



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# **VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

**CENTRO DE POSGRADOS  
MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES  
PROMOCIÓN I**

**TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
MAGISTER EN ENERGÍAS RENOVABLES**



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**TEMA:**  
**ADECUACIÓN Y MONTAJE DE LA LÍNEA DE  
COMBUSTIÓN DE BIOMASA PARA LA  
CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL  
PENNISSETUM CLANDESTINUM**

**AUTORES: JAIME ENRIQUE AYALA JÁCOME  
EDGAR RODRIGO CABRERA CUENCA**

**DIRECTOR: PHD. ALFREDO BARRIGA RIVERA**

**SANGOLQUÍ, 2016**

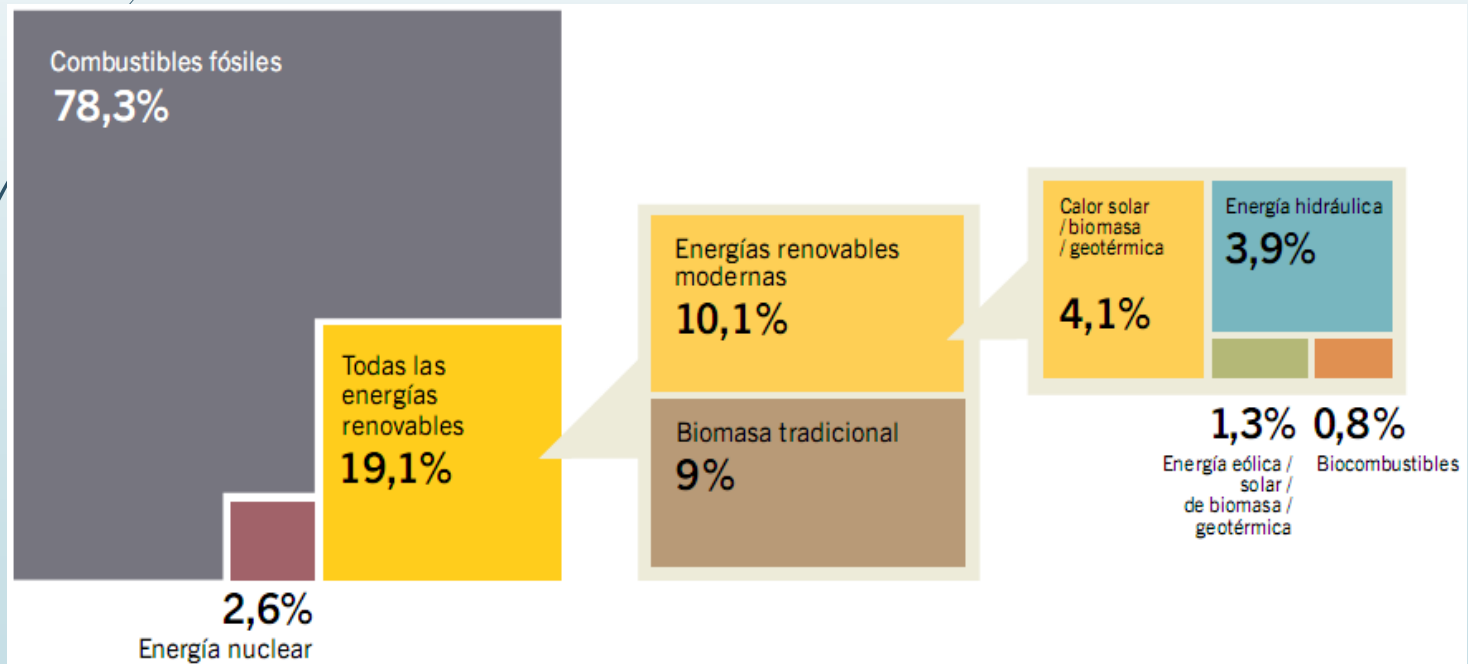


# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## INTRODUCCIÓN

La biomasa tiene carácter de energía renovable ya que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Ésta energía se libera al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión.



Fuente: Agencia Internacional de Energías Renovables IRENA, 2015, Reporte de la situación mundial de las energías renovables.

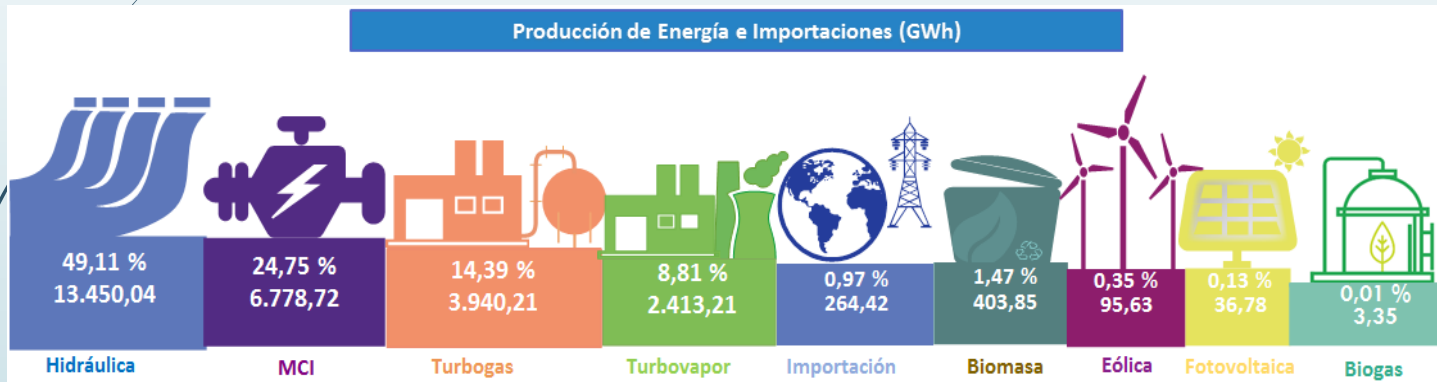


# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el uso de biomasa en la producción de energía es muy pequeña , esto es, el 1.47% de acuerdo al informe de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad ARCONEL (2016).



Fuente: Agencia Internacional de Energías Renovables IRENA, 2015, Reporte de la situación mundial de las energías renovables.



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Objetivo general

Realizar la adecuación y montaje de la línea de combustión de biomasa en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para la caracterización energética del Pennisetum Clandestinum.



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## METODOLOGÍA

- **Es una investigación de tipo Laboratorio y también de Estudios Exploratorios, puesto que por ser la primera vez se realiza este tipo de investigación sobre la caracterización energética del Pennisetum Clandestinum en nuestro país.**
- **Se emplea el método de Estudios Descriptivos, ya que se relatan los hechos en base a los datos obtenidos.**
- **Finalmente se aplica el método Deductivo, puesto que una vez realizadas las pruebas en el Laboratorio y la tabulación de datos se realizan los cálculos que nos permitieron determinar el valor del calor específico del Pennisetum Clandestinum para los tres escenarios.**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

- **Se utilizó la técnica de Observación directa, estructurada, participativa y colectiva.**
- **Se realizaron observaciones de campo y de laboratorio.**
- **Por ser una investigación científica fue consciente para alcanzar el objetivo propuesto, sistemática, planificada y objetiva sin influir en lo observado y en lo registrado.**
- **Nos apoyamos en instrumentos de medición como sensores de temperatura, de humedad, de velocidad del viento, multímetro, balanza digital etc que nos permitieron recoger con mayor objetividad la información.**
- **Los datos fueron comprobados y ratificados por medio de la repetición cuando lo creímos conveniente.**



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

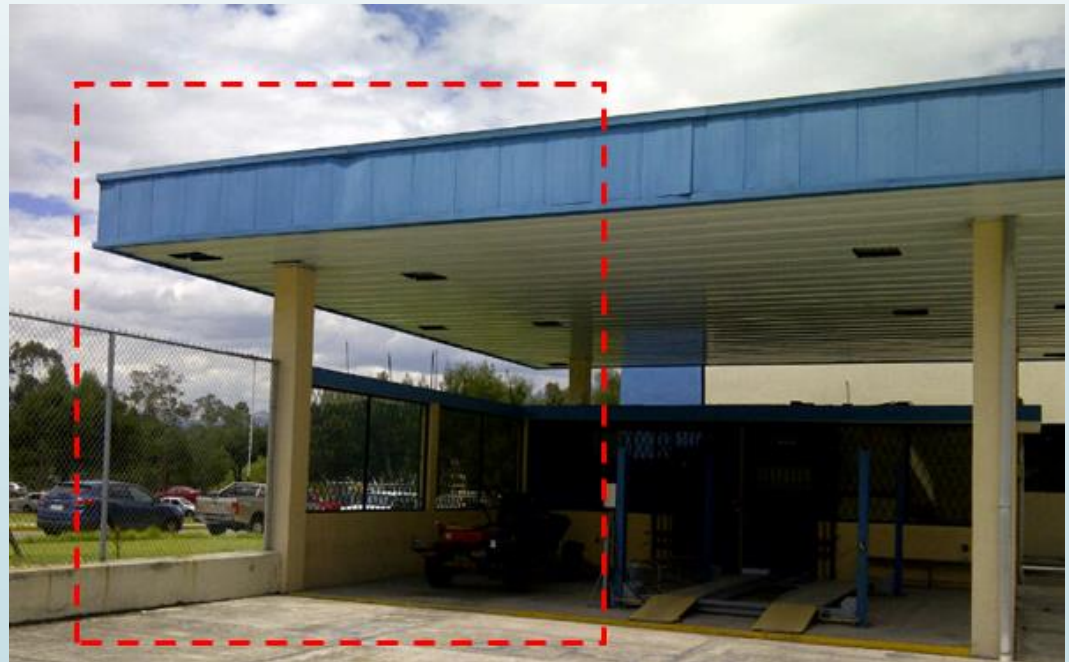
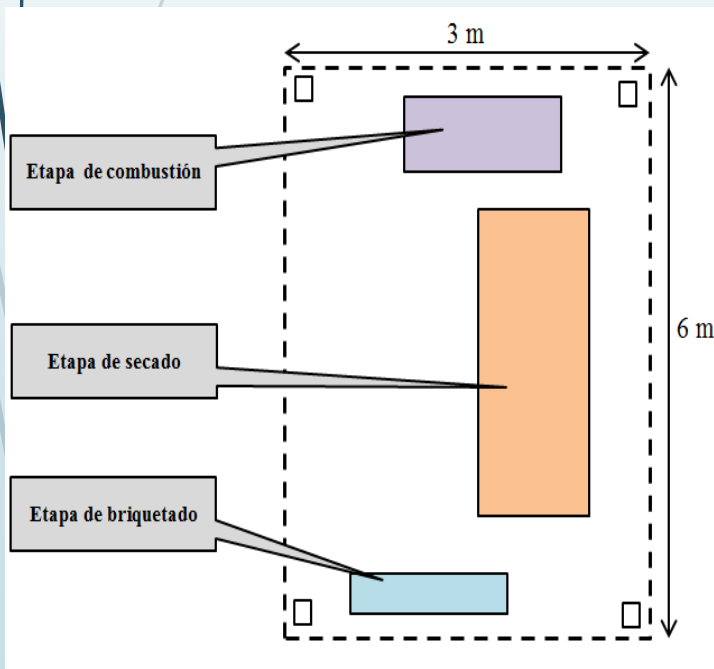




**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Adecuación y Montaje de la línea de combustión de biomasa

## Designación del sitio

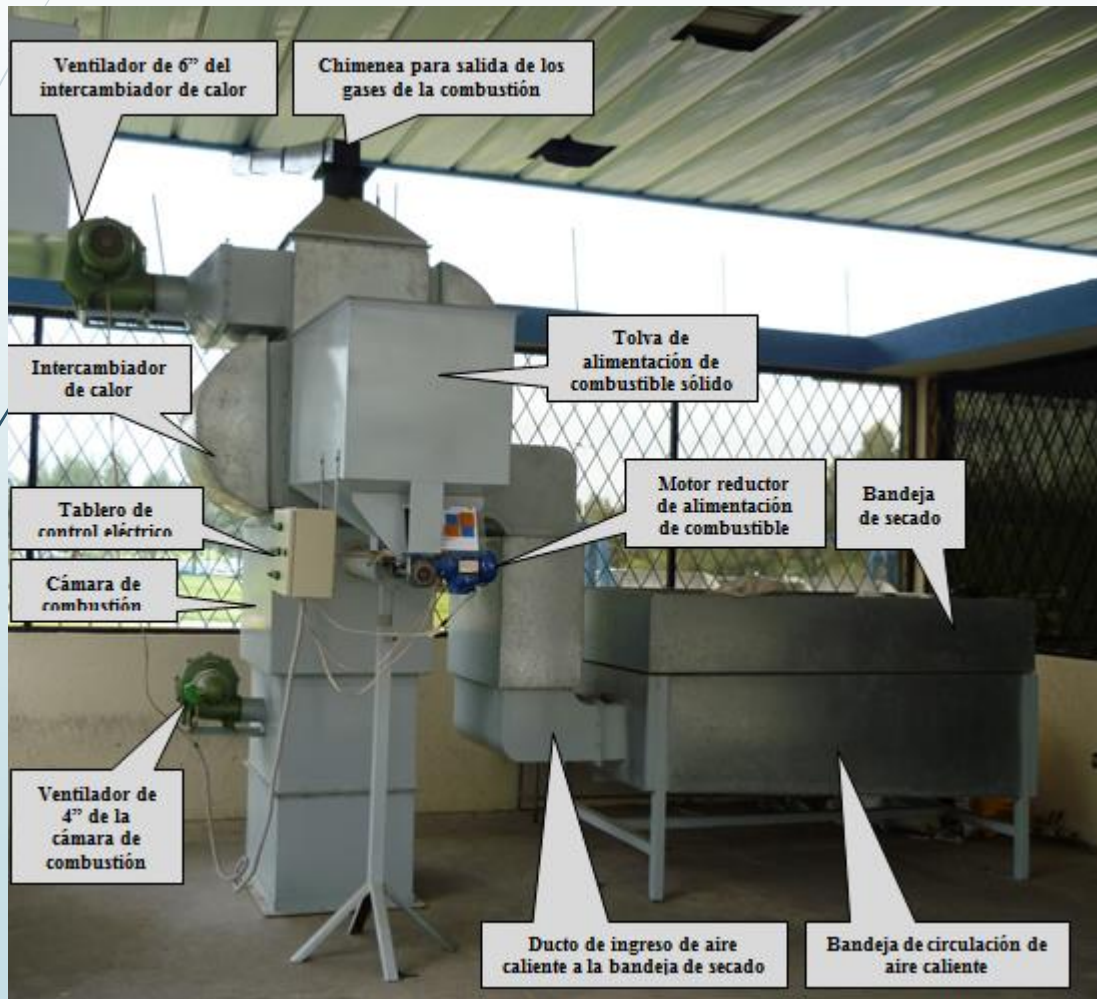




# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Secadora de biomasa



**Características:**

**Capacidad 20 Kg por tanda de secado.**

**Consumo de combustible 2 Kg/h.**

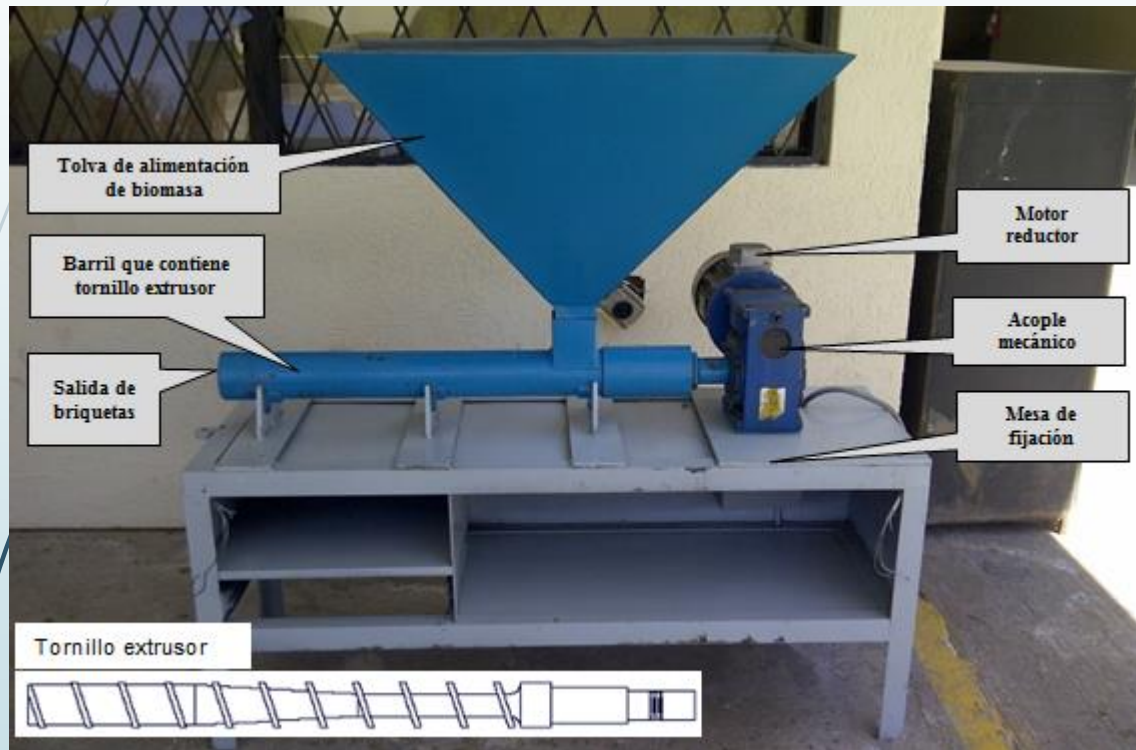
**Temperatura de gases de salida 173°C.**

**Potencia 7 KW/h**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Briquetadora



**Características:**

**Tornillo extrusor de 63 mm.**

**Capacidad de briquetado 100 Kg/h.**

**Potencia consumida 22.35 KWh**

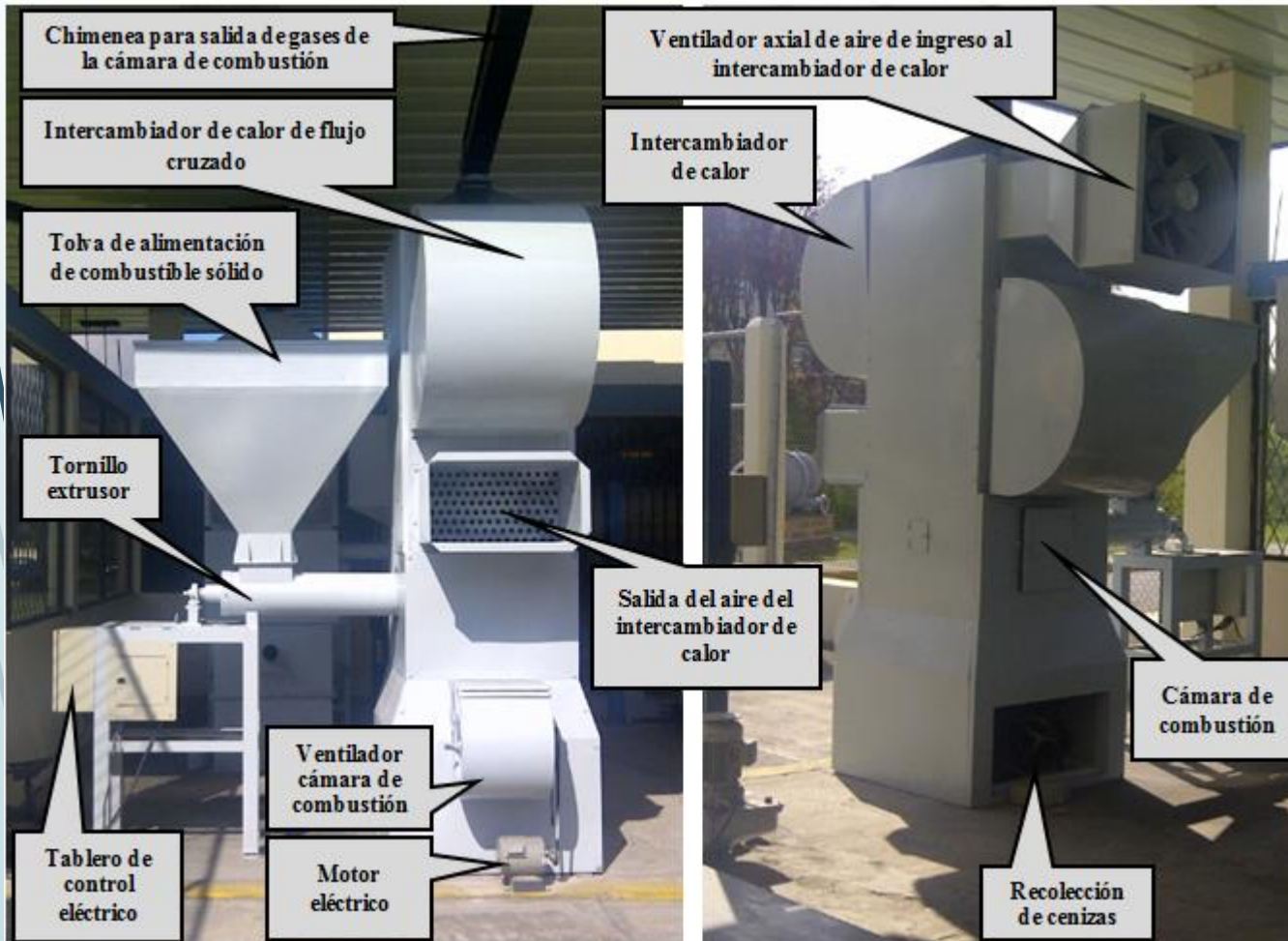




# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Horno de combustión



**Características:**

**Capacidad 60.000 Kcal/h.**

**Temperatura de combustión 850°C**

**Fabricado en ladrillo refractario.**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Línea de combustión de biomasa





# Pennisetum Clandestinum

## Composición química y mineral del Pennisetum Clandestinum

Componente químico	% de la Masa Seca
Proteína Cruda (PC)	20,50
Extracto Etéreos (EE)	3,63
Cenizas (Cen)	10,60
Fibras en Detergente Neutros (FDN)	
• Hemicelulosa (26,20%)	
• Celulosa (26,90%)	58,10
• Lignina (5,88%)	
Fibras en Detergente Acidos (FDA)	30,30
Carbohidratos No Estructurados (CNE)	13,40
Componente mineral	% de la Masa Seca
Fósforo (P)	0,46
Calcio (Ca)	0,32
Magnesio (Mg)	0,30
Potasio (K)	3,69
Azufre (S)	0,20
Hidrógeno (H)	4,60
Carbono (C)	33,30
Oxígeno (O)	20,10
Nitrógeno (N)	0,40

Fuente: (Correa, Carulla, & Pabón, 2008)

## Taxonomía del Pennisetum Clandestinum

Parámetro	Taxonomía
Reino	Vegetal
Clase	Angiosperma
Subclase	Monocotiledónea
Familia	Gramínea
Género	Pennisetum
Género	Clandestinum





## Pennisetum Clandestinum

### Poder calórico inferior del Pennisetum Clandestinum

Contenido de humedad %h	PCI Kcal/Kg
22	2335,65
18	2486,19
14	2636,74
12	2712,01
10	2787,29
8	2862,56
6	2937,83
4	3013,10
2	3088,38
0 (en base seca)	3163,65

$$PCS = \frac{8100.\%C + 34000.\left(\%H - \frac{\%O}{8}\right) + 2500.\%S}{100}$$

$$Q_{H2O} = \frac{9.\%H.600}{100}$$

$$PCI(0\%) = PCS - Q_{H2O}$$

$$PCI(h\%) = PCI(0\%).\left(1 - \frac{h\%}{100}\right) - \frac{h\%}{100} \cdot 600$$

$$PCS = 3412,05 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$Q_{H2O} = 248,40 \frac{Kcal}{Kg}$$

$PCI(0\%)$ , es el calor de evaporación del agua de constitución en base seca

$Q_{H2O}$ , es el poder calor de evaporación del agua de constitución.





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Proceso de secado

**Parámetros del secado en estado granulado**

Parámetro	Valor	Unidad
%h	76,64	%
%h'	327,99	%
$\Delta_t$	6	horas
$\dot{m}_c$	0,798	Kilogramo/hora
$M_H$	20,49	Kilogramo
$M_S$	4,787	Kilogramo
$X_{wi}$	76,64	%
$X_{wf}$	3,28	%
$\Delta_W$	15,54	Kilogramo

**Parámetros del secado en estado compactado**

Parámetro	Valor	Unidad
%h	74,10	%
%h'	286,32	%
$\Delta_t$	6	horas
$\dot{m}_c$	0,897	Kilogramo/hora
$M_H$	20,77	Kilogramo
$M_S$	5,380	Kilogramo
$X_{wi}$	74,10	%
$X_{wf}$	2,86	%
$\Delta_W$	15,23	Kilogramo

$$\%h = \frac{W_{\text{materia a secar}} - W_{\text{materia seca}}}{W_{\text{materia a secar}}} \cdot 100$$

$$\%h' = \frac{W_{\text{materia a secar}} - W_{\text{materia seca}}}{W_{\text{materia seca}}} \cdot 100$$

$$X_{wi} = \%h$$

$$M_S = M_H \cdot \left( \frac{100 - X_{wi}}{100} \right)$$

$$\dot{m}_c = \frac{M_S}{\Delta_t}$$

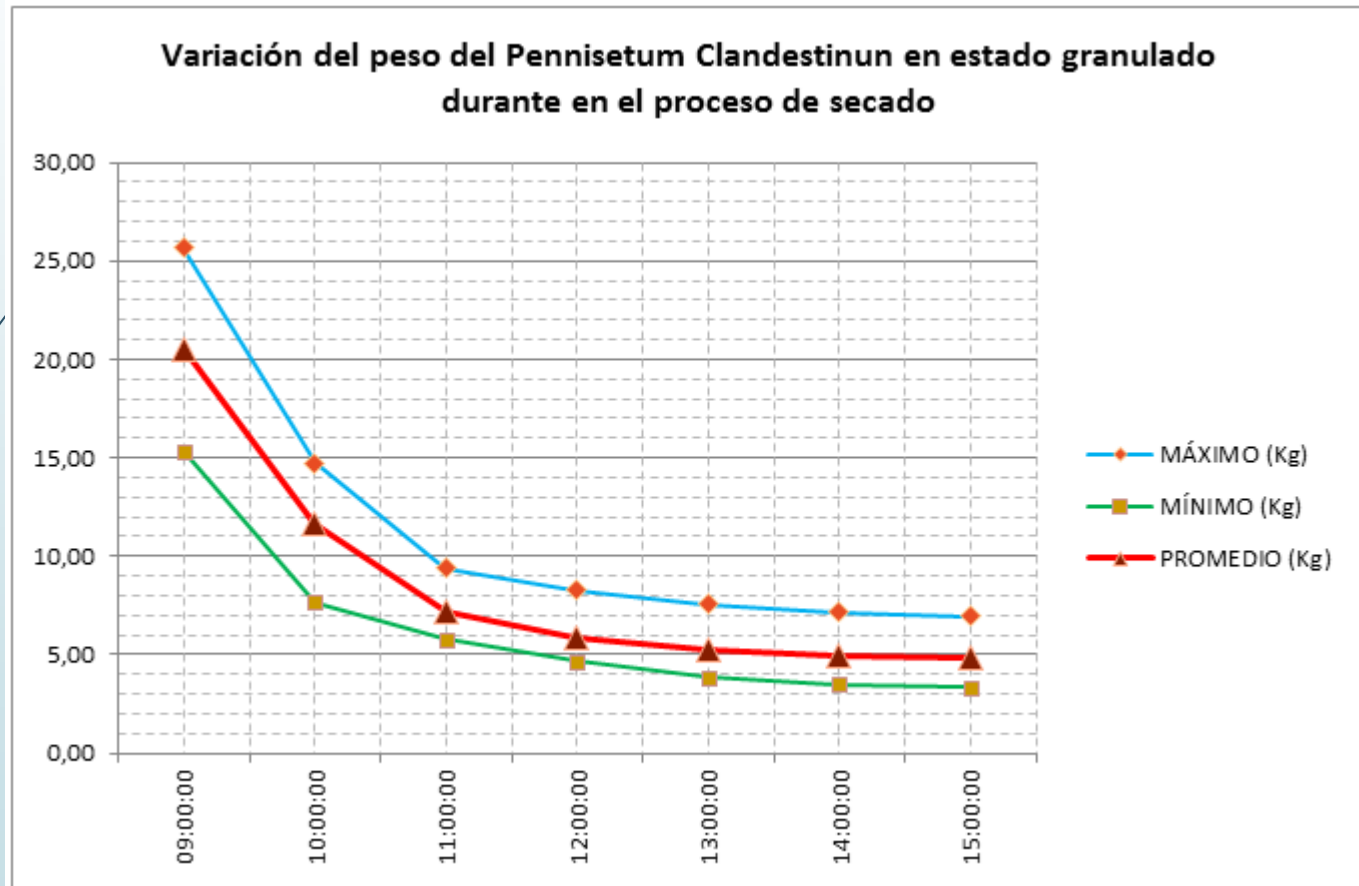
$$X_{wf} = \frac{X_{wi}}{100 - X_{wi}}$$

$$\Delta_W = M_S \cdot \left( \frac{X_{wi}}{100 - X_{wi}} - \frac{X_{wf}}{100 - X_{wf}} \right)$$



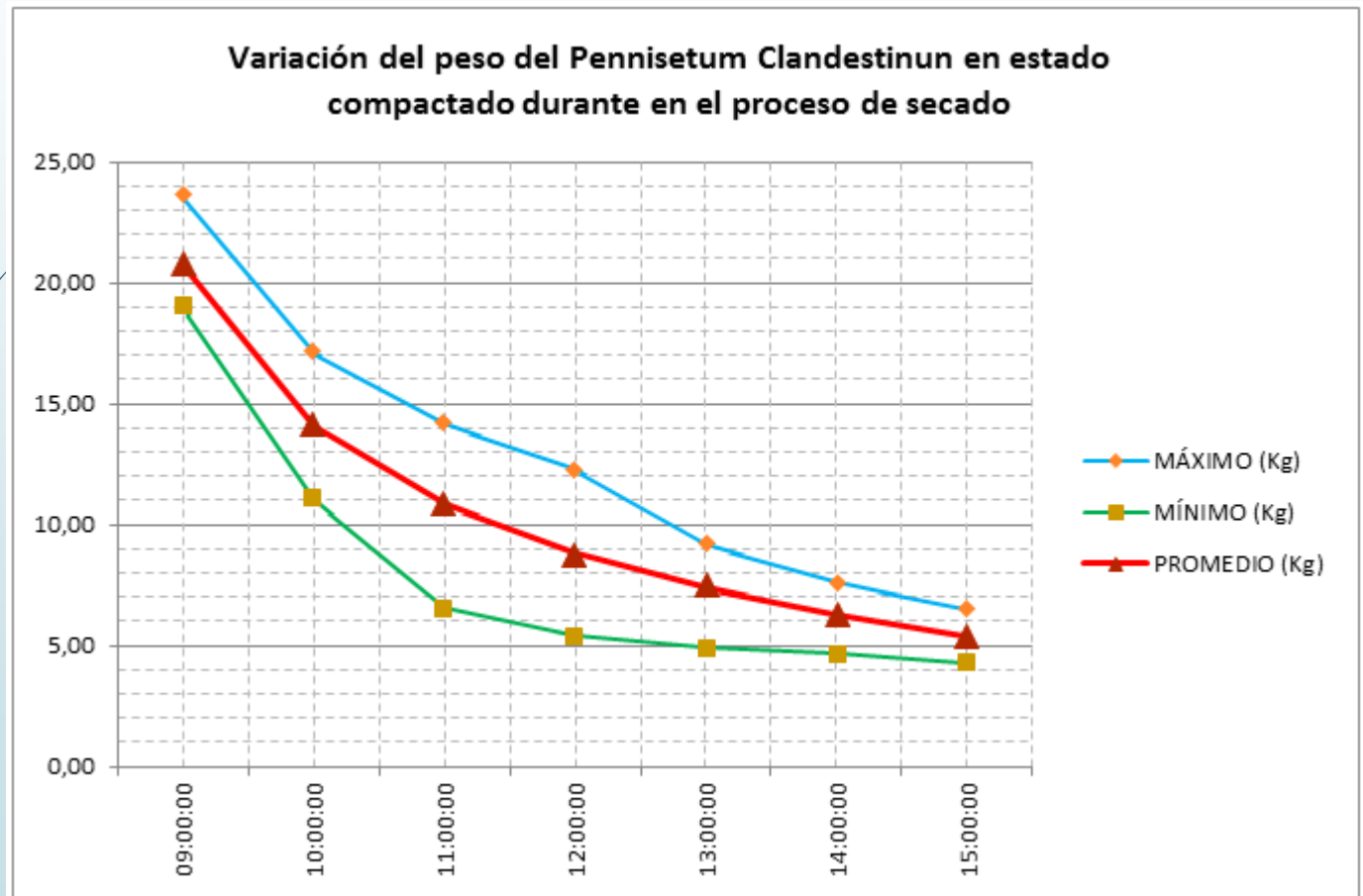


## Proceso de secado



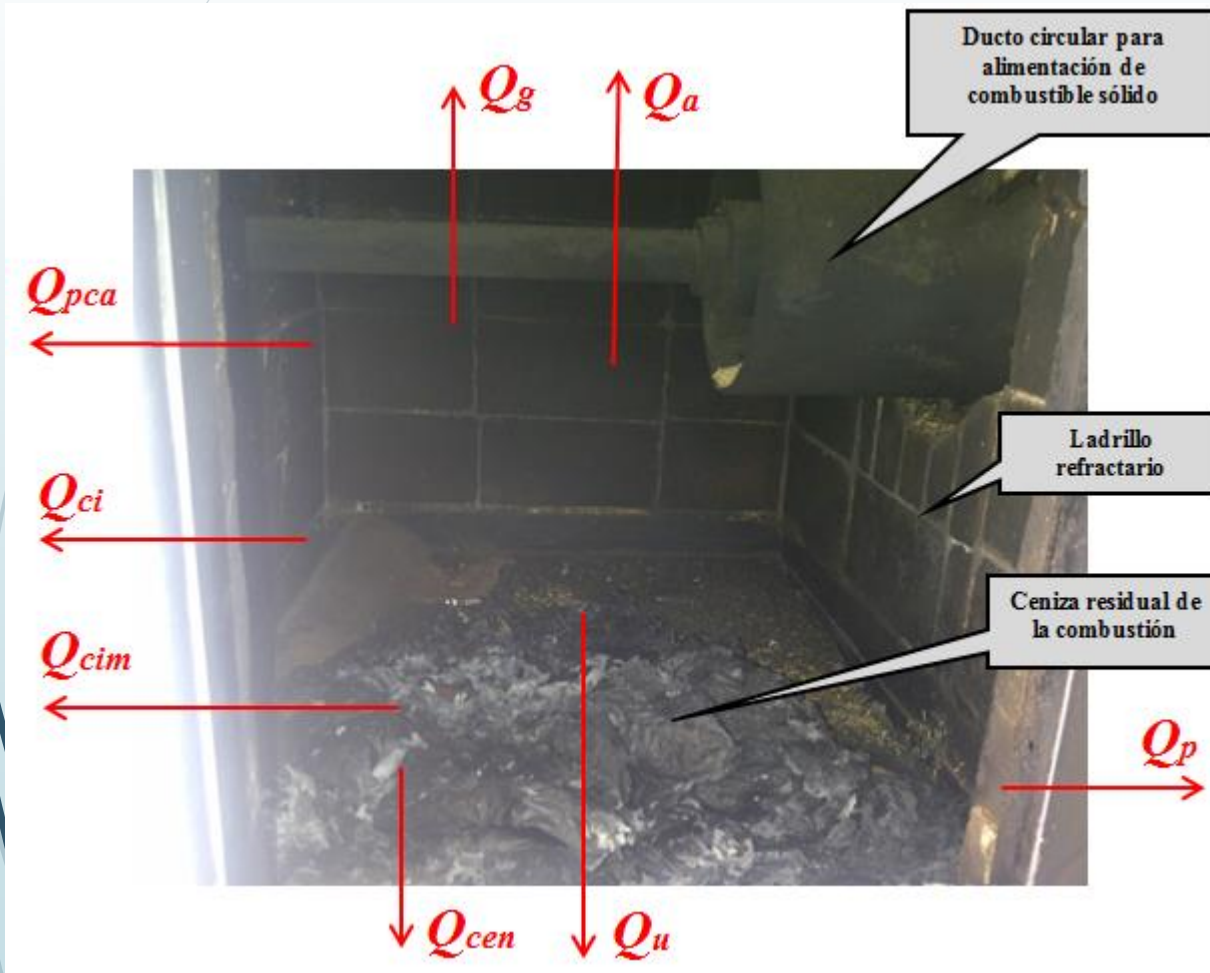


## Proceso de secado





## Proceso de combustión



$Q_p$ , es el calor perdido en las paredes de la cámara de combustión.

$Q_u$ , es el calor útil de la cámara de combustión.

$Q_a$ , es el calor almacenado en la cámara de combustión.

$Q_g$ , es el calor perdido por los gases de la combustión.

$Q_{cen}$ , es el calor perdido en las cenizas residuales producto de la combustión.

$Q_{cim}$ , es el calor perdido por la combustión imperfecta mecánica.

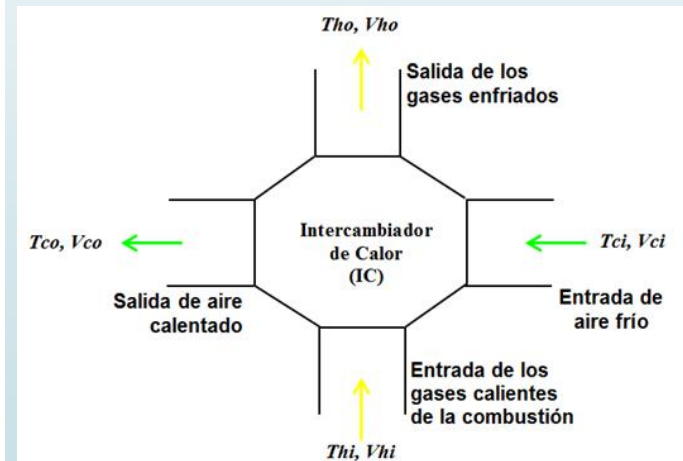
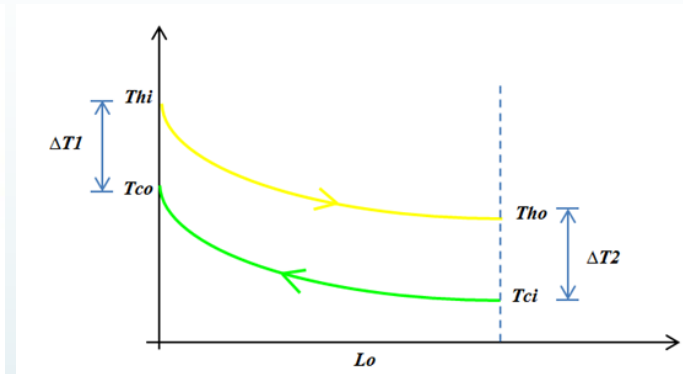
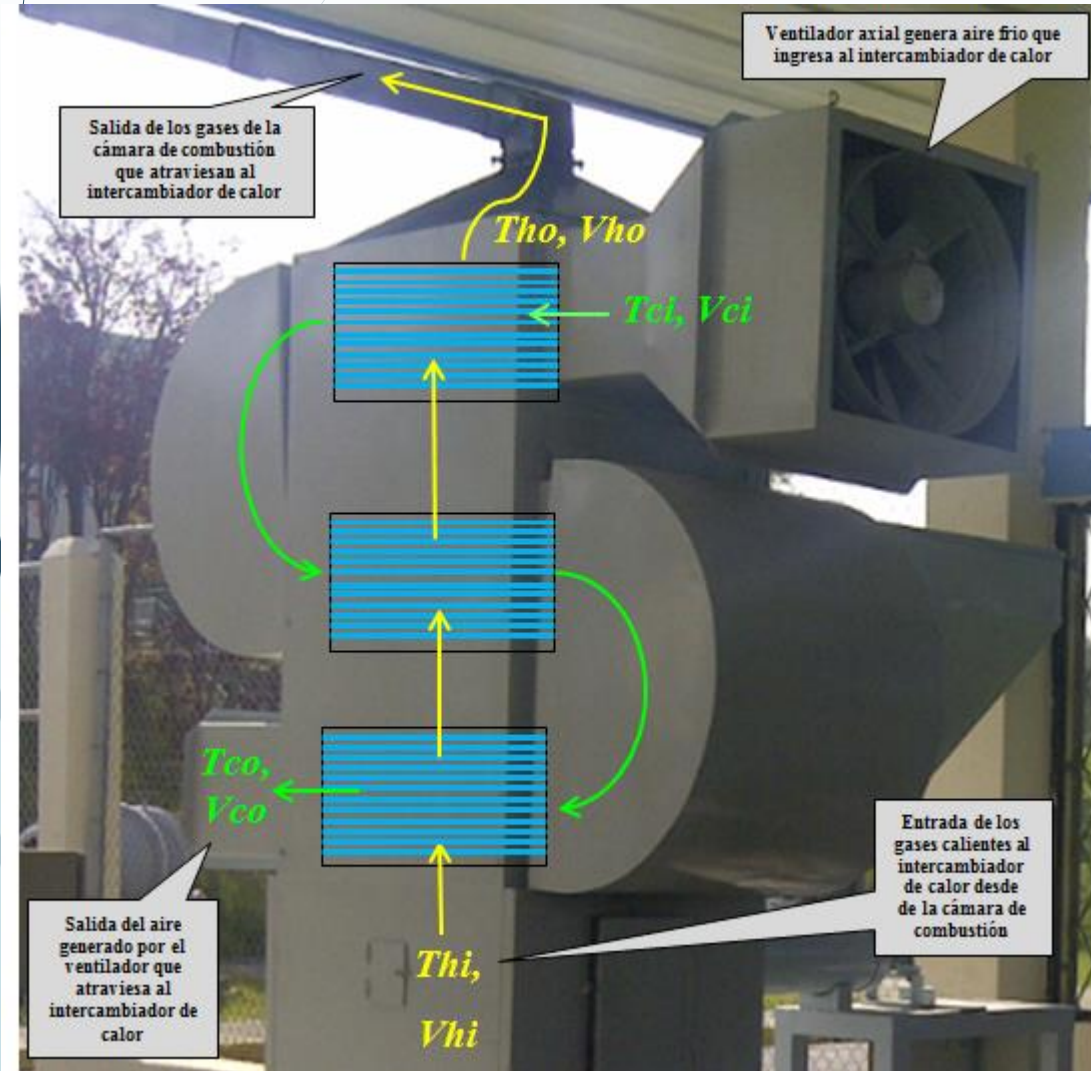
$Q_{ci}$ , es el calor perdido por la combustión incompleta.

$Q_{pca}$ , es el calor perdido por los cambios de aire en la cámara de combustión.



# ESPE

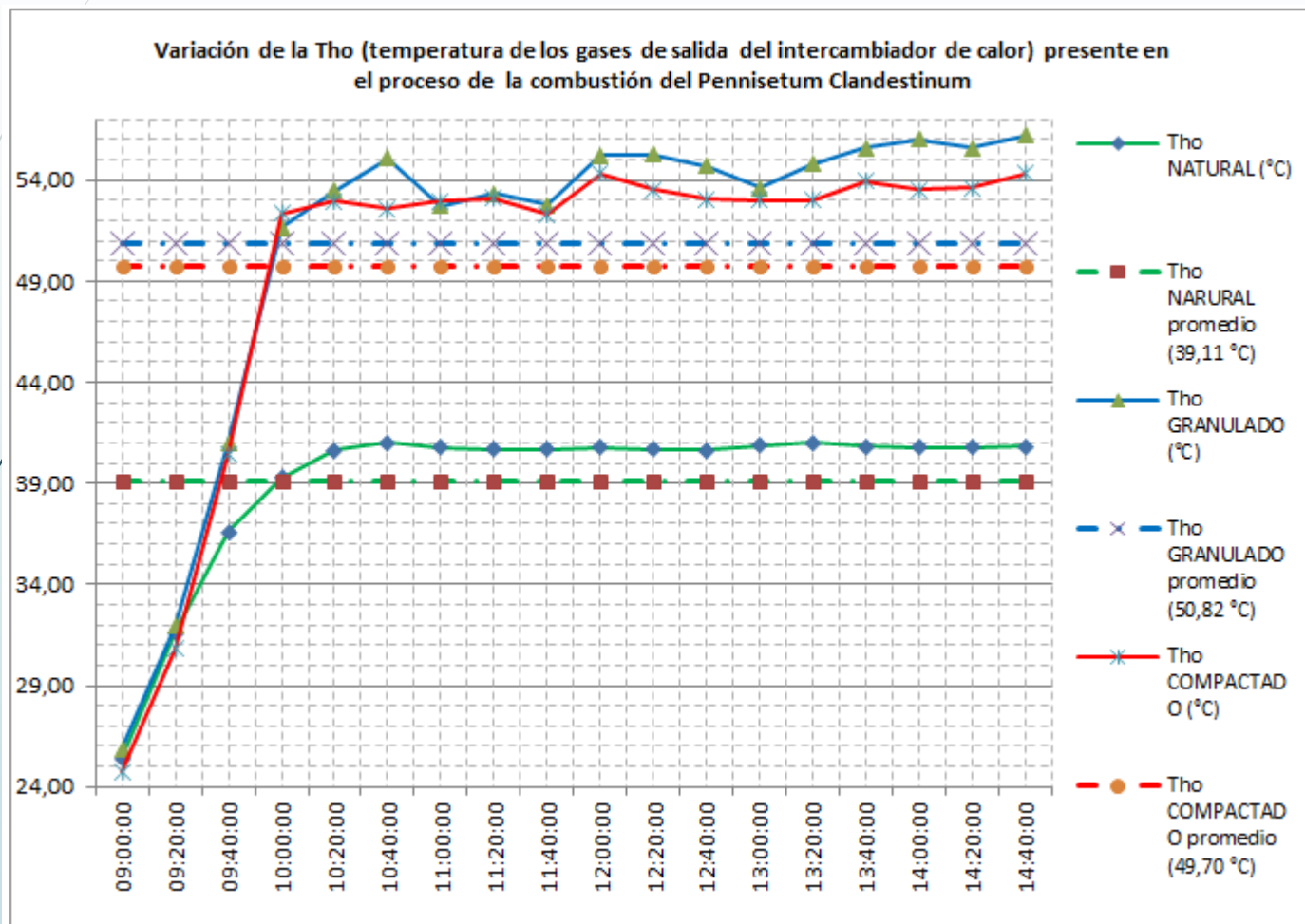
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Para el caso experimental se eliminan los datos registrados entre las 9:00 y 10:00, considerando que la cámara de combustión se encuentra en calentamiento, a partir de las 10:20 el proceso de combustión se encuentra en un régimen estable de operación.



## Proceso de combustión

### Calores de las reacciones por estado de combustión

Parámetro	Estado de combustión		
	Natural	Granulado	Compactado
<i>% humedad (<math>X_w</math>)</i>	76,64 %	3,28 %	2,86 %
<i>Masa quemada</i>	4,73 Kg/h	5,82 Kg/h	4,66 Kg/h
<i>Q<sub>p</sub></i>	892,69 Wh	1178,62 Wh	1177,01 Wh
<i>Q<sub>u</sub></i>	4166,85 Wh	8174,86 Wh	8081,91 Wh
<i>Q<sub>a</sub></i>	2622,86 Wh	4991,96 Wh	4085,34 Wh
<i>Q<sub>g</sub></i>	136,74 Wh	134,82 Wh	134,16 Wh
<i>Q<sub>cen</sub></i>	38,804 Wh	69,764 Wh	85,595 Wh
<i>Q<sub>cim</sub></i>	65,596 Wh	65,596 Wh	65,596 Wh
<i>Q<sub>ci</sub></i>	409,22 Wh	988,78 Wh	988,78 Wh
<i>Q<sub>pca</sub></i>	37,857 Wh	77,458 Wh	72,427 Wh
<i>Q reacción</i>	8370,617 Wh	15681,858 Wh	14690,818 Wh
<i>Q reacción normalizado a 4,73 Kg/h</i>	8370,617 Wh	12744,877 Wh	14911,49 Wh
<i>% Q reacción normalizado a 4,73 Kg/h</i>	<b>100%</b>	<b>152,25%</b>	<b>178,14%</b>

1 Kcal = 4187 J

1 kWh =  $3,6 \cdot 10^6$  J





**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## CONCLUSIONES

- Con un tiempo de secado de seis horas el porcentaje de humedad final del Pennisetum Clandestinum es menor al 12%, considerando que en su estado inicial el porcentaje de humedad es superior al 60%.
- El calor de reacción generado en estado granulado es 152,27% mayor en comparación con el calor de reacción generado en estado natural.
- El calor de reacción generado en estado compactado es 178,15% mayor en comparación con el calor de reacción generado en estado natural.
- El Poder Calorífico Superior del Pennisetum Clandestinum (3412,05 Kcal/Kg) es mayor que el Poder Calorífico Superior de la cascarilla de arroz (3183 Kcal/Kg) y menor que el Poder Calorífico Superior (4500 - 5300 Kcal/Kg) de la madera, por lo tanto tiene las condiciones de un combustible biomásico.
- Su aplicación práctica de este combustible sólido es para producir el confort térmico de hogares.





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## RECOMENDACIONES

- **Aplicar los procedimientos operacionales elaborados para cada etapa de la línea de combustión de biomasa.**
- **Antes de iniciar la lectura de parámetros en la cámara de combustión, previamente debe calentarse el horno hasta la temperatura de las paredes laterales estén en el rango de 120 °C – 200 °C, es decir, en estado estable.**
- **Implementar una red de centros de acopio en la región interandina del pasto Kikuyo, para luego transportarlo, consolidarlo y utilizarlo como combustible biomásico.**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## **AGRADECIMIENTOS**

- **A Dios por permitirnos estar aquí.**
- **A la ESPE por brindarnos la oportunidad de terminar la Maestría.**
- **A nuestras familias por estar ahí apoyándonos en todos los momentos.**
- **A cada uno de los docentes que aportaron a nuestra formación**

**MIL GRACIAS**

