://www.uclm.es))

### 3.18.- AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERA

El agua necesaria para la caldera se almacena en un tanque el cual debe tener la capacidad suficiente para abastecerla; para mantener el tanque con agua se utiliza una válvula de control de nivel y una bomba de alta presión encargada de empujar el agua hacia dentro de la caldera.

### **3.18.1.- CONSIDERACIONES EN EL AGUA DE ALIMENTACIÓN**

Antes de que el agua ingrese a la caldera debe ser sometida a un tratamiento tomando en cuenta el tipo de caldera y la presión operativa.

### **3.18.2.- CONTROL DE SOLIDOS DISUELTOS TOTALES**

En el proceso de formación de vapor, los minerales o sólidos disueltos y suspendidos en el agua, permanecen dentro de la caldera. El agua de reposición posee una carga normal de minerales disueltos, estos provocan que aumenten los sólidos disueltos totales dentro de la caldera. Después de un periodo de tiempo los sólidos disueltos totales (TDS) alcanzan niveles críticos dentro de la caldera. Según SISTEAGUA, empresa mexicana dedicada al análisis de este líquido vital, en su artículo CALIDAD DEL AGUA PARA GENERADORES DE VAPOR manifiesta que los niveles de TDS en calderas de baja presión no deben exceder 3500 ppm (partes por millón o miligramos por litro). Los valores de TDS por encima de este rango podrían causar espuma, lo que va a generar arrastres de altos contenidos de TDS en las líneas de vapor, las válvulas y las tramas de vapor.

En el citado artículo, el incremento en los niveles de TDS dentro de la caldera es conocido como “ciclos de concentración”, este término es empleado muy seguido en la operación y control de la caldera. Agua de alimentación para la caldera que

contiene 175 ppm de TDS puede ser concentrada hasta 20 veces para alcanzar un máximo de 3500 ppm.

Los niveles permisibles de TDS deben ser controlados abriendo de forma periódica la válvula de purga de la caldera. La purga es un procedimiento de suma importancia para el control del agua en la caldera y ésta debe realizarse en periodos de tiempo adecuados. La frecuencia de apertura depende de la cantidad de TDS presentes en el agua de reposición y de la cantidad de agua de reposición introducida. En calderas de mayor tamaño las purgas deben de ser automáticas.

### **3.18.3.- CONTROL DE LA ALCALINIDAD**

La alcalinidad, según SISTEAGUA, debe de ser considerada con mucha precaución. Los niveles de alcalinidad cuando se tienen calderas de baja presión, no deben de exceder las 700 ppm. Valores sobre 700 ppm pueden provocar un rompimiento de los bicarbonatos produciendo carbonatos y liberando CO<sub>2</sub> libre en el vapor. La presencia de CO<sub>2</sub> en el vapor usualmente se obtiene como resultado un vapor altamente corrosivo, causando daños por corrosión en las líneas de vapor y retorno de condensados.

SISTEAGUA proporciona en su artículo una tabla en donde se observa la concentración permitida en el interior de la caldera de TDS al igual que de alcalinidad en función de la presión de las calderas de vapor.

<b>CALIDAD DEL AGUA RECOMENDADA PARA CALDERAS</b>				
<b>Caldera de Vapor</b>		<b>TDS (ppm)</b>	<b>Alcalinidad (ppm)</b>	<b>Dureza</b>
<b>Presión (PSI)</b>		<b>Máxima</b>	<b>Máxima</b>	<b>Máxima</b>
menor	300	3500	700	20
301	450	3000	600	0
451	600	2500	500	0
601	750	2000	400	0
751	900	1500	300	0
901	1000	1250	250	0
1001	1500	1000	200	0
1501	2000	750	150	0
2001	3000	150	100	0

**Tabla 3.17.-** Calidad del Agua para calderas (**Fuente:** SISTEAGUA)

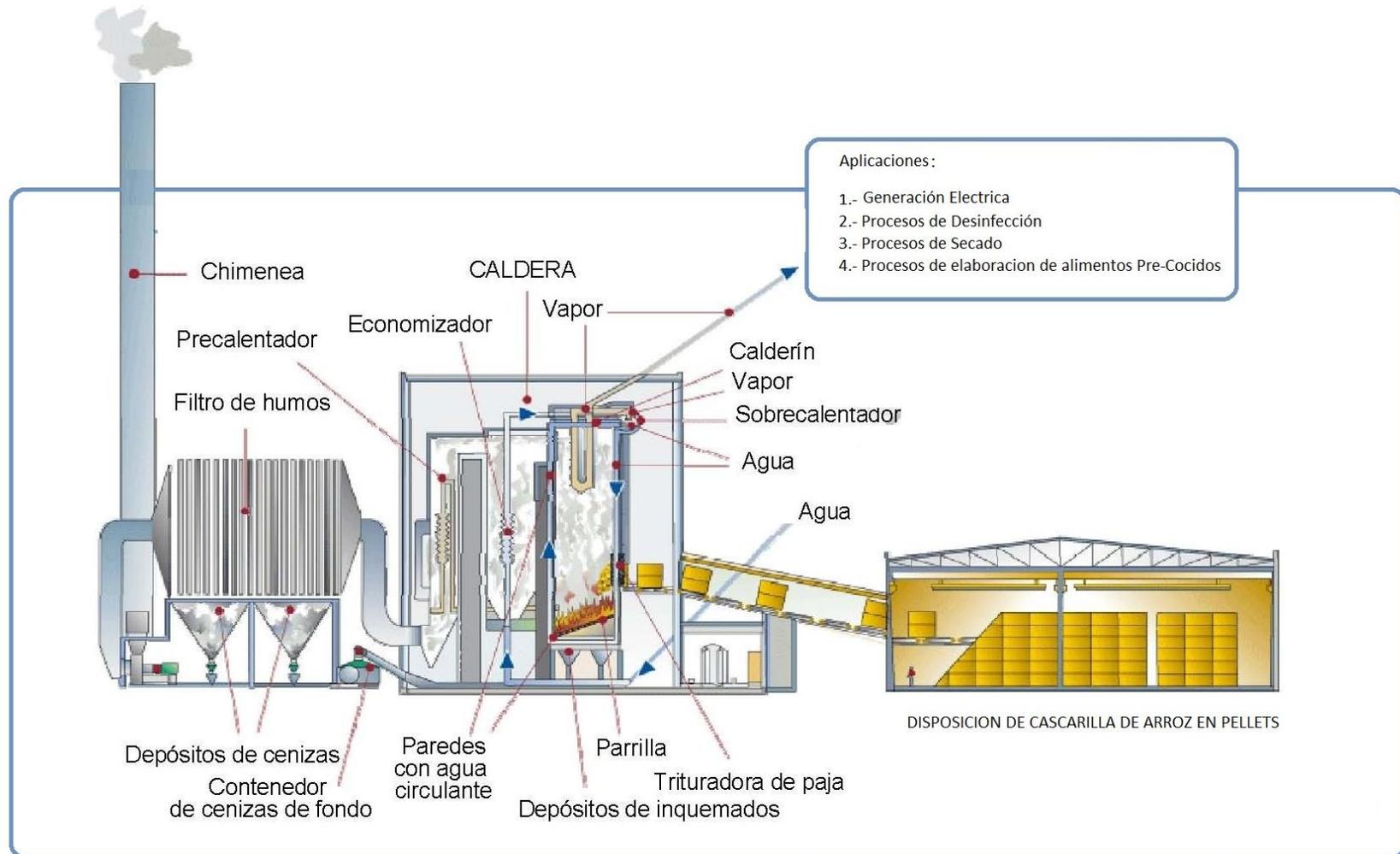
### **3.19.- PERIFÉRICOS MÍNIMOS PARA UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR**

Un sistema de generación de vapor debería constar de de:

- a.- Tolva de recibo
- b.- Cinta transportadora
- c.- Silos de alimentación
- d.- Sistema completo de carga
- e.- Descargador de Silo

- f.- Sistema completo de descarga
- g.- Sistema Doble de Alimentación
- h.- Caldera
- i.- Sistema de extracción de cenizas
- j.- Sistema de Tratamiento de Agua
- k.- Chimenea.

### 3.20.- ESQUEMA FINAL PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR



## **CAPITULO 4**

### **ASPECTOS ECONOMICOS**

Normalmente, los costos de inversión para plantas de biomasa son mucho más altos que las plantas que funcionan a base de combustibles habituales. La razón no solo se debe a la escasez de técnicas de fabricación en serie de ciertos elementos, sino que además intervienen las características especiales necesarias por las maquinarias para lograr manejar biomasa de manera eficaz.

Al mencionar los costos de ejecución o aprovechamiento de las plantas de biomasa, su comparación ante hidrocarburos habituales suele ser conveniente o no de acuerdo a la aplicación. El primordial elemento de los costos de aprovechamiento en este tipo de construcciones es la adquisición de biomasa. Los precios respecto al abastecimiento de la biomasa cambian con respecto a la cantidad solicitada, la lejanía del traslado y los probables procedimientos para elevar su calidad. A esto se debe agregar la disposición del combustible, su estacionalidad y los cambios de los costos, todo familiarizado a la actuación de las cosechas, para el tema de desechos agrícolas y de las empresas agroalimentarias.

Un plan de producción de vapor usando biomasa crea diversas inquietudes alrededor a su fiabilidad económica, una cadena de incógnitas tienen que ser despejadas antes de arriesgarse a invertir un capital en la exploración de un negocio provechoso.

Nace entonces la obligación de encontrar respuestas para ciertas interrogantes, como: ¿Cuál sería su primera inversión?, ¿De qué manera se la podría cancelar?, ¿Qué trámites se requieren ejecutar?, ¿Cuáles son y a cuánto se elevan los precios de mantenimiento y operación?, ¿Cuáles son las expectativas de esta inversión?, ¿Cuántos tipos de proyectos de esta clase están trabajando en este momento en el país?, ¿Cómo son las políticas gubernamentales con las compañías que operan estas tecnologías?

Además de estas incógnitas son numerosas las interrogantes que se tendrán que aclarar previamente para tomar una decisión. Lo conveniente es hacer un análisis minucioso de todas estas inquietudes en sus respectivas fuentes con el fin de exponer respuestas. Un estudio cuidadoso en lo que representa la implementación de una planta de producción de vapor, indica análogamente que en otras industrias, hay varios factores a considerar en lo coherente a su infraestructura tales como:

Precios de montaje, edificaciones civiles, lugar y prolongación de redes, recursos humanos indispensables y disponibles, acuerdo de zonas perturbadas por las vías, evaluación de ingresos por medio de los impuestos de valorización y tasas, costos de transmisión de tecnología, esquema de compañías administradoras, orígenes básicos de financiamiento interno o externo, etc. son aspectos fundamentales a considerar en

este tipo de proyectos. En conclusión, los múltiples “estudios de pre-inversión” pertinentes nos permitirán con cierto nivel de claridad escoger la mejor opción a favor del inversionista, el medio ambiente y la sociedad.

Para un empresario, el trascurso de escoger una opción económica entre diversas planteadas, no resulta una ardua tarea si posee claramente identificado su objetivo, es decir, a más de rescatar el capital invertido, tiene que estar muy consiente de cuáles son sus opiniones con relación a las políticas ambientales y el hábitat, encerrando los privilegios que un proyecto de energías verdes resuelve para la sociedad.

Dependiendo del propósito y las metas que se desean, lograremos reconocer los aspectos para realizar un estudio de viabilidad económica. Guiados en nuestro tema de estudio se pueden recalcar diferentes aspectos económicos a tomar en consideración que convienen ser de conocimiento del inversionista:

- **Aspectos Financieros:** En resumen se busca que un proyecto prometa el bien o lucro de representantes particulares (personas o entidades públicas o privadas).
- **Aspectos económicos de proyectos:** Es un estudio cuya intención es establecer en forma óptima los recursos, reconocer y medir los resultados del proyecto sobre las variables económicas de trabajo, elaboración, ingresos, comercio internacional, economía, inversión, etc.

- **Aspectos sociales de proyectos:** Trata de reconocer y dimensionar los resultados con el hábitat social, vinculándolo con el empleo, educación, capacitación etc., etc.
- **Aspectos ambientales:** Es una causa determinante en el impulso de esta tecnología ya que se pueden usar los provechos que poseen los países abonados con el tratado de Kyoto. A más de ser una industria apegada con el medio ambiente, auxiliara a disminuir la contaminación presente, alcanzando un bien comercializando los exclamados “Bonos verdes”. En efecto, la identificación, enunciación y evaluación de planes de inversión está desarrollado por un grupo de metodologías reservadas a organizar y medir los componentes y consecuencias esperadas de las diversas propuestas de inversión.

Las notables incógnitas que la técnica de estimación de proyectos permite contestar, son las referentes a la cuantificación y evaluación de precios y ventajas; al interés y oportunidad o no, de llevar a cabo un proyecto; y lo referido a la distribución de recursos vacantes entre las diversas opciones. Para una mejor transparencia, en la descripción de precios y privilegios adaptables a un proyecto; se pueden resaltar tres categorías: los precios y beneficios directos, los precios y beneficios indirectos o secundarios, y por último los precios y beneficios impalpables. El cálculo de la rentabilidad financiera de un proyecto de producción de vapor debe gozar de una responsabilidad económica. La cuantificación reside en diferenciar desde el punto de vista del ambiente económico, los precios y privilegios del proyecto, fijando a cada

uno de los rubros, un valor que muestre su costo de oportunidad. Se despliegan significativas dificultades que tropiezan el libre juego de la oferta y la demanda, pero un estudio económico minucioso proyectara la rentabilidad o no del proyecto a realizar.

#### **4.1.- COSTOS DE OPORTUNIDAD**

Un costo de oportunidad demanda que renunciemos a un beneficio; este se da esencialmente porque reinan dos o más opciones de inversión para ganar dinero, entonces se investiga el remedio más ingenioso; “más rentable”.

Un proyecto de generación de vapor usando cascarilla de arroz, no es ajustable para cualquier planta ya que existen causas que establecen que el combustible fósil, por poseer una más alta fuerza calorífica, brinda comodidades al momento de la generación. No obstante en este caso existe un factor sobresaliente a tomar cuenta y es la venta de certificados de reducción de emisiones lo cual prometería un significativo interés por la conquista de un proyecto de estas tipologías.

#### **4.2.- EFICIENCIA**

La superficie más estrecha de una caldera a diesel involucra que debido a que su cámara de combustión es bastante más pequeña, ésta le dejará hacer más vapor con menos combustible, alcanzando una eficiencia por encima del 85%.

### **4.3.- ECONOMÍA**

Al instante de instalar una planta de producción de vapor, la opción del diesel ofrece un cómodo montaje y disminuye el precio operacional.

### **4.4.- INFRAESTRUCTURA**

Una planta de producción de vapor a base de diesel es más reducida ya que los métodos de almacenamiento e incinerado del combustible rebajan la zona física dada la notable superioridad calorífica del diesel.

Todo esto nos lleva a una interrogante substancial: ¿Si la fabricación de vapor con diesel ofrece mejores bienes, por qué invertir en un proyecto de producción de vapor usando biomasa?

Los costos de oportunidad de la producción de vapor substituyendo al diesel por cascarilla de arroz estar en manos de de muchos principios de la empresa o el inversionista.

Privarse a los bienes del diesel como combustible no poseería sentido si la cascarilla de arroz no brinda rentabilidad a un proyecto.

En recompensa a lo que el diesel brinda como combustible y a lo que habría que abandonar como compañía, se muestran los siguientes provechos para que la creación con cascarilla manifieste rentabilidad y que a la final valdrán al inversionista para auxiliar a tomar el acuerdo de aventurarse en un proyecto de esta índole.

#### **4.5.- DISPONIBILIDAD INMEDIATA DEL COMBUSTIBLE**

Se considera la disponibilidad inmediata de la cascarilla de arroz asumiendo que una planta tenga cercanía a las piladoras o sitios de donde se logre tener la materia prima para la combustión.

#### **4.6.- REDUCCIÓN EN COSTOS**

La cascarilla de arroz en el país se ha calificado como basura de la obtención del arroz pilado, diversas piladoras carbonizan este restante para obtener un lugar físico más espaciado para seguir almacenándola y así poder seguir con la producción. Hoy por hoy el precio de la tonelada de cascarilla no tiene un valor asentado, numerosas piladoras la entregan mientras que otras la venden a precios respectivamente pequeños en comparación con el del diesel.

#### **4.7.- VENTA DE BONOS VERDES**

El tratado de Kyoto y sus ventajas es lo que induce a los inversionistas a usar biomasa (cascarilla de arroz) como combustible. Un proyecto MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio) después de su aprobación ofrece la posibilidad de vender los citados “Bonos verdes o Bonos de Carbono” que se valoran por dejar de irradiar

toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y que para numerosas compañías del país significan remuneraciones importantes.

#### **4.8.- FACTORES PARA DESENVOLVER UN PROYECTO MDL (MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO)**

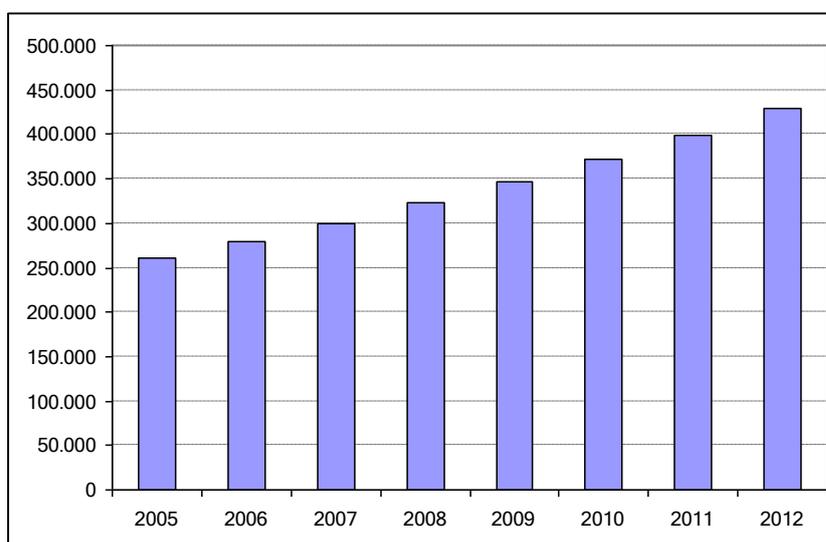
Cualquier proyecto MDL tiene que cumplir con dos requerimientos básicos: disminuir emisiones de gases con efecto invernadero y apoyar al desarrollo viable del país huésped.

##### **4.8.1.- DISMINUCIÓN DE EMISIONES DE GASES CON EFECTO INVERNADERO**

Datos revelan que por cada tonelada de cascarilla de arroz se reemplazan 90 galones de diesel que simbolizan una creación de emisiones equivalente a 950 kg de CO<sub>2</sub>. La tabla 4.2 simplifica el gasto de combustible tradicional y la capacidad de disminución de emisiones que se gozaría en caso de que se resolviera efectuar la sustitución por cascarilla de arroz.

Año	Vapor requerido (ton/año)	Consumo de diesel (gal/ton vapor)	Consumo anual de diesel (gal/año)	Cascarilla de arroz requerida (ton / año)	Potencial reducción de emisiones (ton CO <sub>2</sub> /año)
2009	69.397	20,98	1'455.943	16.165	15.409
2010	69.397	20,98	1'455.943	16.165	15.409
2011	69.397	20,98	1'455.943	16.165	15.409
2012	69.397	20,98	1'455.943	16.165	15.409

**Tabla 4.1:** Potencial de reducción de emisiones / generación de vapor – cascarilla de arroz. **(Fuente:** Consultor líder / Ana María Núñez)



**Figura 4.1:** Proyección de la generación de emisiones / Generación de vapor con diesel (ton CO<sub>2</sub> / año). **(Fuente:** Consultor líder / Ana María Núñez)

#### **4.8.2.- APORTACIÓN AL PROGRESO SOSTENIBLE**

A más de aportar al amortiguamiento del cambio climático, el proyecto ayuda al progreso sostenible del país por medio de impactos positivos en las extensiones económica, social, ambiental y política.

#### **4.8.3.- LOCALIZACIÓN**

Convendría implementar un proyecto de este tipo en un complejo tal que la planta se halle situada en una zona representada por la producción agrícola, principalmente de arroz.

#### **4.8.4.- MONITOREO**

Se debe efectuar un plan de monitoreo para evaluar anualmente los descensos de emisiones consecuentes de la práctica del proyecto. El plan de monitoreo involucra el control de la cantidad de vapor producido, para el cálculo de la línea de base. Igualmente, se necesita de un rastreo de todos los desplazamientos de camiones tanto para el traslado de la cascarilla desde los molinos a la central, así como de las cenizas desde la central a sus zonas de distribución o comercialización.

#### **4.8.5.- ESCENARIO DE LÍNEA BASE**

El escenario más factible sería la continuación de la situación presente, es decir el manejo de calderos a diesel. La demanda de vapor permanecerá, inclusive, según apreciaciones, esta crecerá.

El precio de las calderas para cascarilla de arroz es más alto que los acostumbrados con extensiones aproximadas. También, el manejo de las calderas con cascarilla involucra un aumento en los costos correspondidos con la enseñanza y nuevas prácticas para la manipulación y mantenimiento de esta tecnología.

El proyecto vería más dificultades en su ejecución y operación, por ejemplo: el país no consta con abastecedores de esta tecnología y demanda un programa de adiestramiento para su gerencia, no obstante se tendrían que tomar los certificados de disminución de emisiones.

#### **4.9.- IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS DEL PROYECTO**

Lo primero en la evaluación económica de un proyecto es el reconocimiento del golpe sobre cada uno de las partes de la función de provecho o bienestar social. El impacto se fragmenta en dos: los bienes o golpes positivos y los precios o golpes negativos. Los bienes así como los costos tienen que ser estudiados tomando en cuenta su grandeza, su lugar en el tiempo y la duración del proyecto.

#### **4.9.1.- IMPACTOS AMBIENTALES**

Un proyecto de esta índole acarrearía golpes ambientales positivos debido a que se comprobará una importante disminución de gases de efecto invernadero a su vez que se excluirá el principal restante de la industria arrocera (cáscara de arroz), promotor de algunas molestias ambientales situados en el medio de los molinos. De la misma forma, se realizarán diferentes medidas para la prevención y atenuación de latentes efectos negativos producidos por el proyecto.

#### **4.9.2.- IMPACTOS SOCIO-ECONÓMICOS**

Los aportes primordiales del proyecto se asocian con la seguridad energética, el ahorro de divisas, la creación de empleo, la valorización de desechos industriales, la descentralización del progreso y la eficacia energética.

#### **4.9.3.- IMPACTO SOCIAL**

En la medida que se aminoren los impactos ambientales registrados, no se han dado repercusiones sociales negativas. En todo caso, el proyecto va acorde con la ley nacional y local aplicable.

## **4.10.- EVOLUCIÓN DEL MERCADO INTERNACIONAL DE CARBONO**

### **4.10.1.- PROGRESO DEL MERCADO**

La industria del carbono ya es algo real. En años pasados se originaron transacciones de casi 800 millones de toneladas de CO<sub>2eq</sub> con una colaboración del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que estuvo al borde del 50% del total de las contrataciones. En términos monetarios se efectuaron transacciones con un costo de 9,4 billones de Euros (el MDL 1,9 billones). Para el futuro, han sido significativas las negociaciones vigentes sobre una permanencia del Protocolo de Kioto más allá del 2012.

Existe esencialmente un mercado bajo el Protocolo de Kioto con planes y certificados aprobados por la Convención sobre Cambio Climático (CMNUCC) y un mercado abierto con certificados que obedecen con diversos juicios en general menos rigurosos que los de la CMNUCC. En el mercado de Kioto se tienen al instante más de 150 proyectos inscritos con una disminución latente de emisiones, hasta el 2012, de más de 220 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> eq.

### **4.10.2.- OFERTA Y DEMANDA**

La demanda por Reducciones Certificadas de Emisiones procede originalmente de aquellos países que han confirmado el Protocolo de Kioto y que se hallan enlistados en el Anexo B de este Protocolo. Para acceder a las reducciones de emisiones

creadas en otros países, las partes del Anexo B han usado distintos mecanismos de sondeo y compra. Así como por ejemplo a través de:

- Capitales multilaterales de carbono como los del Banco Mundial.
- Fondos nacionales como los de, Italia, Finlandia, España, Austria, y Holanda.
- Fondos privados.
- Clientes directos o por medio de mediadores particulares.

La promesa en el mercado de carbono se destaca según los instrumentos:

- El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) con su oferta de CERs originarios de países en vía de desarrollo.
- El Comercio de Emisiones que es la trasmisión de derechos de emisión concedidos a países Anexo B.
- También existe una propuesta nacional o regional interna por derechos de disminución de emisiones.

#### **4.10.3- PRECIOS Y CONDICIONES**

En la actualidad, los CERs se comercializan por costos de entre US\$ 5 y US\$ 12 donde el comprador adquiere una ración más grande del riesgo (riesgo de construcción y de entrega elementalmente) y montos de US\$ 9 - US\$ 15 por proyectos en el que el vendedor alcanza la mayor porción del riesgo. Los costos

dependen esencialmente del riesgo del proyecto, de la cantidad de disminuciones conseguidas y del tiempo de entrega de los certificados. Aspectos añadidos a tomar en consideración son: la repartición de los precios de transacción (esencialmente los precios de contratos, de la formulación del proyecto, de la certificación y del registro) y si el interesado co-invierte, prevé una fracción del pago de los CERs (por ejemplo 30% cancelado prematuramente) o si es puramente pago contra cancelación de los CERs.

Súbitamente estos costos pueden presumir de pequeños en comparación al mercado Europeo donde se efectúan transacciones que oscilan entre US\$ 20 y US\$ 30 por tonelada de CO<sub>2eq</sub>.

Los costos en el mercado voluntario normalmente son más chicos oscilando entre US\$ 1 hasta US\$ 12 dependiendo fundamentalmente de los requerimientos del comprador en lo referente a la calidad del proyecto. Mientras que los costos cancelados son más pequeños en esta fracción los requerimientos igualmente son mínimos. Sin embargo, este mercado lograría ser atractivo para aquellos proyectos en los que no se puede emplear una metodología permitida o si constan dificultades en su registro o además si el tamaño no es bastante como para alcanzar los costos de transacción. Otra alternativa es que el proyecto voluntario se consigue registrar después tal como un proyecto de MDL.

#### **4.11.- BENEFICIOS DE PROYECTOS DE ENERGIAS RENOVABLES**

El bien económico de un proyecto no se refleja por el bien o beneficio producido, ya que el proyecto no crea bienestar a secas sino a través de los impactos que provoca. Si el proyecto es la cimentación de un procedimiento de generación de vapor usando la cascarilla de arroz, el impacto principal definitivamente es la disminución de emisiones de gases; de allí están la explotación de la cascarilla que es desechada en sinnúmero de casos; reducción de costos de diesel; el levantamiento de actividades comerciales e industriales; los grandes ingresos oficiales por certificados de disminución de emisiones, etc.

El bien será, entonces, el ahorro de estos capitales en términos de su costo de oportunidad. Permanentemente se revuelve medir el impacto del proyecto en función de los elementos que componen el bienestar que éste proporciona.

##### **4.11.1.- BENEFICIOS, A NIVEL NACIONAL Y SUBREGIONAL**

El arroz es vital en las cosechas agrícolas del Ecuador, consecuentemente la ejecución de este proyecto de este tipo crea un efecto evidente en este sector.

Igualmente, se podría emprender una cultura de explotación energética de la cascarilla y la mejora de la gestión y disposición final de este residuo.

Un proyecto que implique el aprovechamiento de la cascarilla reduce el uso de diesel en la industria favoreciendo, de alguna manera, a reducir el desperdicio de un combustible importado.

#### **4.11.2.- BENEFICIOS A NIVEL LOCAL**

El levantamiento de la infraestructura indispensable, montaje, instalaciones y maniobra del equipo conlleva la adquisición de mano de obra nacional. Esto dejará crecer una habilidad en un tipo de tecnología ignorada en el país.

#### **4.12.- BARRERAS**

Se distinguen las siguientes barreras:

- La cascarilla de arroz es cosechada en muchos lugares, con varias características y varios distanciamientos en el transporte. Esto involucra un alto precio de producción.
- Mientras mayor sea la demanda por cascarilla como combustible, mayor será el área geográfica de donde se recogerá la biomasa.
- Comparado con combustibles fósiles, la cascarilla emplea un mayor volumen de carga fundamental para transportar una similar cantidad de energía.

- La eficiencia de la combustión es menor por la diversidad de características de la cascarilla.

#### **4.13.- COSTOS DE INVERSIÓN**

Los costos de inversión son los gastos vitales en los que debe incidir el inversionista hasta que la producción de la empresa se encuentre en marcha, estos precios podrían variar dependiendo del volumen de generación de la planta ya que en base a esto estarán dimensionados todos los equipos a usar. Generalmente, un sistema de producción de vapor de tamaño pequeño tiene métodos similares a un sistema de mayor producción. En síntesis nombramos los costos principales a tomar cuenta para la construcción de una planta de generación de vapor:

- Caldera
- Traslado de maquinaria hasta la planta
- Impuestos de ley.
- Sistema de tratamiento de agua
- Filtro de humos y chimenea
- Método de transporte de la cascarilla hasta la caldera
- Técnica de dosificación de la cascarilla
- Bodegas de cascarilla
- Construcción y puesta en funcionamiento.

#### **4.13.1.- COSTOS DE GENERACIÓN DE VAPOR**

Los insumos que contribuyen en la creación de vapor son egresos estables, obligatorios para su obtención, algunos de los costos más notables en la producción se detallan a continuación:

- Combustible
- Suministros alcantarillado y agua primaria
- Tratamiento del agua de alimentación
- Energía eléctrica de las bombas abastecimiento de agua
- Energía eléctrica de los ventiladores de aire de incineración
- Depósitos de cenizas
- Regulación de emisiones
- Recursos humanos y materiales de manutención

#### **4.14.- COMPARACIÓN EN COSTOS DE LA PRODUCCIÓN CON CASCARILLA Y PRODUCCIÓN CON DIESEL**

Se empieza de la premisa del costo de generación de 1 libra de vapor por hora con una caldera a diesel y otra de biomasa (cascarilla de arroz); crear esta cantidad de vapor demanda 1200 BTU, de acuerdo a cifras del capítulo 1 en el año 2010 se obtuvo  $2.56 \times 10^8$  Kg de cascarilla lo que corresponde a  $38.4 \times 10^8$  MJ, esto a su vez es igual a  $3.6396 \times 10^{12}$  BTU; también se toma en cuenta que un galón de Diesel es

igual 150000 BTU y además que el precio de un galón de diesel actualmente está cerca de 1 Dólar y el valor aproximado de una tonelada de cascarilla de arroz es de 10 Dólares.

Si consideramos una eficiencia de ambas calderas del 80 %, demandaremos 1.440 [BTU/lb].

En conclusión se tiene lo siguiente:

- **Costo de producir una libra de vapor con Diesel**

El precio para obtener 1 libra de vapor usando como carburante el diesel, comprendería el cálculo siguiente:

$$1440 \frac{BTU}{Lb} \times \frac{1 \text{ Galones}}{150000 \text{ BTU}} \times \frac{1 \text{ Dolar}}{1 \text{ Galon}} = 0.0095 \frac{\text{Dolares}}{\text{Libra}}$$

Es decir que generar 1000 libras de vapor valdrá alrededor de 9.5 Dólares.

- **Costo de generación de una libra de vapor con cascarilla de Arroz**

$$1440 \frac{BTU}{Lb} \times \frac{2.56 \times 10^8 \text{ Kg}}{3.63 \times 10^{12} \text{ BTU}} \times \frac{10 \text{ Dolares}}{1000 \text{ Kg}} = 0.0010128 \frac{\text{Dolares}}{\text{Libra}}$$

Esto muestra que actualmente generar las mismas 1000 libras de vapor valdría 1.012 Dólares, esto involucra un ahorro considerable en combustible.

#### **4.15.- CASO DE ESTUDIO**

Se ha tomado en cuanto un estudio realizado por Ediagro Ltda, que es una empresa colombiana, destinada a la consultoría agroindustrial e industrial.

Sus movimientos comprenden varias disciplinas que abarcan temas financieros, económicos, de mercados y aspectos de ingeniería de diseño de proyectos y obras.

Ediagro en el año 2009, ha realizado un análisis para la explotación de la cascarilla de arroz como combustible que radica en la implementación de un sistema de vapor para la producción de arroz parbolized, que es simplemente una clase de arroz precocido. Se coloca a disposición este estudio para establecer la posibilidad del uso de un combustible alternativo, para el caso de la cascarilla de arroz.

##### **4.15.1.- CONSIDERACIONES PARA LA OBTENCIÓN DE VAPOR UTILIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE ARROZ PRE-COCIDO (PARBOLIZADO).**

###### **4.15.1.1.- CASCARILLA TOTAL DISPONIBLE**

En esta ocasión es indispensable revisar el análisis de la producción de arroz en las regiones aledañas al establecimiento de la planta; por medio de un estudio esta empresa consiguió especificar que la suma de cascarilla de arroz que requeriría para su operación es de 12000 toneladas, de esta forma se garantiza la disponibilidad del combustible básico para la creación de vapor.

#### 4.15.1.2.- DÍAS DE TRABAJO

Tomando en cuenta los períodos de producción de arroz, la consultora indicada, plantea 180 días de labor por año para las acciones de generación de vapor, a 15 días de trabajo mensuales.

#### 4.15.1.3.- DEMANDA DE VAPOR PARA LA PRODUCCION DE ARROZ PARBOLIZADO

Para la obtención de arroz pre-cocido se presume un gasto de vapor por cada hora de 2500 kg.

CONSIDERACIONES PARA LA GENERACION DE VAPOR		
Cascarilla total disponible	12000	toneladas
Días de labor por año	180	
Generación de vapor por hora	2,5	toneladas
Generación de vapor en el año	10800	toneladas

**Tabla 4.2.-** Consideraciones Generación de Vapor. (Fuente: EDIAGRO)

#### **4.15.1.4.- CONSUMO DE CASCARILLA CORRESPONDIENTE**

La consultora suministra como dato guía que para producir 7500Kg de vapor se necesitan 2120 kg de cascarilla, es decir que para la generación de 2500 Kg de vapor se demanda un monto cercano a 706 kg de cascarilla; tomando en cuenta una eficiencia de la caldera del 80% (es decir que hay una presencia de 20% de inquemados), se estima una suma de 847,2 Kg de cascarilla de arroz para la generación de 2500 Kg de vapor requerido.

#### **4.15.1.5.- DIESEL REQUERIDO**

La Universidad Rafael Landívar de Guatemala, en su Revista de Termodinámica de Equipos Industriales, indica que para la generación 3,802.82 libras (1724.9301 Kg) de vapor por hora es necesario la combustión de 36.13 galones de diesel con una eficiencia aproximada del 80%, entonces se tiene que para generar 2500 kg de vapor para la producción de arroz parbolizado se necesitan 52.36 galones de diesel como combustible para la caldera a utilizar.

#### **4.15.1.6.- COSTOS ANUALES EN COMBUSTIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR**

#### **4.15.1.6.1.- COMBUSTIBLE I: CASCARILLA DE ARROZ**

De la sección 4.14 de este Capítulo se realizó un análisis en los costos de la cascarilla de arroz necesaria para producir 1000 libras (453,592 Kg) de vapor, como resultado se obtuvo un costo en combustible de \$ 1.012 dólares para generar esta suma; ahora, para la producción de arroz parbolizado se estimaron necesarios 2500 Kg de vapor por hora, entonces considerando el dato anterior, y tomando en cuenta los días trabajados (180), esta cantidad demandaría \$24105.6 dólares anualmente en cascarilla de arroz como combustible.

#### **4.15.1.6.2.- COMBUSTIBLE II: DIESEL**

De igual manera la sección 4.14 de este Capítulo nos proporciona el costo en diesel para la generación de 1000 libras (453,592 Kg) de vapor, este resultado fue de \$9.50 dólares; entonces para la generación de 2500 Kg por hora de vapor utilizando el diesel como combustible serían necesarios \$ 226194,88 dólares anuales.

#### **4.15.1.7.- EVALUACION DE LA GENERACION DE VAPOR**

Las cantidades estimadas en las secciones anteriores se resumen en la siguiente tabla indicando además los galones de diesel necesarios para producir 2500 kg de vapor y el coste en que se incurriría al utilizar este combustible anualmente.

<b>EVALUACIÓN DE OBTENCIÓN DE VAPOR PARA LA ELABORACIÓN DE ARROZ PARBOLIZADO</b>		
Días de laborales por mes	15	en obtención de <i>parboiled</i>
Utilización de vapor por hora	2500	Kg/hora
Empleo de cáscara correspondiente	847.2	Kg / hora
Diesel Correspondiente	52.36	Gal/hora
Consumo de cáscara anual	3660	toneladas
Gasto anual en cascarilla de arroz	\$ 24105.6	Dólares
Gasto anual si se utilizara Diesel como combustible.	\$ 226194,88	Dólares

**Tabla 4.3:** Evaluación de obtención de vapor para la elaboración de arroz parbolizado. (**Fuente:** EDIAGRO)

#### **4.15.1.8.- INVERSIONES PARA LA PRODUCCION DE ARROZ PARBOLIZADO**

A continuación se especifican los precios de inversión en donde se especifica el precio de la maquinaria, importación, operación y montaje, cada uno de estos datos brindados por la consultora, sometidos al ajuste propio de la realidad económica de

nuestro país, con el propósito de poseer una visión más realista y actual de los valores en los que hay que incidir para los proyectos de esta clase.

<b>INVERSIONES</b>	
Costo caldera	\$ 323.900,00
Costo de importación	\$ 48.585,00
IVA	\$ 38.868,00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 411.353,00</b>
Transporte terrestre hasta la planta	\$ 6.666,67
Montaje y puesta en marcha	\$ 80.975,00
Tolvas y Equipo transporte cascarilla	\$ 80.975,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 991.322,67</b>
<b>COSTOS</b>	
Mantenimiento anual	\$ 39.652,91
Depreciación, 10 años	\$ 99.132,27
Costos anuales en cascarilla de arroz	\$ 24.105,60
Consumo de potencia: 50 kw/hora, anual	\$ 28.080,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 190.970,77</b>

**Tabla 4.4.-** Inversiones del proyecto (cascarilla de arroz). (Fuente: EDIAGRO)

<b>INVERSIONES (DIESEL)</b>	
Precio caldera	\$ 60000
Coste de Importación	\$ 9000
IVA	\$ 7200
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 76200</b>
Traslado terrestre 2%	\$ 1200
Construcción y puesta en funcionamiento	\$ 30000
Tanque de almacenamiento	\$ 10000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 117400</b>
<b>COSTOS</b>	
Mantenimiento anual	\$ 20000
Depreciación, 10 años	\$ 11740
Costos anuales en Diesel	\$ 226194,88
Gasto de potencia: 50 kw/hora, anual	\$ 28.080,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 286014,88</b>

**Tabla 4.5.-** Inversiones del proyecto (DIESEL). (**Fuente:** ETSAP (Energy Technology Systems Analisis Programme))

#### **4.15.1.9.- CONSIDERACIONES EN LA VENTA DE BONOS VERDES**

##### **4.15.1.9.1.- EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR LA COMBUSTION DE CASCARILLA DE ARROZ**

Como dato representativo citamos que, según el II Taller Internacional MDL, la combustión de una tonelada de cascarilla de arroz emite al ambiente 0,090476 Kg

CO<sub>2</sub>, es decir que la combustión de 3660 toneladas de cascarilla causaría una emisión de 331,14 Kg de CO<sub>2</sub> anualmente.

#### **4.15.1.9.2.- EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR LA COMBUSTION DE DIESEL**

Según la Comisión Interdepartamental del Cambio Climático en Cataluña, en su artículo Guía Para el Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, la combustión de 264,17 galones de diesel emiten 2790 kg de CO<sub>2</sub>; por simple relación tenemos que 52,36 galones de diesel por hora, correspondientes a 226195 galones en el año, provocan una emisión al medio ambiente de 2388,31 toneladas de CO<sub>2</sub>.

#### **4.15.1.9.3.- BENEFICIOS POR LA VENTA DE BONOS VERDES AL UTILIZAR LA CASCARILLA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE**

Al utilizar la cascarilla de arroz como combustible, tomando en cuenta los resultados obtenidos en los numerales anteriores, se dejan de emitir 2388.60 toneladas de CO<sub>2</sub> al ambiente; actualmente la venta de bonos verdes esta en alrededor de 12.00 dólares la tonelada de CO<sub>2</sub> no emitida, esto implica que el beneficio por la venta de estos bonos sería de aproximadamente 28663,2 dólares anuales.

#### **4.15.1.10.- BENEFICIOS POR LA PARBOLIZACION DEL ARROZ.**

El proyecto está destinado a ofrecer un servicio de parbolización, se ha estimado para ello un beneficio neto de \$50 dólares por cada tonelada de arroz sometido al proceso de parbolizado.

Tomando en cuenta fases tales como la etapa de remojo y secado, se tiene que para producir 1 libra de arroz parbolizado son necesarios 10000 BTU asumiendo pérdidas de calor equivalentes a un 80%. Nuestra producción de arroz parboiled es de 793,67 Libras considerando una producción de vapor de 2500 Kg por hora; esta suma equivaldría a una producción anual de 1555,2 Toneladas de arroz parbolizado proporcionando una ganancia neta de \$ 77760 dólares anuales por brindar este servicio.

**4.15.1.11.- ANALISIS DE LOS BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DE VAPOR CON CASCARILLA DE ARROZ**

<b>BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DE VAPOR</b>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo de Operación anual	190.970,77	190.970,77	190.970,77	190.970,77	190.970,77	190.970,77	190.970,77	190.970,77	190.970,77	190.970,77
Economías en Diesel, anuales	226194,88	226194,88	226194,88	226194,88	226194,88	226194,88	226194,88	226194,88	226194,88	226194,88
Venta de Bonos Verdes	28.663,20	28.663,20	28.663,20	28.663,20	28.663,20	28.663,20	28.663,20	28.663,20	28.663,20	28.663,20
Beneficios por parbolizacion arroz	77.760,00	77.760,00	77.760,00	77.760,00	77.760,00	77.760,00	77.760,00	77.760,00	77.760,00	77.760,00
Depreciación	99.132,27	99.132,27	99.132,27	99.132,27	99.132,27	99.132,27	99.132,27	99.132,27	99.132,27	99.132,27
Beneficio BAIT	141647,31	141647,31	141647,31	141647,31	141647,31	141647,31	141647,31	141647,31	141647,31	141647,31
Utilidades Trabajadores (15%)	120400,21	120400,21	120400,21	120400,21	120400,21	120400,21	120400,21	120400,21	120400,21	120400,21
Impuesto a la Renta (25%)	90300,16	90300,16	90300,16	90300,16	90300,16	90300,16	90300,16	90300,16	90300,16	90300,16
<b>BENEFICIO NETO</b>	<b>189432,42</b>									

**Tabla 4.6.- Beneficios Generación de Vapor. (Fuente: EDIAGRO)**

#### 4.15.1.12.- CALCULO DE TIR Y VAN

Este estudio se fundamenta en comprobar la rentabilidad de un proyecto de obtención de vapor para la producción de arroz parbolizado, para ello se exige tener en conocimiento los indicadores económicos TIR y VAN que por medio de su análisis avalaran los bienes y las pérdidas a seguir en esta clase de proyectos.

<b>TASA DE RETORNO DE LA GENERACIÓN DE VAPOR (DOLARES)</b>											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	991.322,67										
Beneficios		189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42
Flujo Neto	-991.322,67	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42	189.432,42
<b>TIR</b>	<b>13,92%</b>										
<b>VAN (CO =10%)</b>	<b>\$172657,58</b>										

**Tabla 4.7:** Calculo del TIR y VAN. (Fuente: EDIAGRO)

El TIR y VAN han sido calculados con un costo de oportunidad del 10% a un periodo de 10 años con beneficios iguales anualmente. Como se aprecia en los resultados, con una TIR= 13,92%, superior a la tasa de descuento fijada (10%), y un VAN= \$ 172657,58, se considera el proyecto teóricamente atractivo; sin embargo, un sistema de generación de vapor utilizando el diesel es más rentable debido a la inversión en equipos, aunque los costos en combustible sean elevados; otro aspecto a tomar en cuenta son las barreras que implican la construcción y puesta en marcha de un sistema con cascarilla de arroz frente a uno a base de diesel.

Esta por demás decir que a pesar de la rentabilidad de cualquiera de los dos sistemas, está en juego el daño al medio ambiente, teniendo en cuenta esto y como es de esperar, las emisiones de CO<sub>2</sub> producto de la combustión del diesel son mucho mayores que las producidas por la quema de cascarilla de arroz, tal como se demostró en la sección 4.15.1.9.2 de este capítulo.

Considerando los pros y contras del reemplazo del diesel por cascarilla de arroz para generar vapor, finalmente se plantea utilizar este recurso biomásico como combustible complementario; de esta forma la inversión sería menor, se estaría ahorrando en combustible, y además se mitigarían las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente.

## CONCLUSIONES

1. La generación de vapor con cascarilla de arroz es viable técnicamente, sin embargo financieramente es necesario analizar los requerimientos específicos del sistema para poder emprenderlo.
2. Los riesgos de contaminación por el uso del diesel se reducen en gran manera ya que el efecto de contaminación de este hidrocarburo trae consigo la emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y metales pesados, estos últimos tienen un poder de contaminación mucho mayor que el del CO<sub>2</sub>.
3. El desarrollo de proyectos ambientales con la utilización de energías renovables creara además de beneficios con el ecosistema, mas oportunidades de empleo y brindara un entorno laboral seguro sin peligro de exposiciones que comprometan la salud de los trabajadores.
4. Este tipo de proyectos pueden ser usados en la aplicación de una nueva legislación ambiental o en su defecto de una eventual necesidad de obtención de certificaciones por normas ambientales.

5. Empezar este tipo de proyectos ofrece grandes oportunidades para proveedores de equipos relacionados con la utilización de biomasa como fuente de energía y para empresas de servicios especializados que utilizan vapor en sus procesos.
6. El contexto básico en el cual se debe analizar la utilización de la cascarilla de arroz como fuente de energía alternativa debe situarse en las reales condiciones imperantes en el país como son los precios relativos de la energía; la disponibilidad de cascarilla; y la existencia de equipamientos aptos para la conversión energética; en este último punto los mayores obstáculos para la difusión de los aprovechamientos de este recurso energético son la reducida disponibilidad de equipos y/o el elevado costo de los mismos.
7. Con la modernización tecnológica para el aprovechamiento de la biomasa, en nuestro caso la cascarilla de arroz, las instalaciones y equipos como por ejemplo la caldera y sus respectivos aditamentos que son requerimientos muy importantes en la generación de vapor, son más fiables y seguros.
8. La situación del país requiere el desarrollo de tecnologías que innoven en el uso de biomasa en general y desde ese punto de vista la utilización de la cascarilla de arroz para la generación de vapor contempla la implementación de un sistema con tecnología de punta que asegura el funcionamiento óptimo

y limpio del mismo así como también la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

9. La creación de un Marco Jurídico Legal que apoye el desarrollo de proyectos con energías limpias fomentara la inversión y la migración de tecnologías convencionales a tecnologías utilizando biomasa u otras energías renovables y contribuirán a la mitigación del cambio climático.
  
10. Las zonas de mayor producción de arroz cáscara en el país se encuentran localizadas en la provincia de Los Ríos y la provincia del Guayas que representan el 88% de la producción nacional. En el año 2010 se obtuvieron 249.000 TM de cascarilla y para el 2011 las proyecciones también son alentadoras por lo que se concluye que existe disponibilidad de este recurso que puede ser aprovechado como biocombustible.
  
11. La utilización de fuentes alternativas de energía que no son hidrocarburos representan un beneficio económico para el país ya que la menor importación, en nuestro caso del Diesel, provoca una disminución del flujo de divisas fuera de nuestro territorio.
  
12. Aparentemente la utilización del diesel resulta económicamente viable utilizando los precios del diesel en el mercado ecuatoriano que son de

alrededor de \$1 por galón, pero, internacionalmente la cotización del diesel esta por los \$ 4.26 (fuente: Petrocomercial) cada galón, lo que significa que el estado ecuatoriano paga cantidades exageradamente grandes por los galones de Diesel que consumimos, que son subsidiados. Al reducir la importación de este combustible estamos ahorrando al estado los costos de importación del mismo y el subsidio, juntos representan cantidades muy significativas.

## RECOMENDACIONES

1. El correcto funcionamiento de sistemas de este tipo implica la realización de mantenimientos periódicos por lo que se recomienda tomar en cuenta este factor al momento del análisis de viabilidad del proyecto.
2. La generación de vapor es considerada para diferentes tipos de procesos como por ejemplo el secado donde únicamente se lo utiliza a baja presión, si embargo, puede que el vapor por sí solo no resulte atractivo económicamente como se vio en el caso EDIAGRO en los aspectos económicos descritos en el capítulo 4, se recomienda entonces considerar la producción de electricidad ya que esto implicaría más beneficios que terminarían haciendo un proyecto de este tipo más beneficioso.
3. Debido a que el abastecimiento futuro de petróleo es incierto en el país, además de su elevado nivel de contaminación y costos, se recomienda sustituirlo, en lo posible, mediante el uso de biomasa, en nuestro caso la cascarilla de arroz.
4. Se debería impulsar la fabricación local de calderas a base de biomasa para la conversión energética; esto como un medio de reducir el monto de la inversión necesaria y de incentivar la multiplicación de las instalaciones.

5. Se recomienda explorar los mecanismos financieros para inducir en los empresarios a la toma de la decisión de realizar las inversiones necesarias para un proyecto de generación de vapor a base de cascarilla de arroz.
6. Difundir las tecnologías apropiadas para la conversión de la cascarilla de arroz en energía, desarrollando el mercado de la ingeniería y la disponibilidad de equipamientos aptos para implementar la utilización energética de este recurso.
7. Implementar regulaciones para reducir la disposición incontrolada de los residuos de la cascarilla de arroz y para impulsar el uso energético de estos residuos en todos los casos en que ello sea factible.
8. Interesar a las cámaras empresarias y cooperativas orientadas al sector arrocero en el tema de la generación de vapor y electricidad a partir de la cascarilla, explicitando los beneficios que se derivan de la utilización eficiente de este recurso.
9. Ampliar el reconocimiento de la cascarilla de arroz como una fuente energética moderna, para la generación de energía térmica y eléctrica y consolidar el desarrollo tecnológico en este campo.

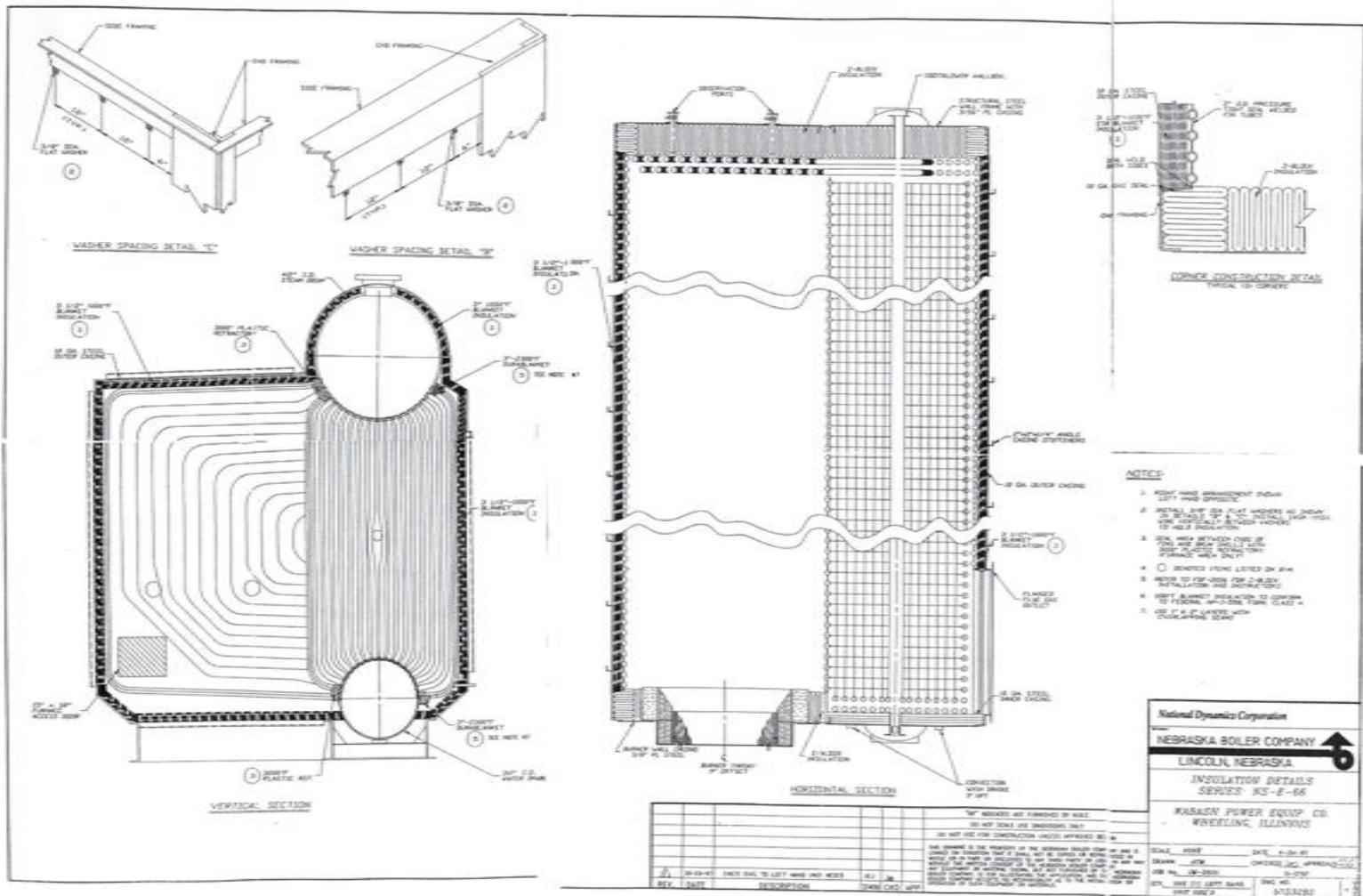
10. Promover eventos y actividades, así como proyectos demostrativos sobre la utilización de este recurso renovable.

## **BIBLIOGRAFÍA**

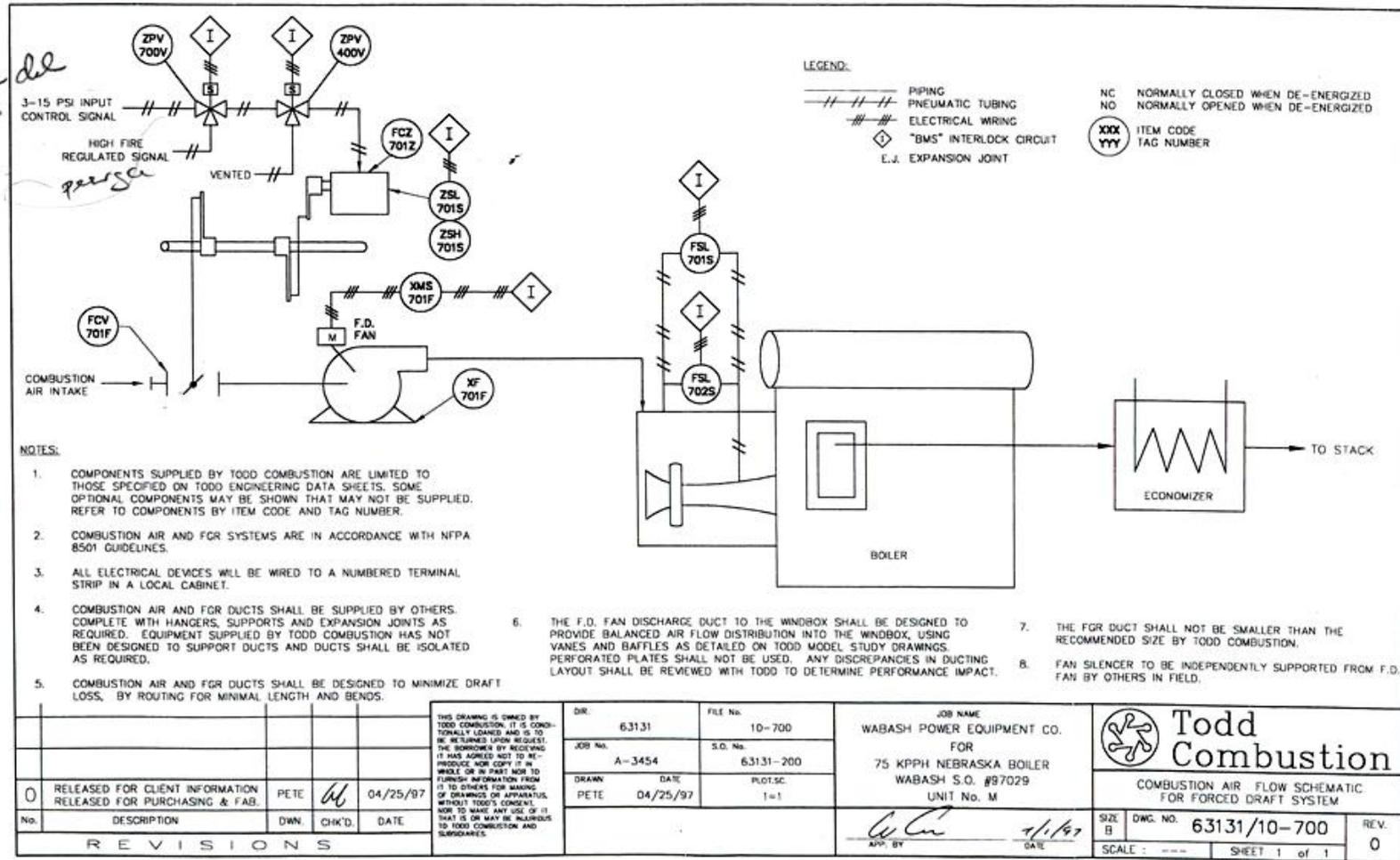
1. MAGAP (Ministerio de agricultura, ganadería, acuacultura y pesca), PILADORAS DE ARROZ, (<http://www.magap.gob.ec>), Noviembre 2010
2. EDIAGRO, Estudios y Diseños Agroindustriales, (<http://www.ediagro.com>), Marzo 2009
3. CALDEMA BRAZIL, Manual de operación para calderas de biomasa, (<https://www.caldema.com.br>), Enero 2009
4. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz, (<https://www.utp.edu.pe>), Diciembre de 2007.
5. BIOMASSIS POWER, Converting Rice – Hugs into Useful Energy, (<https://www.usabiomass.org>), Enero 2010.
6. Vaccaro Pablo, Generación de Vapor Industrial, (<https://www.ufro.cl>), Octubre 2010.
7. Miranda Juan José, Evaluación Económica y Social de Proyectos de Inversión, (<http://media.antioquia.vcb.com.co>), Mayo 2010
8. METROGAS, Costos de Generación de Vapor, (<https://www.metrogas.cl>), Febrero 2010.
9. Dr. Barriga Alfredo, Aprovechamiento térmico de biomasa, (<http://www.cdts.espol.edu.ec>), Septiembre 2008.
10. BUN-CA, Manual sobre Energías Renovables: BIOMASA, (<http://www.bun-ca.org>), Enero 2010

# ANEXO I

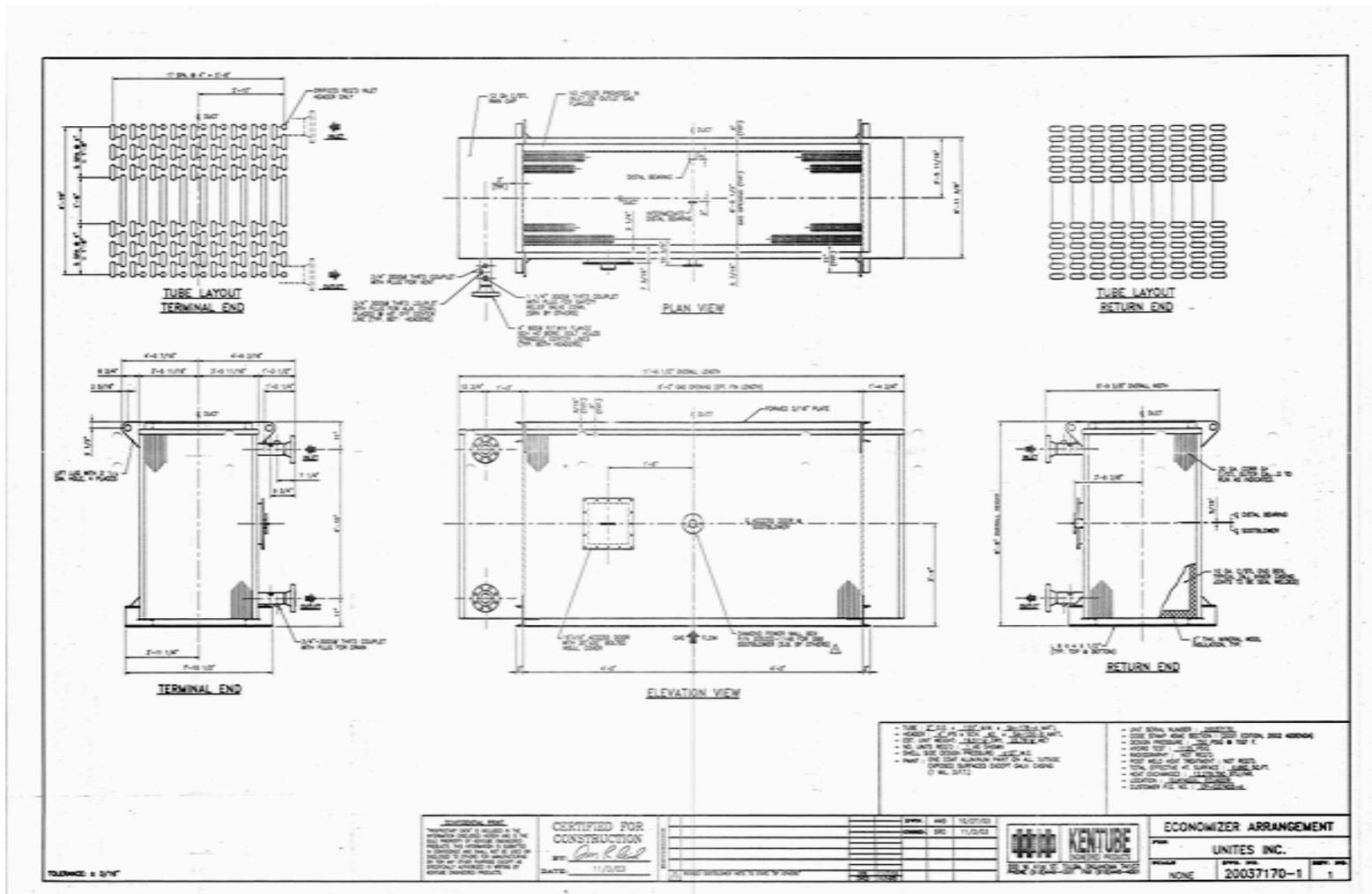
## ESTRUCTURA CALDERA ACUOTUBULAR PLANTA DE FUERZA PAPELERA NACIONAL



## DIAGRAMA ELECTRICO CALDERA PLANTA DE FUERZA PAPELERA NACIONAL



# ESTRUCTURA ECONOMIZADOR CALDERA PLANTA DE FUERZA PAPELERA NACIONAL



## ANEXO II

### OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE CALDERAS PAPELERA NACIONAL

Revision De Tubos De Caldera



Reemplazo De Tubos En Mal Estado De Caldera



Cambio De Tubos Realizado En Interior De La Caldera



## LIMPIEZA DE ECONOMIZADOR EN CALDERAS DE PAPELERA NACIONAL

Economizador desmontado de caldera



Cenizas y contaminación encontradas en el Economizador



## DESPUES DE OPERACIONES DE LIMPIEZA

Tubos, serpentín Economizador



## **ANEXO III**

### **CONTROL DE LAS OPERACIONES PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR CON CASCARILLA DE ARROZ**

#### **REGULACIÓN DE LA INCINERACIÓN**

En la regulación de la incineración de residuos se deben de tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Control de producción de calor en el horno
- Control de calidad de incineración
- Control de temperatura

El objetivo de una industria es procurar una producción constante de vapor. Esto se puede lograr al realizar un proceso de combustión eficiente, minimizando escorias y partículas volátiles y logrando que la combustión produzca la menor cantidad de residuos (especialmente CO, NO, SO<sub>2</sub>, etc).

Los desechos quemados son un combustible combinado, poseen un poder calorífico muy dispar, un porcentaje de humedad muy variable y unos componentes continuamente variables de sustancias de combustión. No todas lo tipos de combustión pueden ser medidos directamente y por tanto no se pueden utilizar directamente como variables controladas para limitar las variaciones que afectan en el quemado y producción de vapor y en consecuencia en la carga.

Se puede dividir el concepto de regulación en los siguientes grupos:

- Regulación de la carga del horno
- Regulación de la distribución de aire
- Suministro de oxígeno
- Combustión

### **REGULACIÓN DE LA CARGA DEL HORNO**

Básicamente en una caldera de bioamasa también se debe mantener constante una carga ajustada (cantidad de vapor), mediante la regulación de combustible (residuos).

La temperatura extrema del horno debe considerarse como la variable dinámica de más rápida reacción para la energía térmica generada. De acuerdo con las imposiciones legales, esta temperatura debe mantenerse a un nivel determinado, independientemente de la carga (carga de residuos) de que se trate.

Por eso la regulación de la carga del horno consta de:

- ***Regulador de carga:*** La cantidad de vapor es una variable del control para el regulador de carga.

- ***Regulador del Horno:*** La señal de salida del regulador de carga constituye la señal de partida para el regulador del horno. Este recibe la temperatura del horno, como

variable de control superior. La señal de salida del regulador del horno actúa paralelamente con los reguladores dependientes, para:

- Alimentación de residuos.
- Cantidades de aire primario
- Cantidades de aire secundario

***Regulador de alimentación de residuos:*** El control de potencia de incineración se realiza alterando la velocidad de alimentación de residuos. El regulador de alimentación de residuos tiene como variable de control la señal de salida del regulador del horno.

## **REGULACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE AIRE**

La regulación de la distribución de aire es el control de la relación entre combustible y aire de suministro. El aire se divide en aire primario predestinado para la cámara de combustión y aire secundario para la etapa de precalentamiento del agua.

- ***Regulación de aire primario:*** El aire primario es dividido en el horno incinerador en varias zonas. Las cantidades de aire primario se modifican en función del valor del regulador de potencia del horno.

- **Regulación de aire secundario:** Este regulador sirve para controlar el aire precalentado a inyectar en la segunda zona del hogar. Midiendo la composición de los gases a la salida del horno, se determinará si es necesario incrementar el ingreso de aire secundario para lograr que la combustión de los residuos sea completa y así reducir el volumen de emisiones no deseadas a los límites legalmente establecidos.

## **SUMINISTRO DE OXÍGENO**

El contenido de  $O_2$  se mide al final de la caldera y es comparado con un valor teórico que puede ser ajustado. Una ligera variación incide en los reguladores de aire primario y secundario.

## **COMBUSTIÓN**

Los parámetros que regulan el proceso de combustión son:

- **Temperatura del lecho:** Se puede reducir la temperatura con agua pulverizada y se puede incrementar a través de los quemadores en el lecho. Sin embargo, un hogar de lecho fluidizado circulante es caracterizado por mantener una temperatura desde 850 hasta 875 grados Celsius.

- ***Temperatura de la parte alta del horno:*** La parte alta debe tener sus propios pulverizadores de agua y quemadores. Se emplean igualmente sólo en caso de emergencia.
- ***Emisión de CO:*** Se regula a través del brillo de llama en la caldera, supervisado por una cámara infrarroja ubicada en la parte superior del horno. Cuando se incrementa la combustión, la cámara detecta un aumento del brillo y se produce una redirección de parte del aire primario a la salida de aire secundario. Se disminuye así el aire en el lecho y en cambio el aire secundario suministra oxígeno suficiente para quemar el incremento momentáneo en la combustión sin emisiones exageradas de CO. El aire adicional produce un aumento instantáneo de la presión que provoca el cierre de la válvula de by-pass y el fin de esta acción de control.

## **REGULACIÓN DE LA CALDERA**

- **Caudal De Vapor.**-El flujo de vapor que proviene de la caldera se ajusta controladamente para entregar el caudal de vapor preestablecido. La regulación establece el régimen de combustión del hogar según el flujo de vapor ajustado.

- **Presión:** La presión del vapor en la salida del sobrecalentador se mantiene constante sea cual fuere el caudal de vapor, mediante válvulas de control del vapor a la entrada de la turbina
- **Nivel de Agua.-**El nivel de agua que ingresa a la caldera se controla mediante la acción sobre tres variables las cuales son: Caudal de agua de alimentación, Caudal de vapor y Nivel de agua en el calderín. Los valores tomados dan lugar a una señal de control que opera sobre la válvula de control de agua de alimentación. El calderín está equipado con 2 dispositivos de control de nivel de agua independientes y de acción directa. El primero suministra una señal de alarma solamente para el primer nivel bajo de agua y para el primer nivel alto de agua. El segundo provee una alarma independiente para el segundo nivel bajo de agua e inicia una secuencia de parada del proceso de combustión. Suministra también una alarma independiente para el segundo nivel alto de agua e inicia la parada de la bomba de alimentación a la caldera. Se instalarán válvulas de seguridad en el calderín y en la salida del sobrecalentador. El conjunto de la caldera incluye todas las válvulas necesarias, así como indicadores de lectura directa, transmisores y drenajes para un funcionamiento seguro de la misma.

- **Regulación Del Nivel De Agua En El Calderín.-** La variable a controlar es el nivel de agua en el calderín. La función reguladora se configura como regulación de tres variables. Las variables auxiliares para regular son el caudal de agua de alimentación y el caudal de vapor. Estas dos cantidades se comparan entre ellas y son enviadas al regulador de nivel.

La variable de control es el caudal de agua de alimentación, que se regula por medio de una válvula de control.

- **Regulación De La Temperatura De Vapor.-** La variable a controlar es la temperatura después del sobrecalentador. La caldera dispone de un atemperador intermedio de vapor situado entre la primera y segunda sección del sobrecalentador.

La variable de control es la cantidad de agua de inyección y el órgano de ajuste es la válvula de control del agua de inyección.

## **ANEXO IV**

### **TEXTO DEL ART. 12 DEL PROTOCOLO DE KYOTO**

#### **ARTÍCULO 12**

1. Por el presente se define un mecanismo para un desarrollo limpio.
  
2. El propósito del mecanismo para un desarrollo limpio es ayudar a las Partes no incluidas en el anexo I a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, así como ayudar a las Partes incluidas en el anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del artículo 3.
  
3. En el marco del mecanismo para un desarrollo limpio:
  - a. Las Partes no incluidas en el anexo I se beneficiarán de las actividades de proyectos que tengan por resultado reducciones certificadas de las emisiones; y
  
  - b. Las Partes incluidas en el anexo I podrán utilizar las reducciones certificadas de emisiones resultantes de esas actividades de proyectos

para contribuir al cumplimiento de una parte de sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del artículo 3, conforme lo determine la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo.

4. El mecanismo para un desarrollo limpio estará sujeto a la autoridad y la dirección de la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo y a la supervisión de una junta ejecutiva del mecanismo para un desarrollo limpio.
5. La reducción de emisiones resultante de cada actividad de proyecto deberá ser certificada por las entidades operacionales que designe la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo sobre la base de:
  - a. La participación voluntaria acordada por cada Parte participante;
  - b. Unos beneficios reales, mensurables y a largo plazo en relación con la mitigación del cambio climático; y
  - c. Reducciones de las emisiones que sean adicionales a las que se producirían en ausencia de la actividad de proyecto certificada.
6. El mecanismo para un desarrollo limpio ayudará según sea necesario a organizar la financiación de actividades de proyectos certificadas.

7. La Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente.
8. Protocolo en su primer período de sesiones deberá establecer las modalidades y procedimientos que permitan asegurar la transparencia, la eficiencia y la rendición de cuentas por medio de una auditoría y la verificación independiente de las actividades de proyectos.
9. La Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo se asegurará de que una parte de los fondos procedentes de las actividades de proyectos certificadas se utilice para cubrir los gastos administrativos y ayudar a las Partes que son países en desarrollo particularmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático a hacer frente a los costos de la adaptación.
10. Podrán participar en el mecanismo para un desarrollo limpio, en particular en las actividades mencionadas en el inciso a) del párrafo 3 supra y en la adquisición de unidades certificadas de reducción de emisiones, entidades privadas o públicas, y esa participación quedará sujeta a las directrices que imparta la junta ejecutiva del mecanismo para un desarrollo limpio.

11. Las reducciones certificadas de emisiones que se obtengan en el período comprendido entre el año 2000 y el comienzo del primer período de compromiso podrán utilizarse para contribuir al cumplimiento en el primer período de compromiso.