

# Mejora en la eficiencia y en el consumo de biomasa de los hornos para secado del café

**Ing. EMMANUEL MONTERO GÓMEZ**

**Unidad de Industrialización - ICAFE**

**Ing. OSCAR CASTRO SERRANO**

**Beneficio Rio Negro - Cattica**

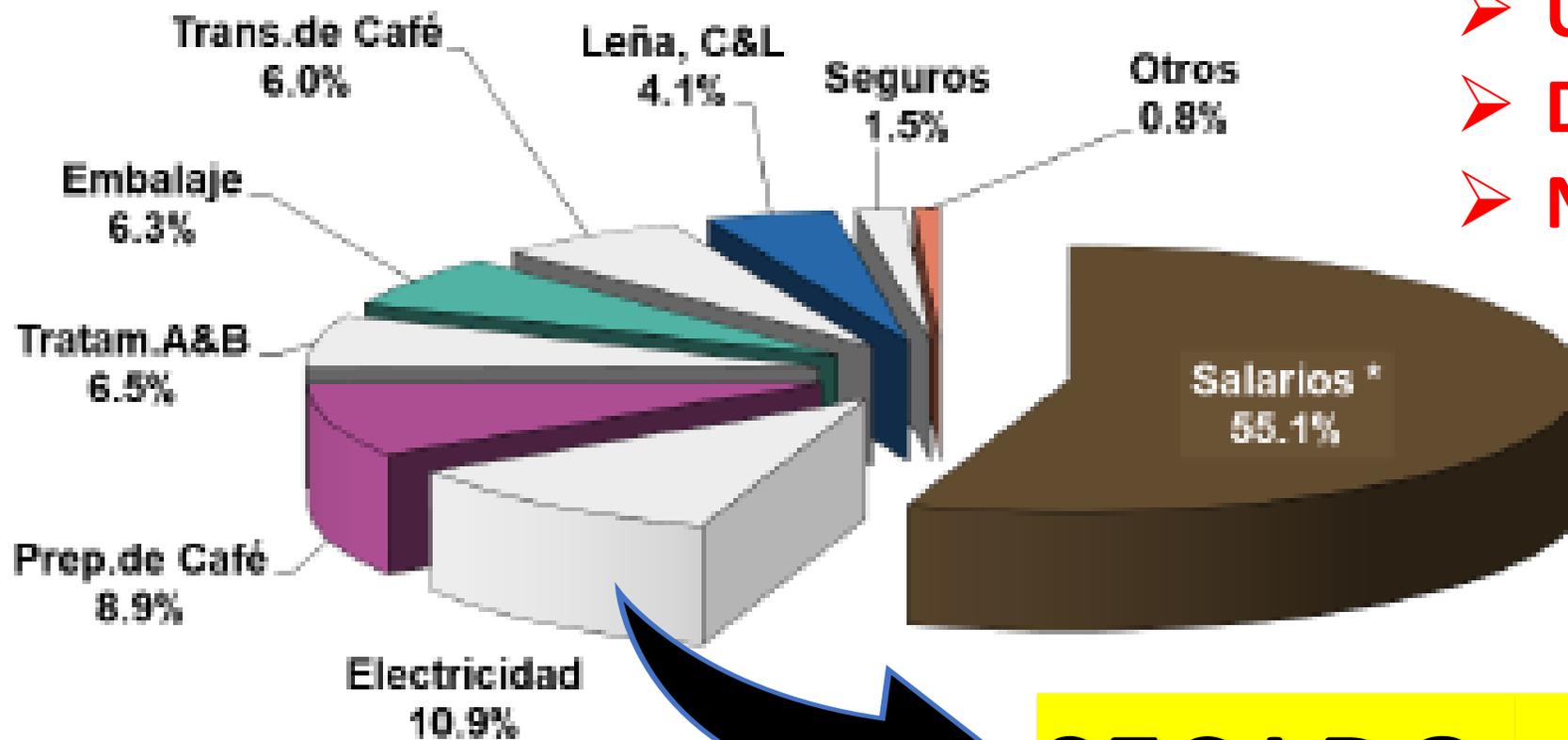
**Agosto 2022**



# Costo Promedio Nacional de Beneficiado de Café

## Participación por Rubro de Costo

### Cosecha 2020-2021



## PARADIGMAS:

- **Uso exclusivo de la leña**
- **Descarte de la broza**
- **No Análisis**

**SECADO >60%**



# REACCION DE COMBUSTION

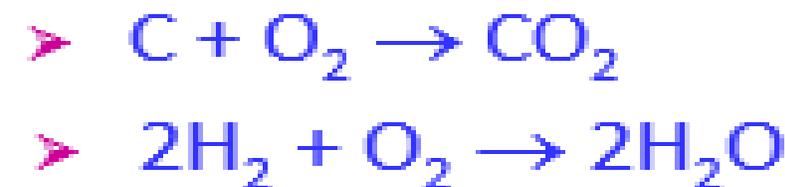
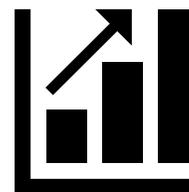
**AIRE**  
**(21% O<sub>2</sub> + 79% N<sub>2</sub> + HUMEDAD)**



ANALISIS ELEMENTAL (% EN PESO)			
ELEMENTO	PULPA SECA	CASCARILLA	LEÑA
CARBONO (C)	44,26 %	45,32 %	43,62 %
HIDROGENO (H)	5,64 %	5,90 %	6,55 %
NITROGENO (N)	2,15 %	0,97 %	0,2%
AZUFRE (S)	0,1 %	0,06%	0,08 %



Costo de Leña  
\$ 10/m<sup>3</sup>



**LUZ + CALOR DE COMBUSTION**

**CALENTAMIENTO AIRE  
DE SECADO A 60 °C**



# REACCION DE COMBUSTION

- $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 33.8 \text{ MJ/kg-C}$
- $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + 121.0 \text{ MJ/kg-H}$
- $S + O_2 \rightarrow SO_2 + 9.3 \text{ MJ/kg-S}$
- $2C + O_2 \rightarrow 2CO + 10.2 \text{ MJ/kg-C}$

## CONSERVACION DE LA MASA

**$m_{ENTRADA} = m_{SALIDA}$**



# REACCION DE COMBUSTION

- 1 kmol C + 1 kmol O<sub>2</sub> → 1 kmol CO<sub>2</sub>,
  - 12 kg C + 32 kg O<sub>2</sub> → 44 kg CO<sub>2</sub>, or
- 1 Kg LEÑA → 0,46 Kg C → 1,69 Kg CO<sub>2</sub>**

ELEMENTO	% EN PESO
C	46
O <sub>2</sub>	42
H <sub>2</sub>	6
S	0,01
N <sub>2</sub>	0.7

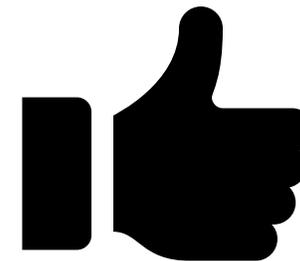
## RELACION AIRE COMBUSTIBLE A/C (Estequiométrico)

$$A/C = 11,5 C + 34,5(H - O/8) + 4,32 S$$

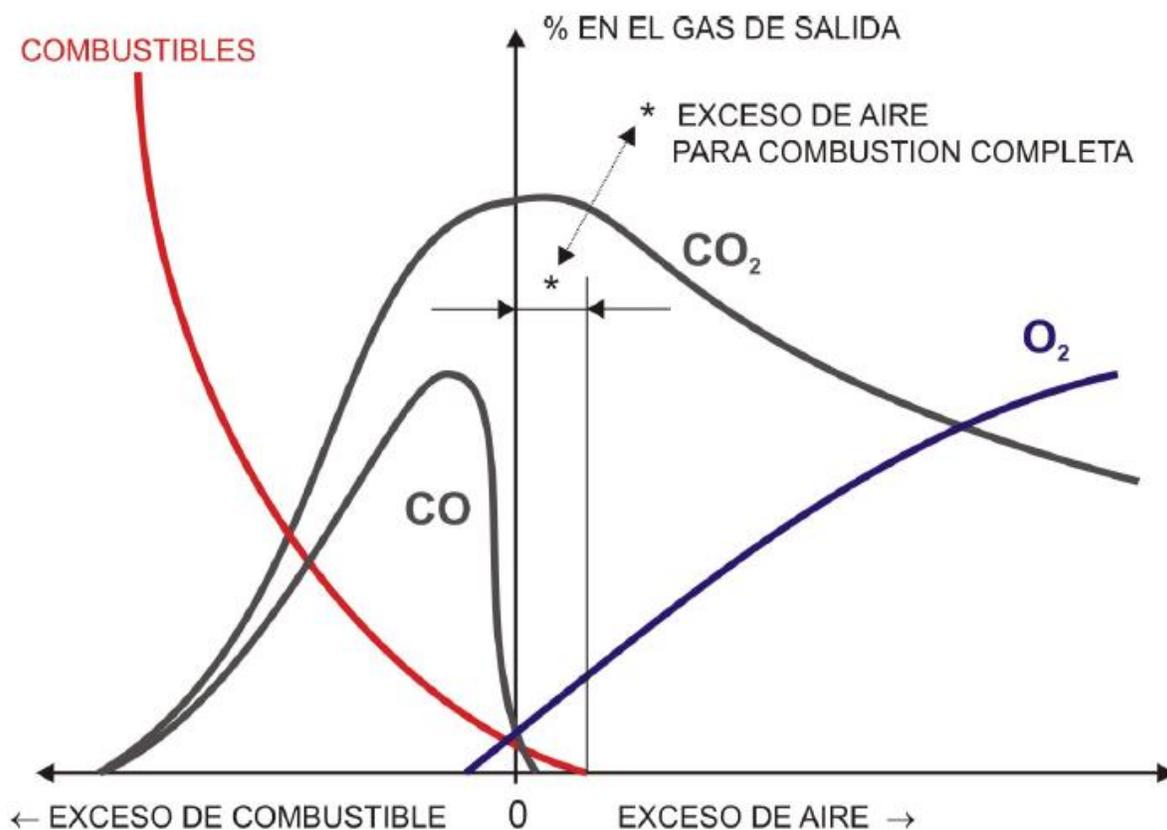
$$A/C = 6,95 \text{ Kg aire/Kg leña}$$

$$A/C = 6,04 \text{ m}^3 \text{ aire/Kg leña}$$

ELEMENTO	PESO MOLECULAR (Kg/Kmol)
C	12
O <sub>2</sub>	23
H <sub>2</sub>	2
S	32
N <sub>2</sub>	28
CO <sub>2</sub>	44
SO <sub>2</sub>	64
H <sub>2</sub> O	18



# EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION



CALOR PARA CALENTAR EL AIRE  
( Secado de Guardiola de 60 ff pergamino húmedo a punto en 32 horas )

$$Q = FM \times Cp \times (T2 - T1)$$

$$Q = 11500 \text{ Kg/h} \times 0,24 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C} \times (60 - 25) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 110400 \text{ Kcal/h}$$

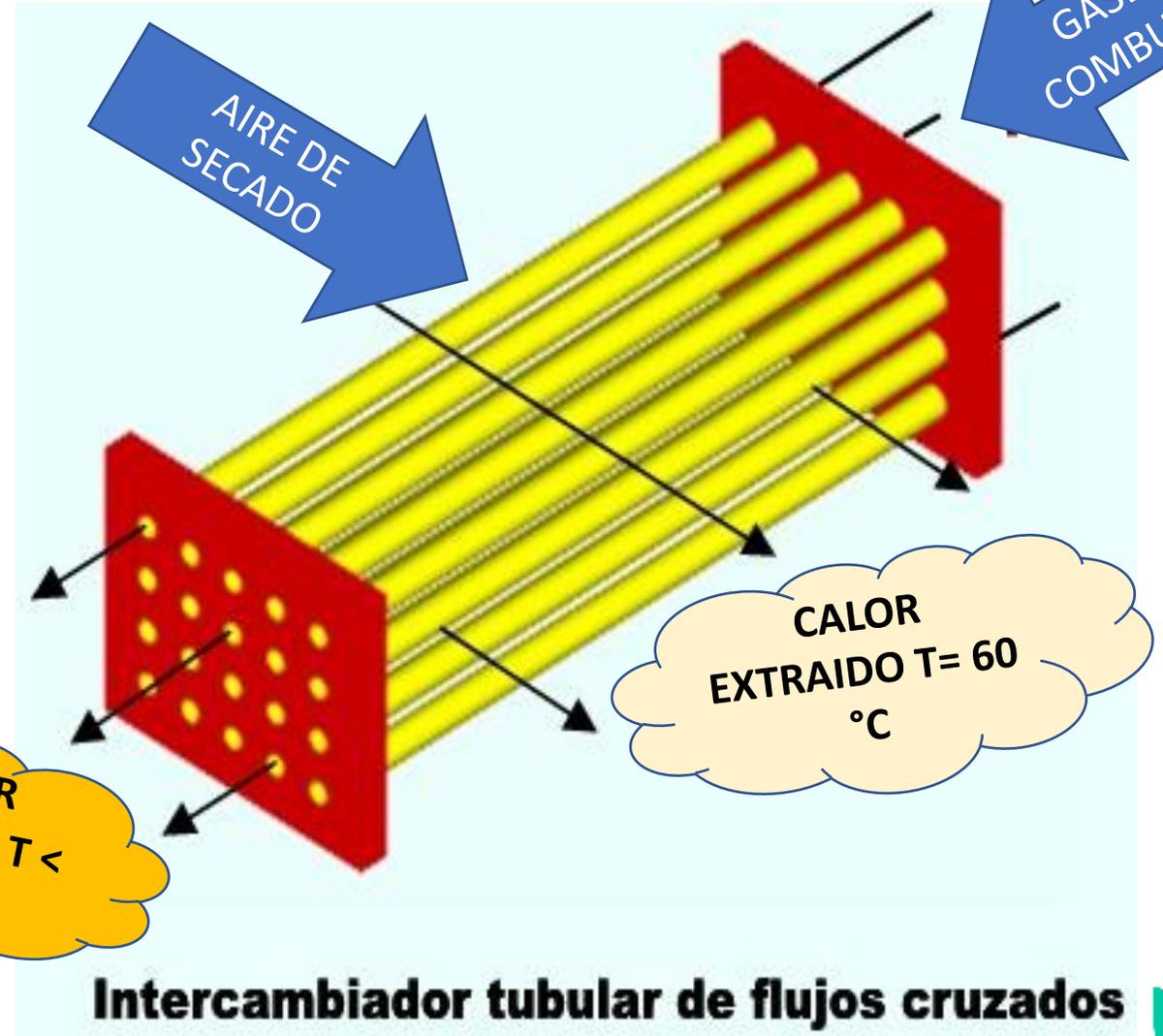
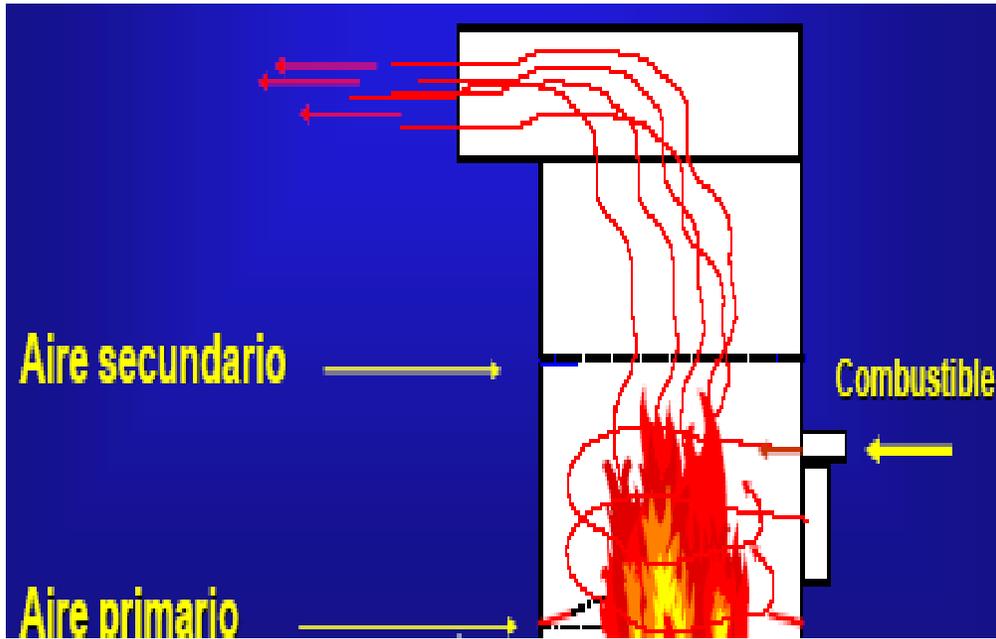
Poder calórico de la leña = 3800 Kcal/Kg

$$Q = 29,05 \text{ Kg leña/h}$$

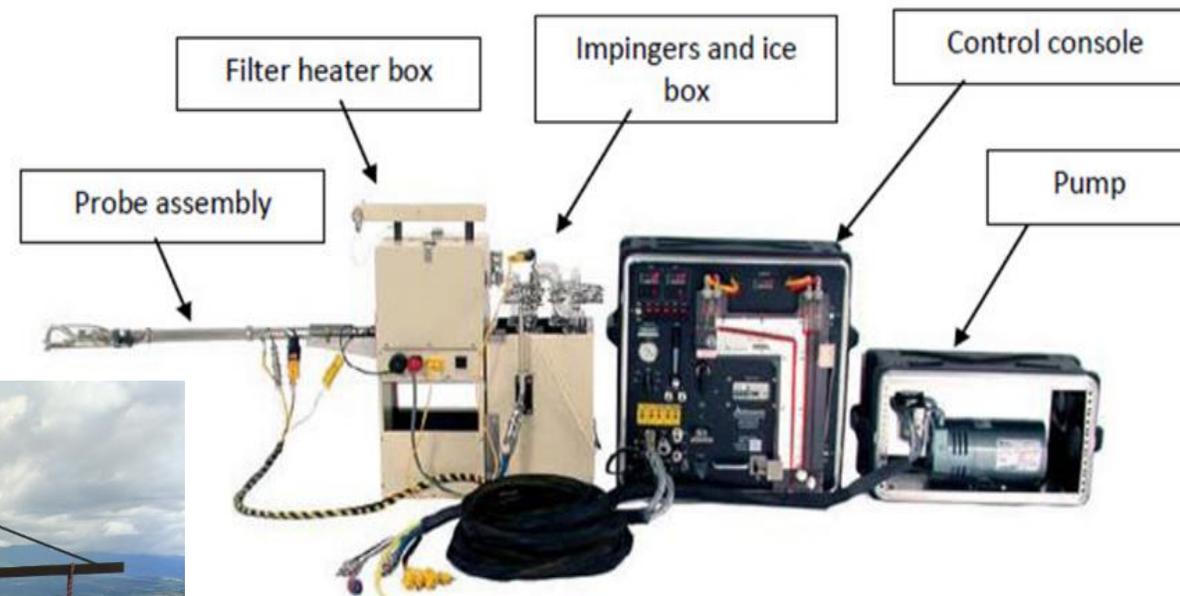
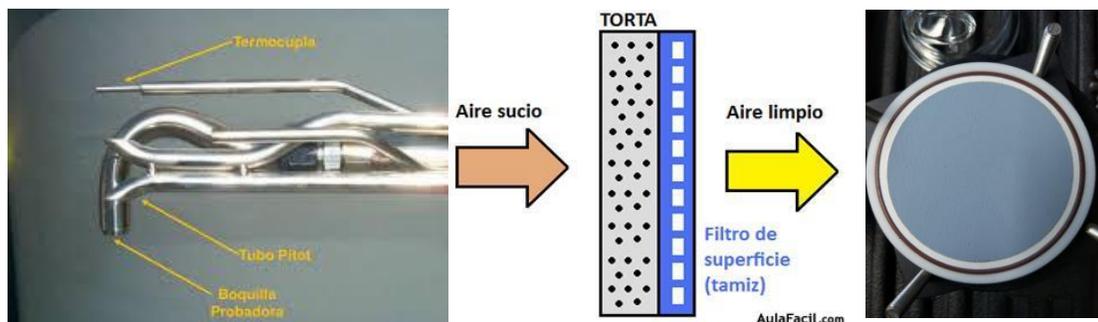
Consumo de leña: 15,49 Kg leña/ff



# MOVIMIENTO DE GASES



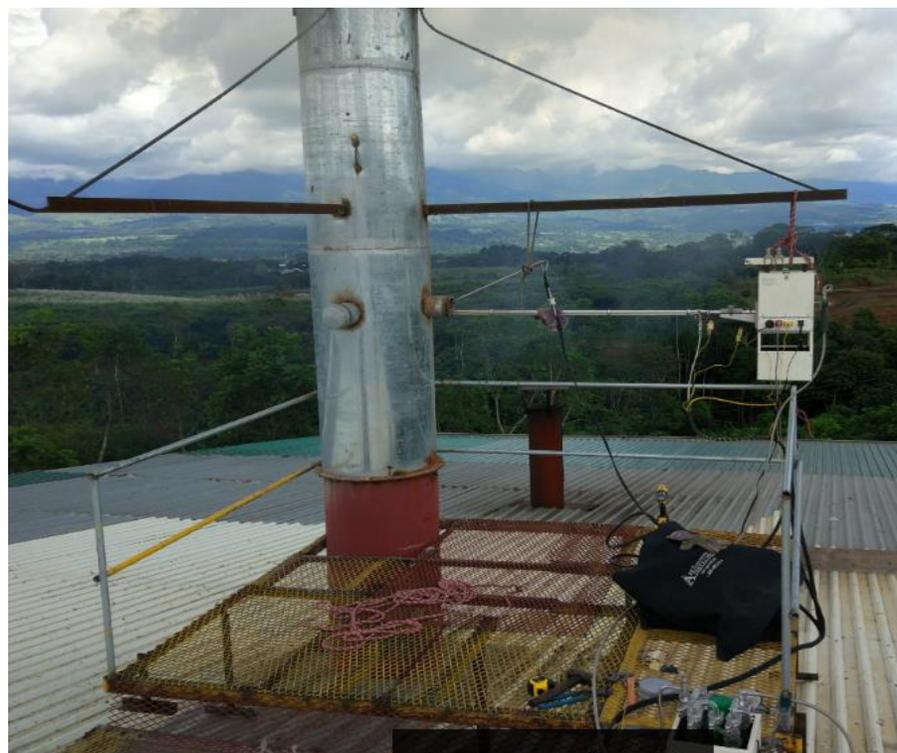
# ANALISIS DE GASES



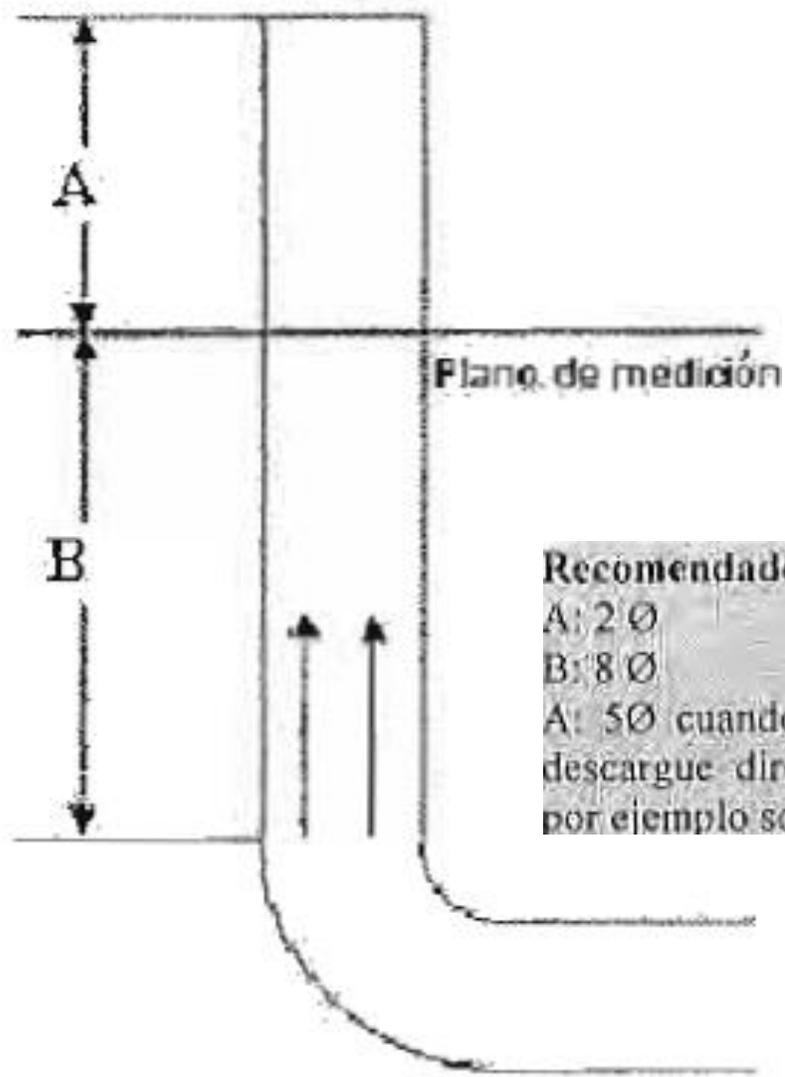
**SISTEMA DE MUESTREO  
ISOCINETICO APEX  
INSTRUMENTS XC-500**



**ANALIZADOR DE GASES  
DE COMBUSTION  
TESTO 350**



# ANALISIS DE GASES



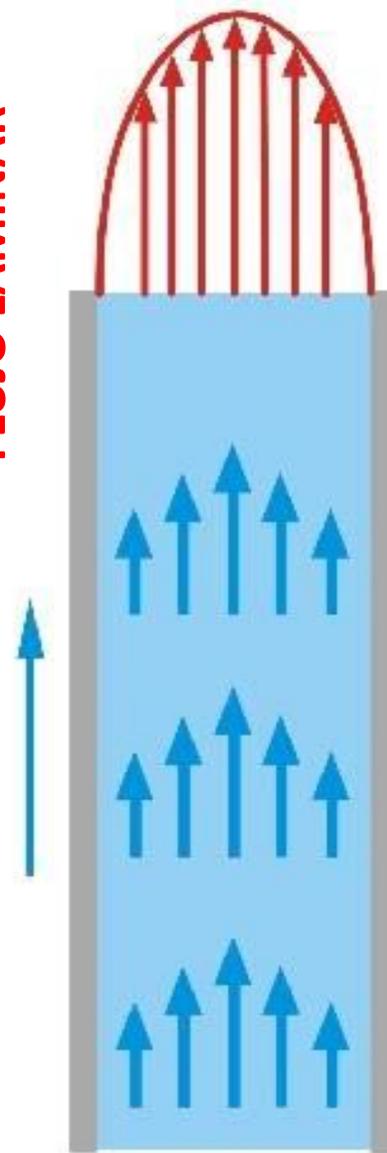
## Recomendado:

A: 2 Ø

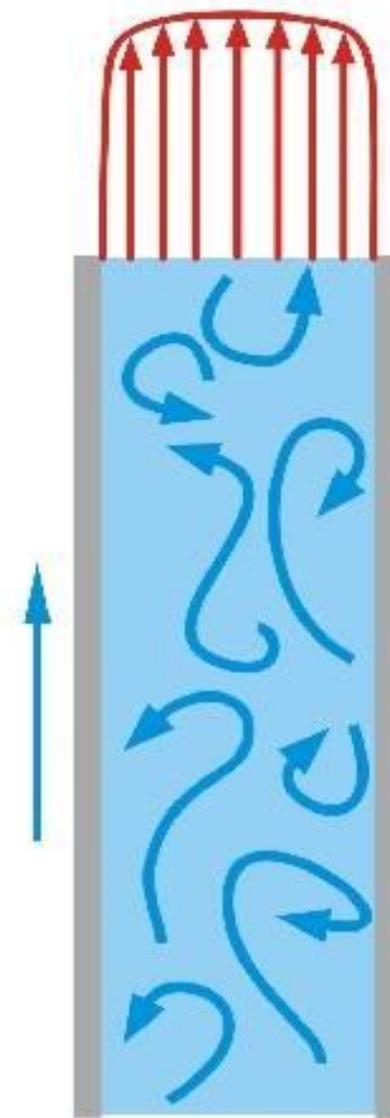
B: 8 Ø

A: 5Ø cuando la chimenea o ducto no descargue directamente a la atmósfera, por ejemplo sombrero chino.

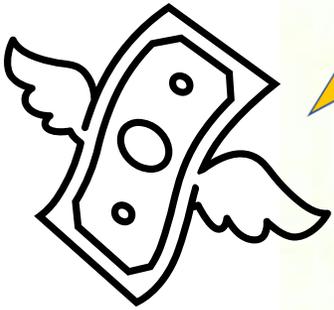
FLUJO LAMINAR



FLUJO TURBULENTO



# PARAMETROS ACTUALES

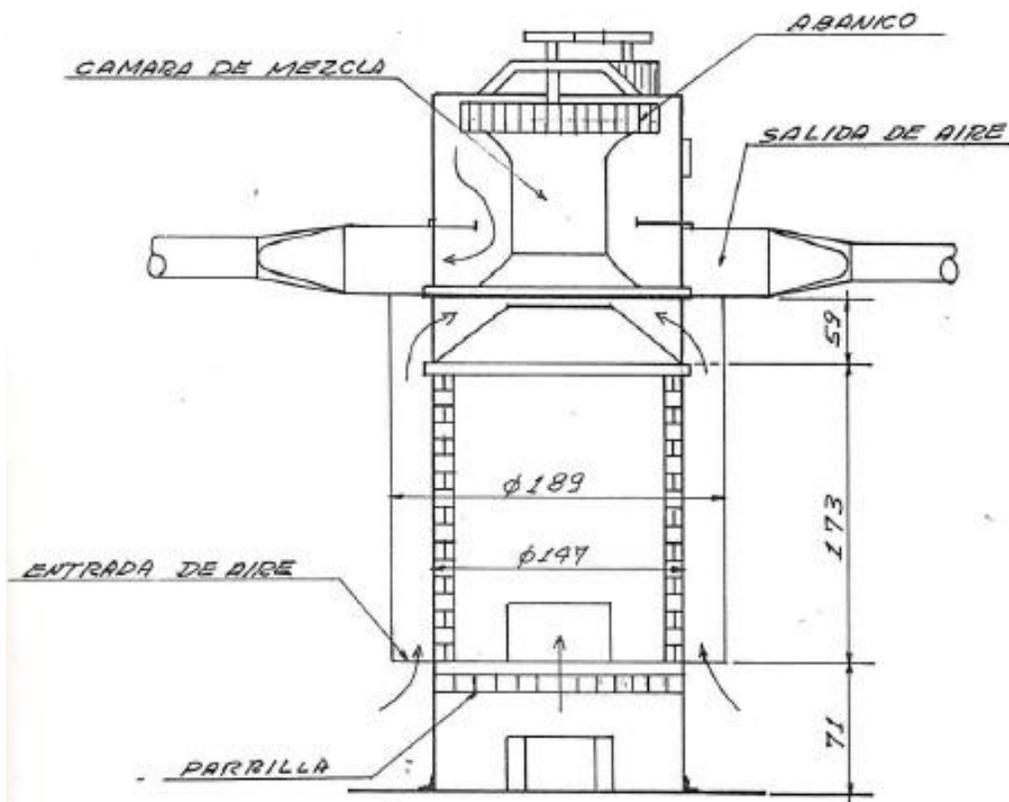


GASES CHIMENEA

- TEMPERATURAS 150-250 °C
- CO<sub>2</sub> ≈ 3%
- O<sub>2</sub> ≈ 18%
- PARTICULAS ≥ 175 mg/m<sup>3</sup>
- ALTO CAUDAL > 1500 m<sup>3</sup>/h
- EXCESOS DE AIRE >100%

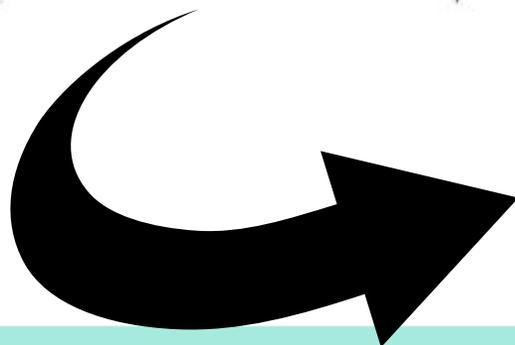
PERDIDAS CALOR EN CHIMENEA  
COMBUSTION INEFICIENTE  
EXCESO DE CONTAMINANTES





## HORNILLA DE FLUJO CRUZADO

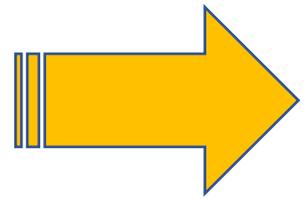
2 GUARDIOLAS 60 fan



## HORNILLA INEFICIENTE

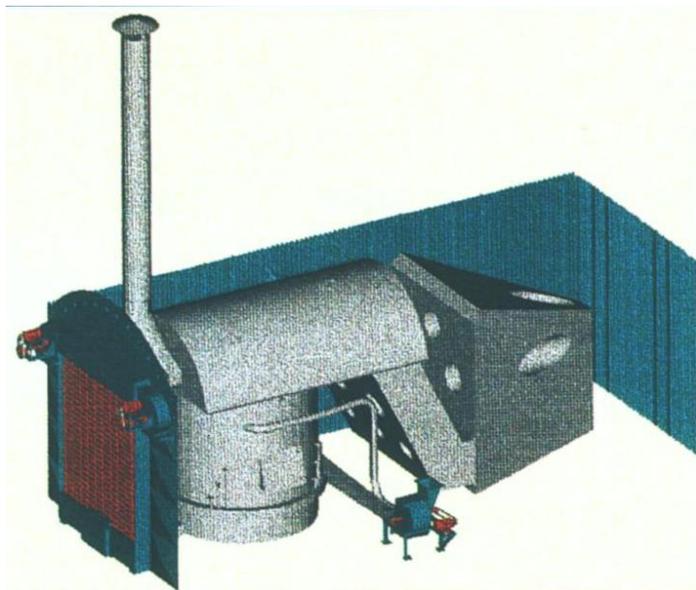


## HORNILLA DE DOBLE PASO

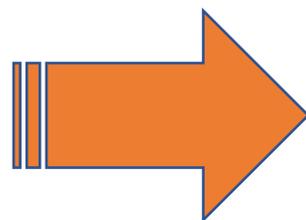
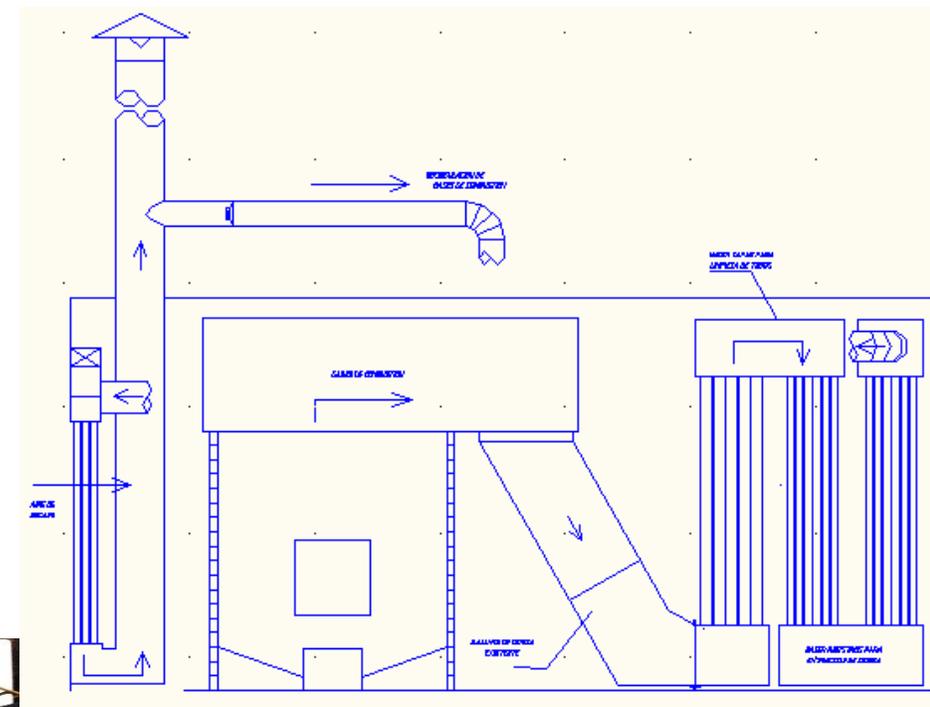


- MAS COMPACTO
- OPERA CON LEÑA Y/O CASCARILLA
- DISEÑO SIMPLE
- FACIL FABRICACIÓN (PERSONAL DEL BENEFICIO)



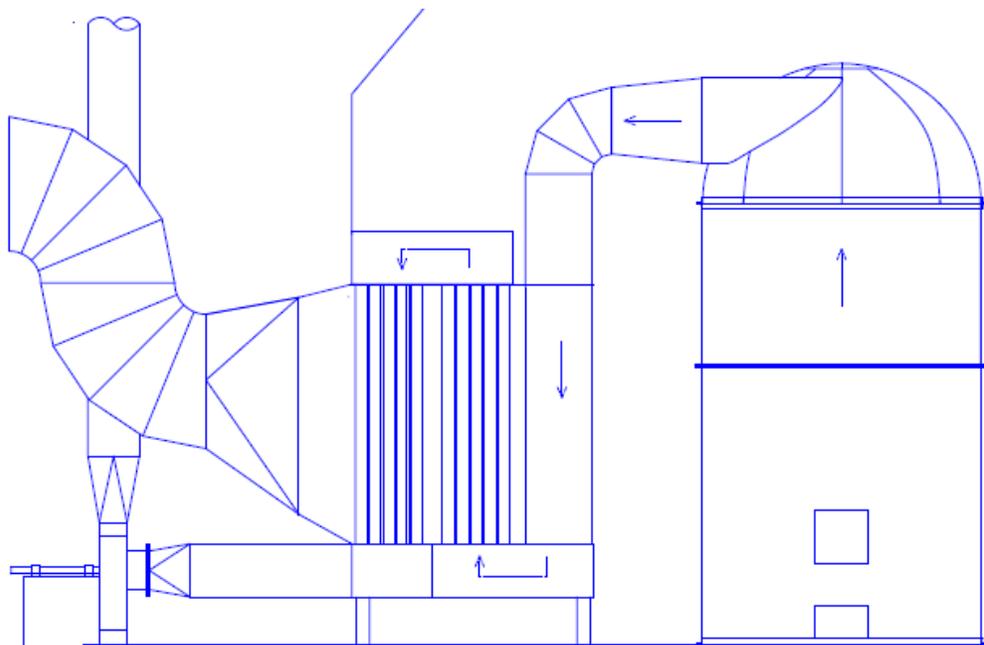
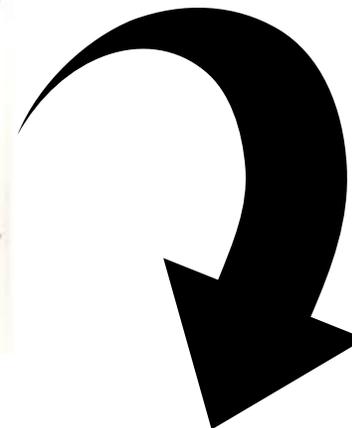
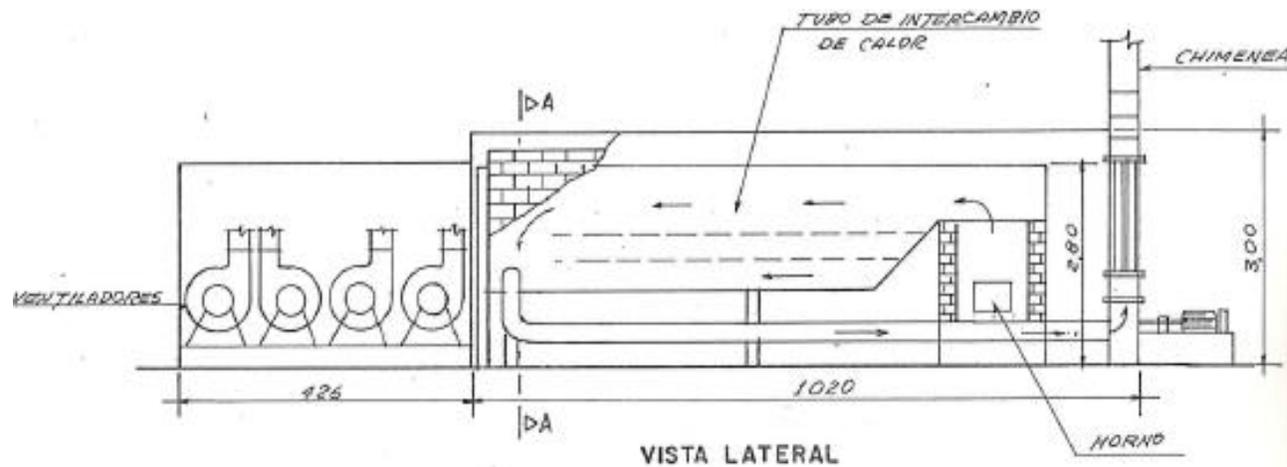


## REFORMA HORNO TIPO "N"



## HORNO DE CUPULA

100.000 m<sup>3</sup>/h



# ASISTENCIA A BENEFICIOS

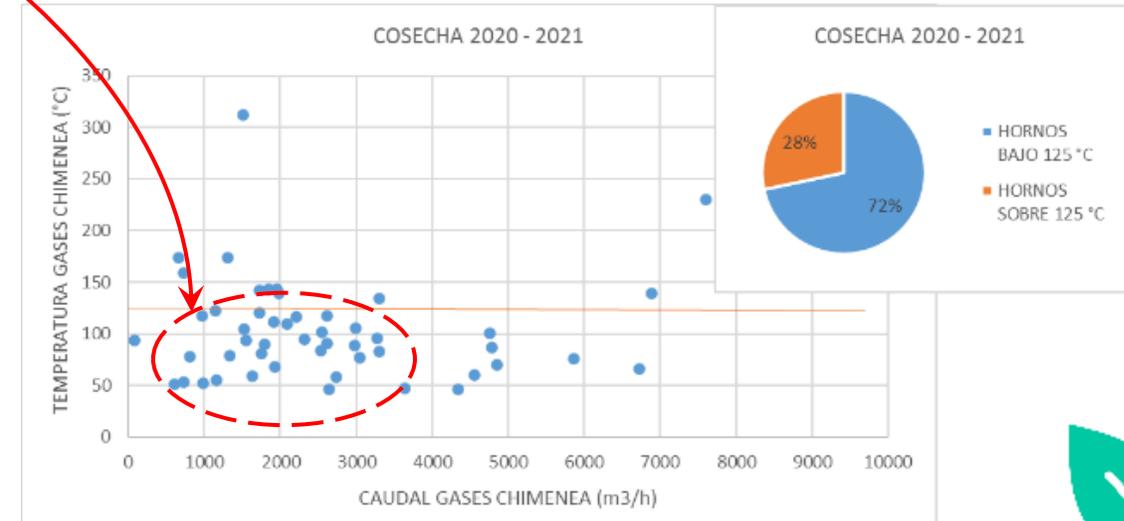
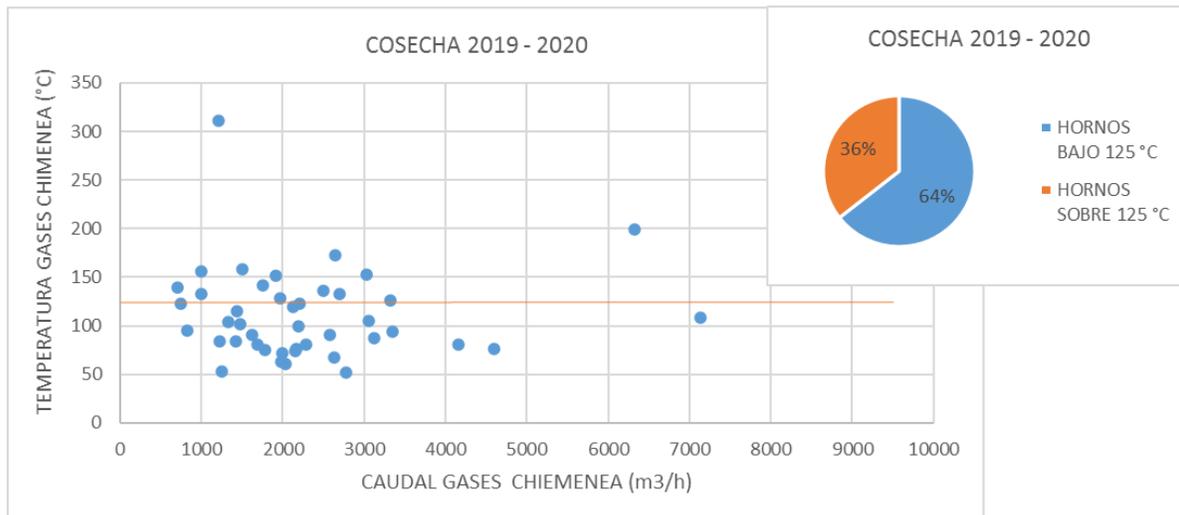
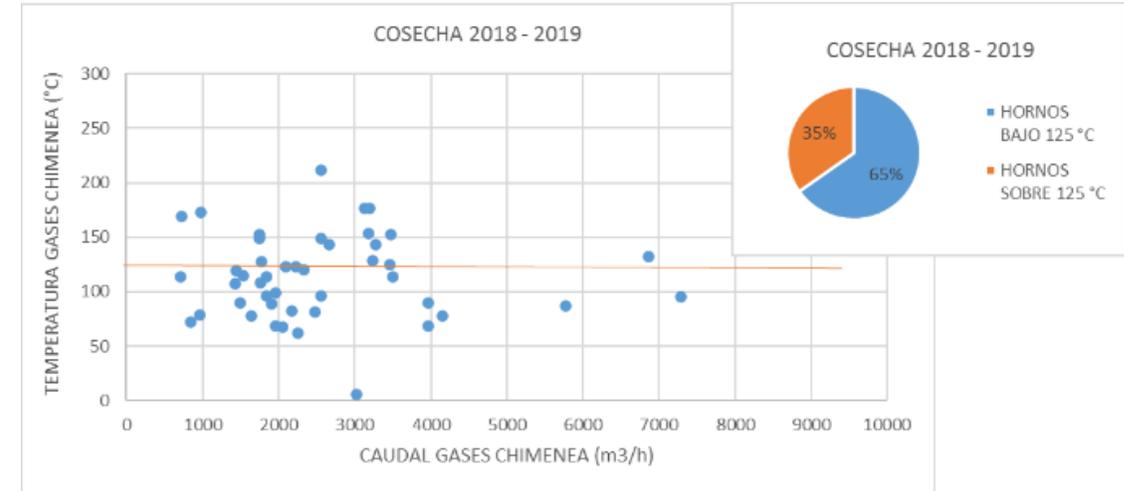
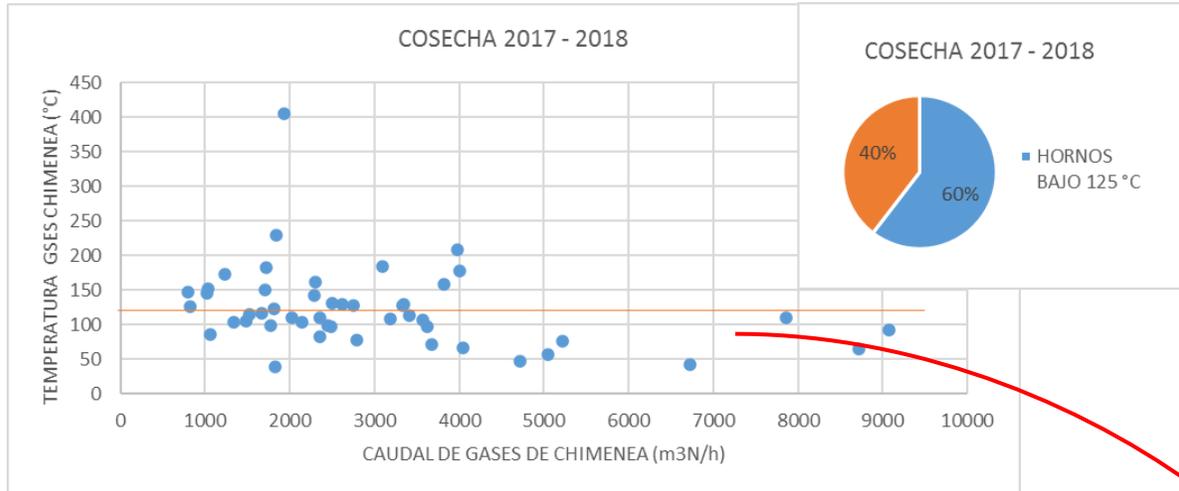


**CONSUMO LEÑA ANTERIOR: 75 kg/hr**  
**CONSUMO CASCARILLA ACTUAL : 53 kg/hr**  
**CONSUMO "CHIPS" ACTUAL: 33 kg/hr**

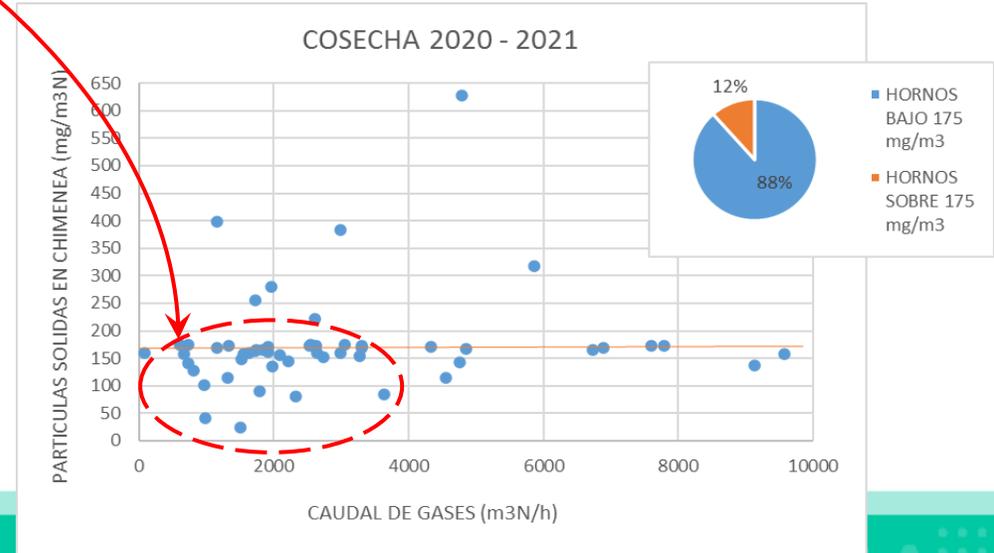
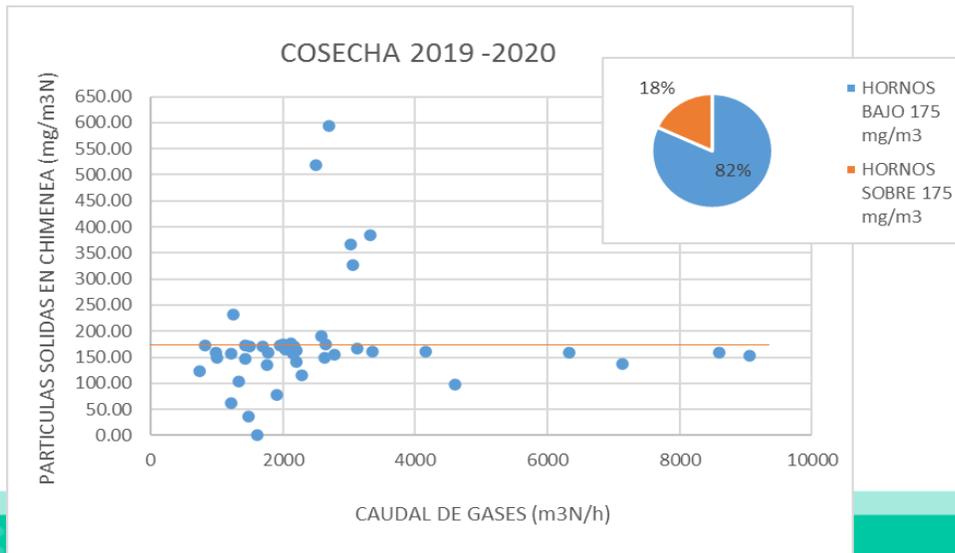
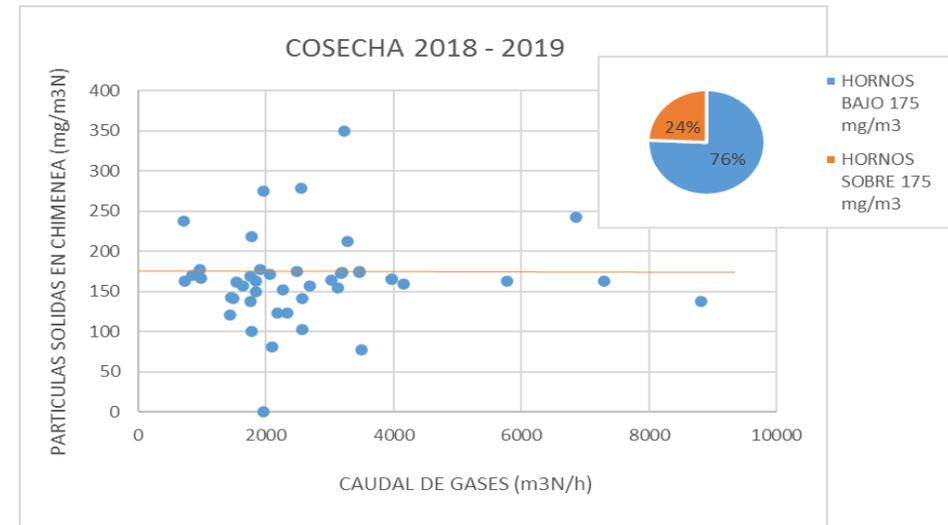
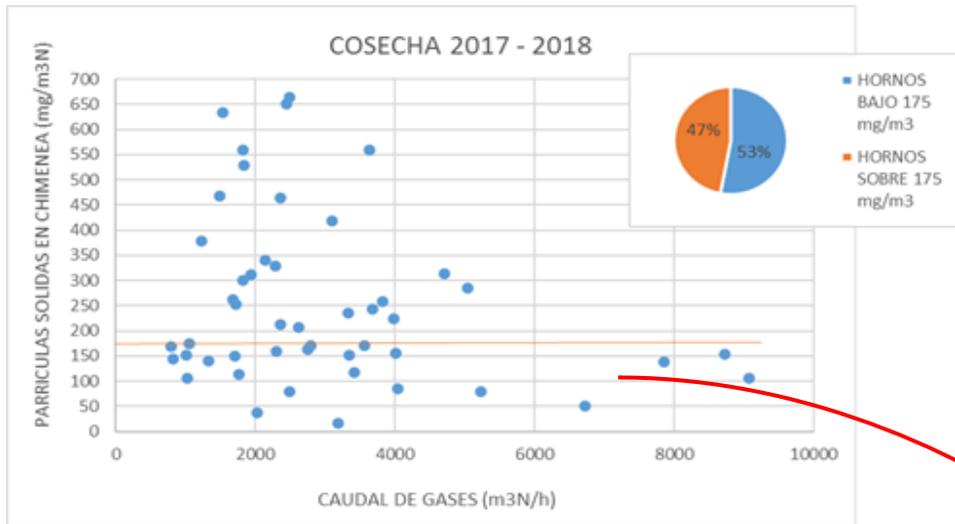
# GASIFICADOR



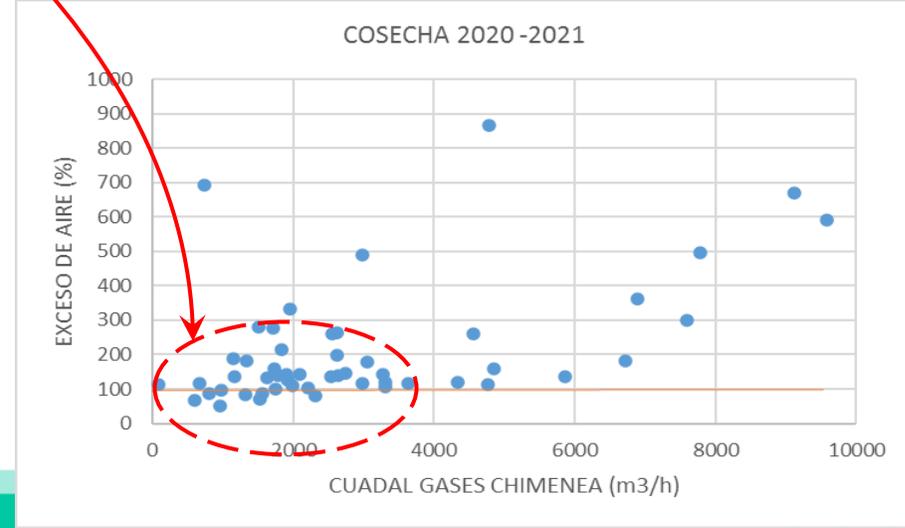
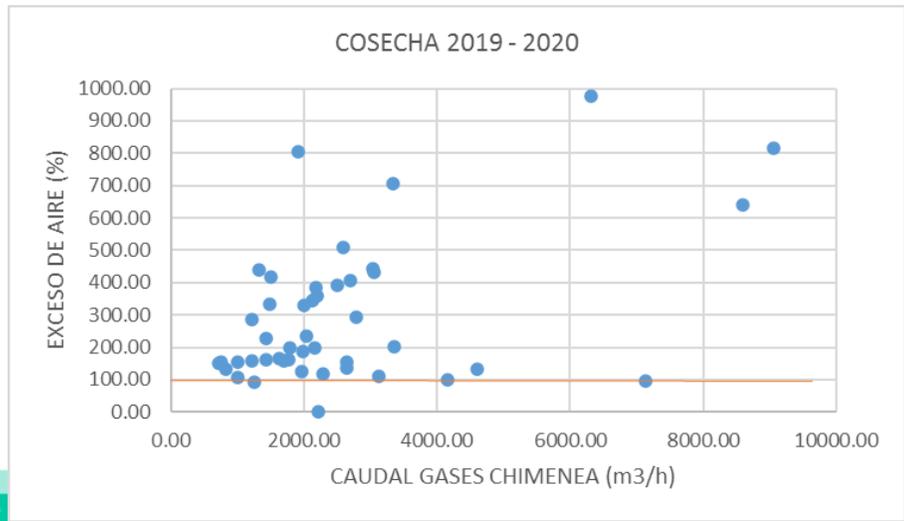
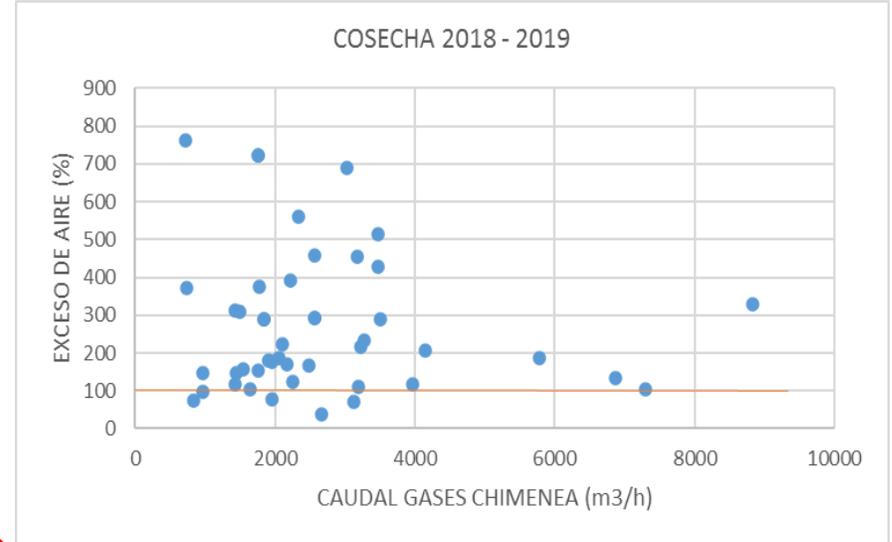
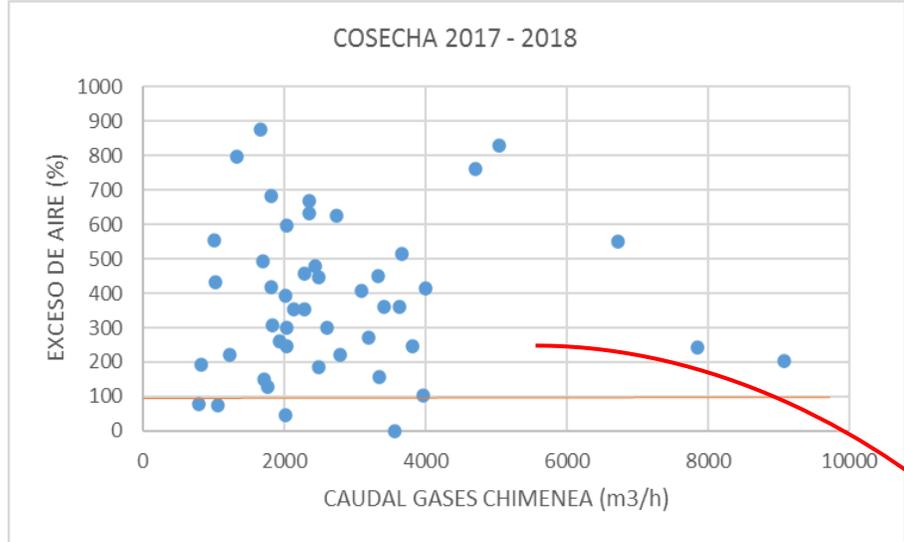
# Variación de la temperatura de los gases de chimenea (125 °C) a medida que disminuye su caudal



# Variación de la concentración de partículas sólidas emitidas en chimenea (175 mg/m<sup>3</sup>) a medida que disminuye su caudal de gases



# Variación por del exceso de aire presente en chimenea (100%) a medida que disminuye su caudal de gases



# CALOR PERDIDO



VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	%O <sub>2</sub>	%CO <sub>2</sub>	CO (ppm)	TEMP. GASES (°C)
10.6	4567.0	17.4	4.6	1628.0	180.0
4.0	1736.0	15.9	6.4	904.0	153.0
2.5	1070.0	14.4	8.1	592.0	132.0
0.7	309.0	10.0	13.0	98.0	116.0

**MEJORA DE CONDICIONES DE OPERACIÓN AJUSTANDO VELOCIDAD DE GASES, MANTENIENDO 60 °C EN EL AIRE DE SECADO**



# ANÁLISIS COMPARATIVO

Analito	Valor máximo de emisión <sup>v</sup>	Unidades	HORNO 1 EFICIENTE	HORNO 2 EFICIENTE	HORNO POCO EFICIENTE
Concentración de Oxígeno (O <sub>2</sub> ) <sup>i</sup>	NA	%	10,99 ± 0,01	11,62 ± 0,01	14,85 ± 0,01
Concentración de Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) <sup>i</sup>	NA	%	11,30 ± 0,01	13,88 ± 0,01	6,06 ± 0,01
Concentración de Monóxido de Carbono (CO) <sup>i</sup>	NA	mg/m <sup>3</sup> N <sup>ix</sup>	17,66 ± 0,03	1 743,11 ± 0,03	3 539,99 ± 0,03
Concentración de Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) <sup>i,x</sup>	650	mg/m <sup>3</sup> N <sup>ix</sup>	186,073 ± 0,001	93,038 ± 0,001	122,715 ± 0,001
Concentración de Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ) <sup>i</sup>	1 500	mg/m <sup>3</sup> N <sup>ix</sup>	1,6 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,8 ± 0,1
Humedad de los gases	NA	%	3,98 ± 0,09	9,51 ± 0,09	1,36 ± 0,09
Temperatura de los gases	NA	°C	124,1 ± 0,5	77,1 ± 0,5	140,3 ± 0,5
Concentración de Partículas Suspendidas Totales (PTS) <sup>v</sup>	175	mg/m <sup>3</sup> N <sup>ix</sup>	148,69 ± 0,04	169,37 ± 0,04	198,10 ± 0,04
Eficiencia de combustión	NA	%	83,25 ± 0,03	86,29 ± 0,03	76,47 ± 0,03
Caudal de los gases en condiciones estándar	NA	m <sup>3</sup> /h	1 819,81 ± 0,54	1 239,62 ± 0,54	5 225,72 ± 0,54
Velocidad de los gases	NA	m/s	6,6 ± 0,1	4,2 ± 0,1	22,8 ± 0,1
Exceso de aire	NA	%	119,25 ± 0,05	147,75 ± 0,05	251,26 ± 0,05
Presión Ambiental	NA	mmHg	676,00 ± 0,01	676,00 ± 0,01	633,00 ± 0,01
Temperatura Ambiente	NA	°C	36,87 ± 0,01	36,75 ± 0,01	26,50 ± 0,01

# ANALISIS COMPARATIVO

PARAMETRO DEL HORNO	HORNO 1 EFICIENTE	HORNO 2 EFICIENTE	HORNO MENOS EFICIENTE
CAUDAL GASES (m <sup>3</sup> /hr)	1819	1239	5225
FLUJO MASICO (kg/hr)	2182.8	1486.8	6270
PERDIDAS CALOR (Kcal/hr)	47475.9	14868	177127.5
PORCENTAJE CO <sub>2</sub>	11.30%	13.88%	6.06%
CONSUMO DE CASCARILLA (Kg/h)	67.2	56.2	103.5
COSTO DE OPERACIÓN (\$/h)	2.44	2.04	3.76

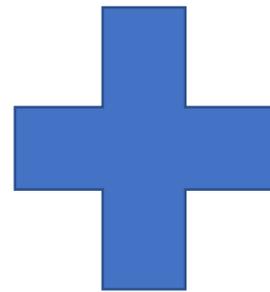


# INDEPENDENCIA DE LA LEÑA

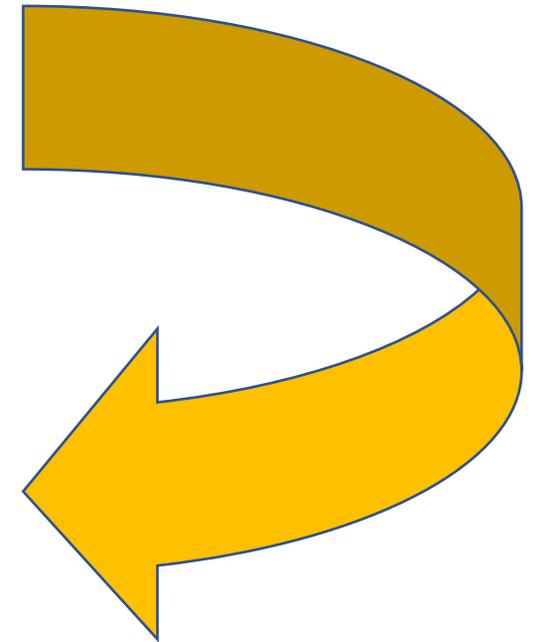
SE REQUIEREN 16 kg DE  
BIOMASA PARA SECAR  
(0,02 m<sup>3</sup> LEÑA)

1 qq  
CAFÉ ORO

5 kg BROZA SECA



11 kg  
CASCARILLA



# La Minita

**Beneficio Río Negro.**



Calidad Lealtad Sostenibilidad



# La Minita

## Beneficio Rio negro

### Detalle Capacidades y proceso

#### Enero 2022

Proceso	Unidad	Capacidad
Sifones de recibo Café	FF	375.00
Despulpado	FF/h	90.00
Pilas fermentación	qq / día	1,153.00
Tolvas escurrido	qq / día	778.00
Secado	qq / día	564.00
Almacenado	qq	24,000.00
Alistado y preparación	qq / día	18.00



# La Minita

## Beneficio Rio negro

### Equipos y proceso secado

#### Enero 2022

Proceso	Cant.
Centriflux	1
Secadora Guardiola 60 qq	11
Secadora Guardiola 45 qq	1
Secadoras verticales para verde e inferiores	2
Hornos	3
Gasificador residuos (2.75 m3)	1



## La Minita

### Beneficio Rio Negro

#### Resumen relación y consumo leña por FF.

Julio 2022

	FF / Totales	M3 leña	FF / M3	m3/ff
Cos. 21-22	38,199.78	1,214.00	31.47	0.03
Cos. 20-21	29,097.46	1,541.00	18.88	0.05
Cos. 19-20	35,508.04	2,006.00	17.70	0.06
Cos. 18-19	26,224.91	1,637.00	16.02	0.06
Cos. 17-18	31,528.23	2,225.00	14.17	0.07
Promedio	32,111.68	1,724.60	19.65	0.05



# Experiencias realizadas, proceso de secado de café en Beneficio Río Negro.

## Modificación de intercambiadores de calor en Hornos.

- Se realizó sustitución de intercambiadores de calor laminares por intercambiadores tubulares de flujo cruzado.

### Resultado obtenido:

- Mejora en eficiencia de intercambio de calor, que se reflejó en una reducción en la temperatura de gases en salida de chimenea, pasando de temperaturas  $>175^{\circ}\text{C}$  a temperaturas  $< 100^{\circ}\text{C}$ .

## Construcción de Gasificador de residuos.

- Se construyó Gasificador de 2.75 m<sup>3</sup> de capacidad volumétrica, el cual se ha trabajado con residuos como cascarilla, astillas de poda de café, broza seca, pellets de broza.

### Resultados obtenidos:

- Autonomía de 10 horas de operación, funcionando sin leña ni cascarilla.
- Posibilidad de utilizar otros desechos biomásicos para generación de gas.

## Astillado de podas de café.

- Utilización de astillador para triturar ramas y troncos de café para utilización como combustible en gasificador. con potencial calórico de 4200 kcal/k.



# Experiencias realizadas, proceso de secado de café en Beneficio Río Negro.

## Secado solar de broza.

- Secado de broza en patios, Este proceso requiere que broza sea extendido en una capa delgada, y se mantenga allí por 4- 5 días hasta lograr el secado total que permita ser utilizada como combustible para secado de café.

### Resultado obtenido:

- El potencial calórico, de la broza seca y para muestras enviadas al Ceqiatec, fue de 4000 Kcal.
- Durante meses de enero – abril pasados se secaron aproximadamente 2000 de broza la cual era utilizada durante cosecha actual para continuar pruebas de secado con broza.

## Modificación horno para quemar broza seca:

- Se realizó modificación a cámara de combustión de hornos convencionales, el cual consistió en instalación de parrilla, en forma de escalera, y se modificó alimentación para que por gravedad desde parte superior de domo se pueda inyectar cascarilla, o cascarilla y broza, la cual se combustiona en el lecho, no en suspensión.



# Experiencias realizadas, proceso de secado de café en Beneficio Río Negro.

## Resultados obtenido:

- Buena combustión, luego de que horno alcance temperatura de operación en hoguera.
- Consumo promedio de 103 kilogramos por hora, de mezcla de cascarilla y broza, (50% - 50%)
- Temperatura promedio de operación de 60°C, para equipos conectados, total caudal 70.000 m<sup>3</sup>/ hora.

## **Secado de broza con gases combustión:**

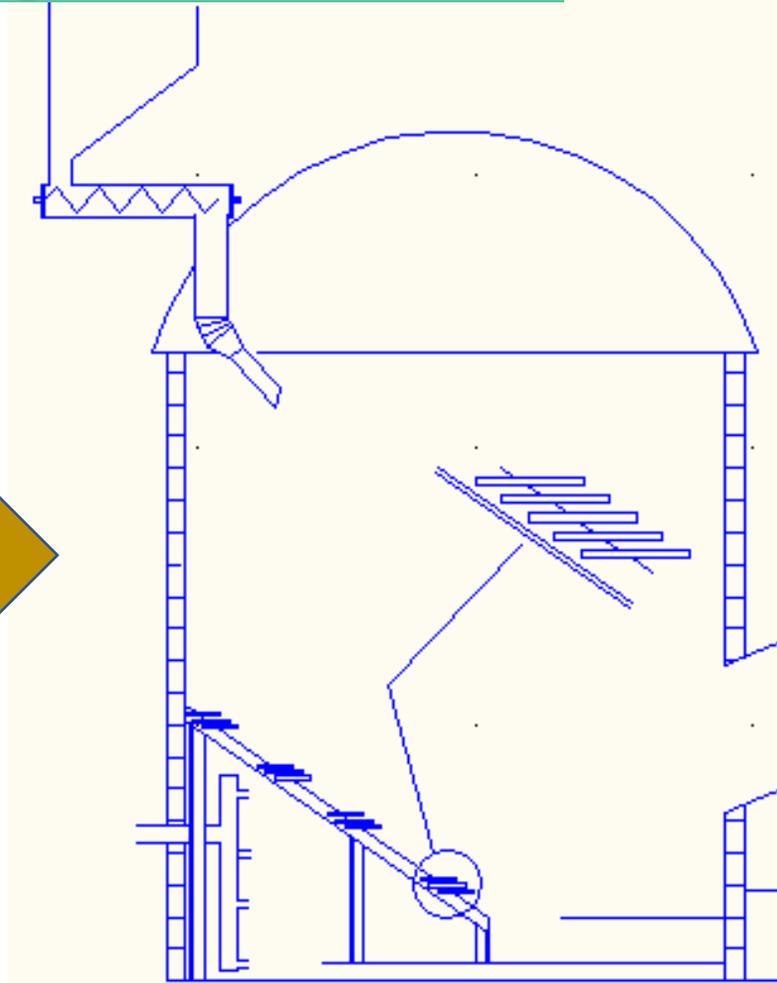
- Con fines experimentales se construirá secadora estática para el secado de broza y que utilice gases de combustión generados en hornos, con lo cual se pretende obtener broza seca para sustitución sustitución de leña en proceso de secado del café.



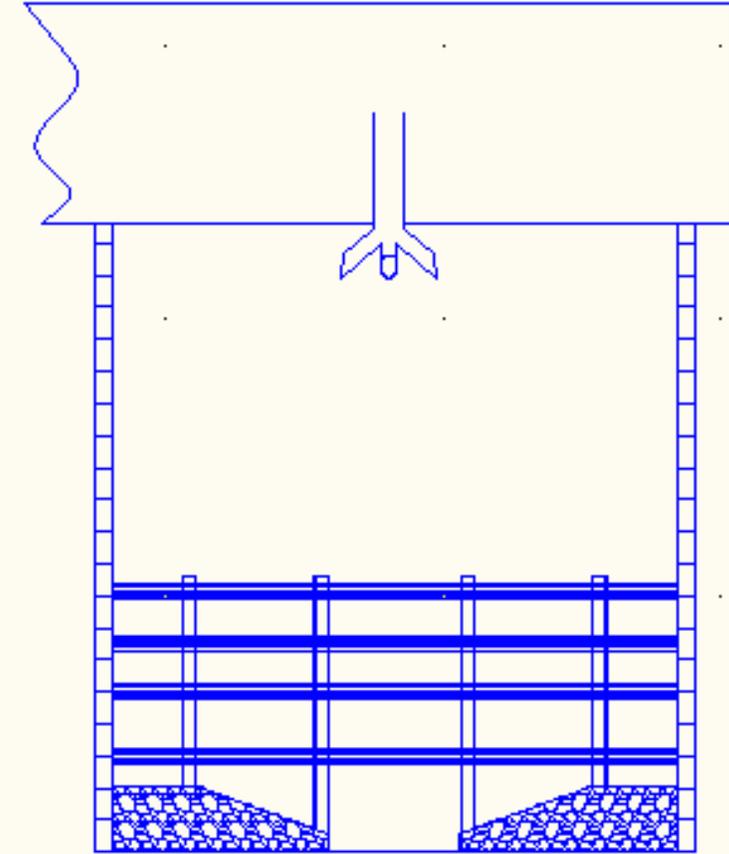
# INDEPENDENCIA DE LA LEÑA

## Caso Ben Rio Negro - Cattica

REFORMA  
DE HORNO DE  
FUEGO  
INDIRECTO  
TRADICIONAL  
PARA USO  
EXCLUSIVO DE  
BROZA Y  
CASCARILLA



VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



# INDEPENDENCIA DE LA LEÑA

## Caso Ben Rio Negro - Cattica

**Cuadro V. Resultados del análisis**

Analito	Valor	Valor máximo de emisión <sup>v</sup>	Unidades	Método de análisis
✓ Concentración de Oxígeno (O <sub>2</sub> ) <sup>i</sup>	4,10 ± 0,25	NA	%	ICAFE-ICH-01
Concentración de Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) <sup>i</sup>	26,22 ± 0,35	NA	%	ICAFE-ICH-01
Concentración de Monóxido de Carbono (CO) <sup>i</sup>	1257,59 ± 257,26	NA	mg/m <sup>3</sup> N <sup>ix</sup>	ICAFE-ICH-01
Concentración de Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) <sup>i,x</sup>	89,41 ± 2,70	650	mg/m <sup>3</sup> N <sup>ix</sup>	ICAFE-ICH-01
Concentración de Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ) <sup>i</sup>	< 3,12	1 500	mg/m <sup>3</sup> N <sup>ix</sup>	ICAFE-ICH-01
Humedad de los gases	7,00 ± 1,47	NA	%	ICAFE-ICH-01
Temperatura de los gases	91,25 ± 0,86	NA	°C	ICAFE-ICH-01
✓ Concentración de Partículas Suspendidas Totales (PTS) <sup>v</sup>	162,8 ± 36,6	175	mg/m <sup>3</sup> N <sup>ix</sup>	ICAFE-ICH-01
Eficiencia de combustión	85,30 ± 0,03	NA	%	ICAFE-ICH-01
Caudal de los gases en condiciones estándar	2 988 ± 889	NA	m <sup>3</sup> /h	ICAFE-ICH-01
Velocidad de los gases	9,44 ± 1,99	NA	m/s	ICAFE-ICH-01
✓ Exceso de aire	28,00 ± 0,05	NA	%	ICAFE-ICH-01
Presión Ambiental	672,4 ± 0,01	NA	mmHg	ICAFE-ICH-01
Temperatura Ambiente	21,25 ± 0,01	NA	°C	ICAFE-ICH-01



# MUCHAS GRACIAS !

