

Estufas Rocket BBR

Proceso de construcción

Punteo de cuestiones a recordar

Ing. Agr. (Mag.) Lucas Gallo Mendoza
Arq. Emanuel Rocha
Ing. Pablo Kulbaba



Estación Experimental Agroforestal
Esquel

Estufas Rocket BBR

Proceso de construcción
Punteo de cuestiones a recordar

Ing. Agr. (Mag.) Lucas Gallo Mendoza – INTA EEAf Esquel

Arq. Emanuel Rocha - TICA Bioarquitectura
Ing. Pablo Kulbaba - HACONO Energía



Estación Experimental
Agroforestal Esquel



Primera versión – Septiembre 2020

Diseño, diagramación, revisión y corrección: Área de Comunicaciones – EEAf INTA Esquel

El presente documento tiene como finalidad facilitar la información base que se trabaja durante las actividades de los talleres de realización de las estufas Rocket BBR, además pretende dar un paso más en la formalización y territorialización de la tecnología de estufas a leña en mampostería, de alta eficiencia. Esta tecnología que cuenta con más de 250 años de antigüedad en países nórdicos, todavía es incipiente para nuestra región.

Las estufas Rocket BBR son un grupo de estufas que pertenecen a la familia de las estufas Rocket, sobre las cuales se realizaron una serie de modificaciones, que permitieron registrar eficiencias de quema de hasta el 90% (según se reporta en el blog creado por Peter van den Berg¹), en estufas construidas con ladrillos.

En general son de mampostería, aunque también se pueden realizar en metal con partes de ladrillo refractario. En nuestro caso nos concentraremos en las de mampostería, empleando una base de barro como argamasa (aunque también existen experiencias con cemento y arcilla refractaria).

Este manual es con fines didácticos únicamente. La responsabilidad sobre los dispositivos construidos siguiendo los lineamientos aquí escritos recae exclusivamente sobre el constructor de los mismos. Los autores y las instituciones involucradas en la edición de este manual no serán sujeto de demanda ante eventos que involucren los dispositivos aquí detallados. El constructor deberá adaptar las condiciones de seguridad e instalación acorde a las normas vigentes en la localidad donde se construya el dispositivo.



Imagen 1. Estufa BBR8 tambor. Es la configuración más simple, económica y popular. Foto: E. Roc

¹ <http://batchrocket.eu/es/>

¹Es importante resaltar la zona de la caja de fuego (donde la madera se quema) de cualquier estufa es una zona altamente corrosiva debido a la combinación de tres factores: presencia de oxígeno, alta temperatura y ciclos térmicos de calentamiento y enfriamiento. Por lo tanto se recomienda no construir esta zona con metal expuesto a las llamas, pues resultaría en una baja vida útil del dispositivo.

ÍNDICE

Argamasa de barro	5
¿Cómo determinar si la arcilla será óptima?	5
Comprobación previa al uso	5
Comprobación una vez hidratada en un recipiente saturado con agua	6
Mezcla inicial	6
Mezclas a emplear	7
Barro en estado plástico	7
Barbotina	7
Junta de ladrillos refractarios	7
Junta de ladrillos comunes	7
Revoque grueso	7
Revoque fino y/o terminación de la superficie	8
Núcleo de Fuego	8
Valores para cálculos B, diámetro y área	10
Variación constructiva de la torreta	16
Campana primaria de gases	18
Ducto de empleo de calor	19
Ducto de salida final	20
Criterios de seguridad	21
Radiación de campana y material combustible	21
Ambiente de la estufa, donde se puede dormir	22
Emisión de monóxido de carbono	22
Dimensionamiento de la estufa	23
Diseños de estufas	24
Calor de transferencia inmediata	24
Radiación	24
Convección	24
Calor de transferencia tardía	24
Vía los gases	26
Vía el agua	26
Horno	26
Estética	29
Ver el fuego	30
Detalles de terminación	31
Simplificación constructiva	32
Bibliografía consultada	34
ANEXO A. Sombrero Huracán o Venturi de 6" y 8"	35

Argamasa de barro

El barro a emplear es a base de arcilla.

A continuación se recuerdan cuestiones a tener en cuenta.

¿Cómo determinar si la arcilla será óptima? Comprobación previa al uso

- a) **Prueba de la viborita.** Una técnica sencilla es comprobar la plasticidad de la arcilla, mediante procesos de amasado de pequeñas porciones (que se puedan tener en la palma de la mano), levemente mojadas con agua, las cuales puedan ser manipuladas como la plastilina e inclusive soporten el proceso de realizar un cordón o viborita rotando la masa entre los dedos, cuanto mayor largo se pueda obtener en un cordón delgado (0,5cm de diámetro) será mejor.
- b) **Prueba de los potes.** Otra técnica considera realizar mezclas de proporciones de dos componentes claves (arcilla y arena) para evaluar cuál será la proporción que tendrá el mejor comportamiento como argamasa. Se prepara la pasta de arcilla, sin grumos y se separa en paquetes a los cuales se irá agregando arena fina en las proporciones que se presentan en la tabla, colocando la mezcla en potes de aproximadamente 250cc, para lograr un volumen de trabajo estable al momento de evaluar el comportamiento de friabilidad y resquebrajamiento al secarse.

Arcilla	Arena
1	0
1	1
1	2
1	4
1	6
1	10
0	1

Tabla 1. Proporciones posibles para el ensayo

Aquellos cubos secos que mantengan una consistencia estable, expresarán las relaciones óptimas de los materiales que tenemos para realizar la argamasa. La consistencia será estable si se dan estas condiciones:

-No se rompe con una tracción simple (como si rompiésemos un pedazo de pan, buscando juntar nuestras manos) o por movimientos de torsión en sentido opuesto entre las dos manos.

-No se desmenuza desprendiendo gran volumen de granos.

- c) **Prueba de contracción lineal:** Se trata de otra opción que considera también la prueba de mezclas, haciendo listones con diferentes proporciones, evaluando la contracción longitudinal del listón. Los pasos a seguir son:
 - ✓ Armar un molde con una tabla de base y otras dos paralelas que oficien de paredes, formando un prisma de material de 25mm de ancho por 25mm de alto x 285 mm de largo.

- ✓ Cernir el árido y mezclarlo con agua, hasta lograr una pasta espesa.
- ✓ Mojar el molde con abundante agua.
- ✓ Colocar la pasta entre las guías, arrojando bolas con fuerza, luego compactar con un palillo como si se estirase una masa en la cocina.
- ✓ Luego cortar el sobrante en los extremos, viendo que quede armado un listón con los extremos bien netos, para que facilite la toma de las medidas al final.
- ✓ Dejar secar varios días, 2 o 3 a la semisombra, en un lugar seco y ventilado.
- ✓ Realizar la observación del material seco. En caso que se haya resquebrajado transversalmente, juntar las partes totalmente para poder realizar la medición.
- ✓ Se miden los listones obtenidos y se definen las mezclas con mejor comportamiento:
 - Si se reduce el largo entre 1 y 3 cm es una mezcla ideal.
 - Si se reduce más de 3 cm, se descarta esta opción (precisaría más arena).
 - Si se reduce menos de 1 cm, presenta limitantes en la arcilla (convendría buscar otra fuente/veta).

Comprobación una vez hidratada en un recipiente saturado con agua

Para probar la cohesividad de la arcilla, se embarra la mano con la arcilla y se enjuaga en un balde con agua limpia, realizando sucesivos movimientos verticales de entrada y salida. Se debe observar cuanto del barro se sale en cada inmersión. Si antes de la tercera ya se lavó la mano, la arcilla es muy limosa y no tiene cohesividad. Si luego de 4 inmersiones, se observa cobertura de arcilla, la misma es usable.

Si la arcilla ya está sumergida y mezclada con agua, se emplea el método de inmersión de la mano en la fase líquida. Al retirarla, esperamos ver si luego de escurrir el agua, nos queda la mano cubierta de una fina capa homogénea de arcilla, como si fuera un guante. Si esto sucede, indica que la barbotina está bien preparada.

Mezcla inicial

A esta mezcla la denominaremos barro.

Se busca establecer una base de material, producto de la mezcla de arcilla con estiércol fresco de caballo o bovinos, que haya tenido un período de fermentación. En tal sentido será conveniente no considerar menos de 30 días para el plazo de estabilización en la época de calor y 90 días en época de frío.

La mezcla deberá estar compuesta por:

- 4 baldes de arcilla y 1 balde de estiércol
- 2 baldes de arcilla y 1 balde de estiércol

Con la arcilla preferentemente desmenuzada, la mezcla se puede realizar por diversos medios:

- A pala
- Con trompito de albañilería
- Con mezclador tipo para pintura

De acuerdo a la opción podemos ir incorporando desde el principio, volúmenes de agua que saturan la mezcla, generando un sobrenadante líquido y un precipitado sólido.

Para el período de fermentación, la mezcla se dispone en tambores de 200 lt o en fosas revestidas de polietileno (comúnmente llamadas *cancha*), y en ambos casos conviene cubrir con una tapa o plástico.

Después de algunos días, es conveniente realizar al menos una mezcla más del material en los tambores, recurriendo para esto a una mezcladora, o un palo que se introduce hasta el fondo (los primeros 10 días). Si se realiza una segunda mezcla, no conviene remover el material grueso que ya precipitó.

Mezclas a emplear

Según sea el destino se preparan diversas opciones:

Barro en estado Plástico

Mezclar el barro con agua hasta que se forme una pasta similar a un mousse.

Se utilizará para preparar el revoque grueso y para el mortero de asiento de los ladrillos comunes.

Barbotina

Se mezcla el barro con agua hasta lograr un estado cuasi-líquido. Para esto se toma el barro del depósito y se filtra utilizando una zaranda de malla tipo mosquitero, para evitar grumos.

Se empleará para:

- Preparar el mortero de los ladrillos refractarios.
- Preparar la aislación mezclando con aserrín (dejar el aserrín empapado sin excedentes de líquido).
- Embeber el lienzo símil tela arpillera (si se emplea en la etapa de terminación del fino).

Junta de ladrillos refractarios

Se prepara con barbotina filtrada con mallas que no tengan una luz mayor a 1x1 mm, combinada con arena cernida con malla tipo mosquitero, de tal manera que no haya piedritas que operen de limitantes en el momento de buscar la altura deseada entre las hiladas.

La mezcla es una proporción que oscila entre estas dos opciones:

- 1 de barbotina y 1 de Arena fina tamizada
- 1 de barbotina y 2 de arena fina tamizada.

Junta de ladrillos comunes

Se prepara con la mezcla en estado plástico y arena fina sin tamizar, ya que la junta generalmente es de entre 0,5 y 1 cm de espesor. Se debe evitar hacer juntas más gruesas para contrarrestar la retracción del mortero y la posible aparición de fisuras durante el secado.

La proporción de la mezcla es 1 parte de arcilla en estado plástico y de 1 a 2 partes de arena fina sin tamizar.

Revoque grueso

Cuando se reviste la estufa y/o el banco térmico, se prepara una mezcla parecida a la de junta de ladrillos, pero se incorpora fibra vegetal, para aumentar la resistencia a la tracción de la mezcla. La fibra deberá ser preferentemente sin cavidad de aire (médula sólida). En tal sentido se puede recomendar el empleo de coirón, o pasto de mallín; en otras regiones puede ser espartillo o lino.

El largo de las fibras puede ser entre 8 y 12 cm. La proporción de la mezcla será 1 parte de arcilla en estado plástico, 3 partes de arena y 3 de fibra. La fibra se aporta de a porciones y mezclando para que se impregne y pueda lograrse un entremezclado parejo.

Revoque fino y/o terminación de la superficie

En el proceso de terminación se pueden aplicar elementos y realizar diferentes procedimientos con fines estéticos. Algunos de éstos son:

Tambor para campana: para retirar la pintura de manera química se puede aplicar removedor de pintura en gel y usar viruta de acero; de manera mecánica se puede usar una amoladora de mano con un cepillo de acero o un disco flap de lija. Con la estufa ya construida y en marcha, se puede pavonar la superficie metálica buscando frotar o realizando aplicaciones puntuales con un lienzo embebido en aceite de cocina, sobre la superficie del tambor caliente, obteniendo un acabado tipo tornasolado.

Paredes: pueden incorporarse en la superficie elementos cerámicos o apliques de vitrofusión, pegándolos con barro.

Se pueden realizar diversos procedimientos de terminación de la superficie de las estufas:

a) *Ladrillo a la vista*

b) *Revoque fino*

c) *Revestido con tela*

a) *Ladrillo a la vista:* se trabaja con el mayor cuidado, sin humedecer o humedeciendo mínimamente los ladrillos al momento de emplearlos, de manera de retirar las manchas de la argamasa con facilidad.

b) *Revoque fino:* se aplica por sobre el revoque grueso, buscando generar una superficie lisa. La mezcla se realizará con 1 parte de barbotina, 3 de arena fina y 6% de engrudo de harina. Una vez que se haya tirado la mezcla, se frota la superficie con una esponja húmeda, o con llana metálica para lograr una terminación superior. A la mezcla de revoque fino se le puede aplicar colorantes, del tipo ferrite, para que la masa aplicada consiga una tonalidad deseada.

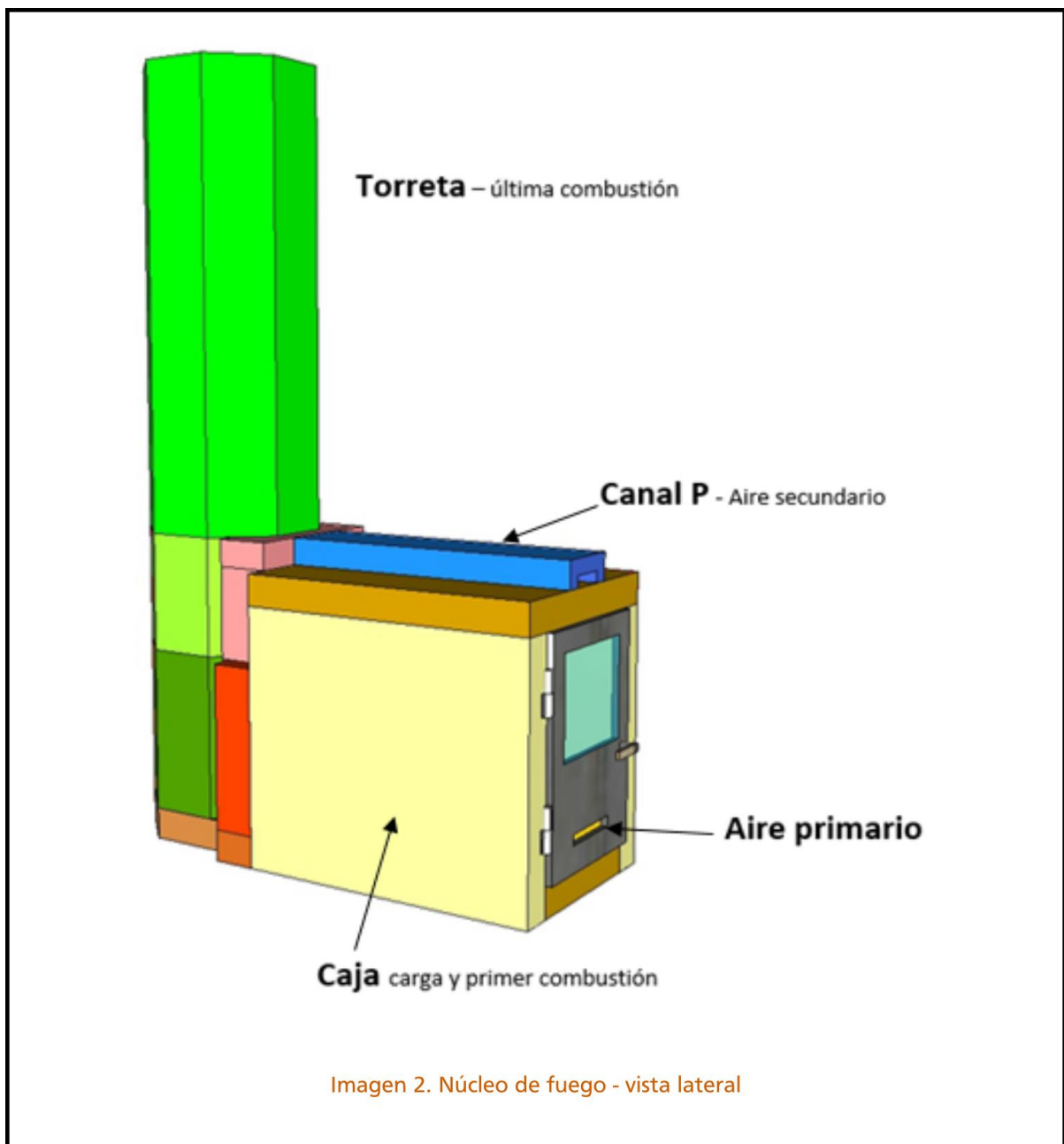
c) *Revestido con tela:* sobre la base de revoque grueso bien alisado se puede obtener un acabado que presente un aspecto de una trama textil, algo que también impedirá la presencia de fisuras sobre la superficie. Para esto se emplea arpillera orgánica, a la que luego de medir y recortar para adaptarla al lugar en el que se aplicará, se la sumerge en una batea que contenga barbotina, se retira la tela y se la aplica sobre la superficie objetivo.

El excedente de líquido se retira mediante la colocación de capas de arena fina sobre la superficie, realizando movimientos con las palmas de las manos, de manera de escurrir la mezcla hasta que se comience a observar la imagen del entramado de la tela.

Núcleo de Fuego

La clave de la estufa es el núcleo de fuego; allí se realizan las diferentes etapas de combustión y por tal motivo es preciso tener todos los recaudos necesarios para que se cumplan las diversas condiciones que se requieren.

Las estufas Rocket de mampostería tienen un número en su nombre, el cual hace referencia al diámetro interior (en pulgadas) de la torreta; por ejemplo, una JOTA8 y una BBR8, ambas tendrán el mismo diámetro en la torreta. En el caso de las BBR este diámetro se emplea para definir medidas internas y áreas del diseño.



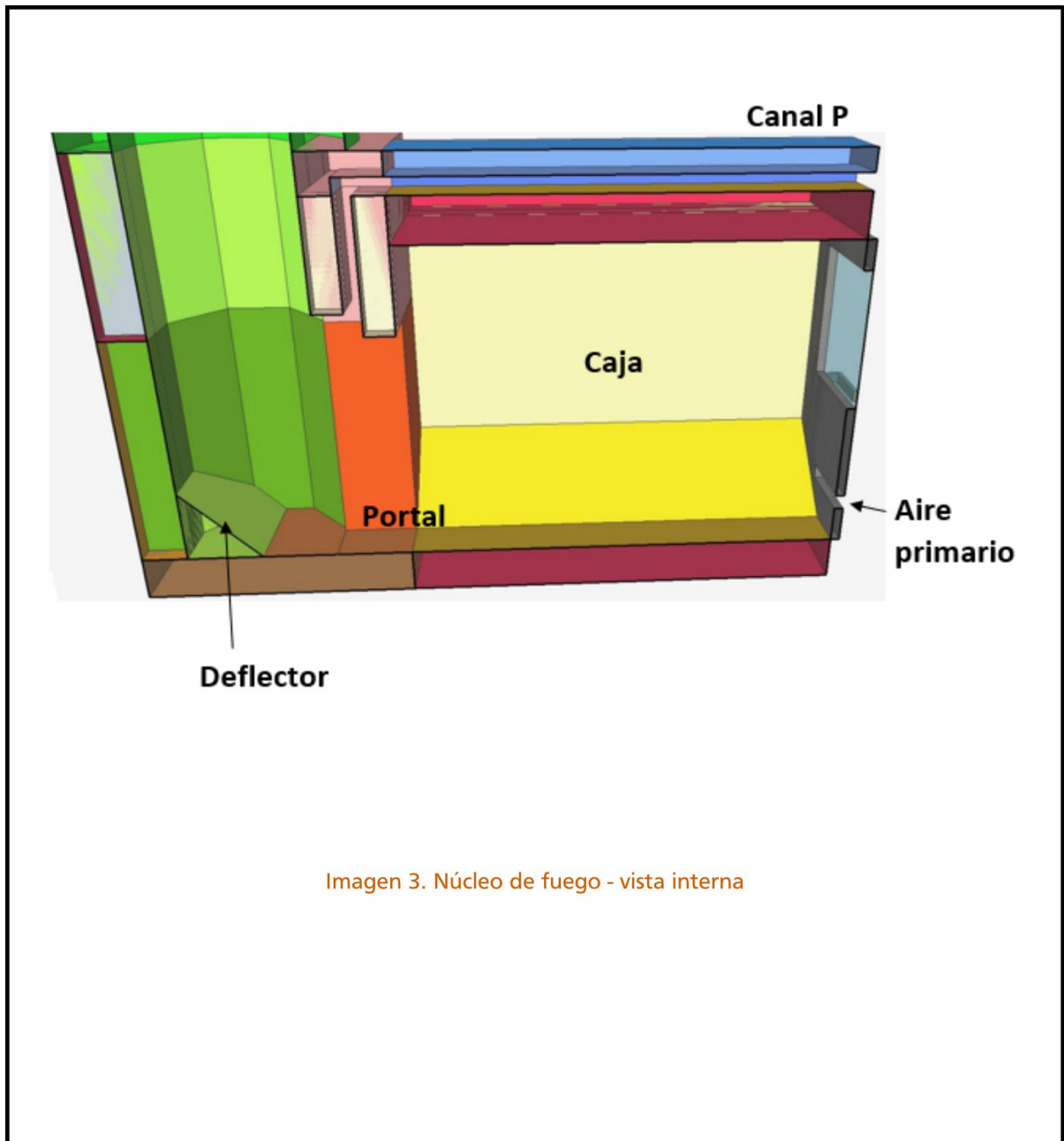


Imagen 3. Núcleo de fuego - vista interna

Valores para cálculos B, diámetro y área

El módulo B es la base para calcular las medidas interiores del núcleo, siendo B igual a 0,72 veces el diámetro del sistema (D).

$$B = 0,72 \times D$$

D = diámetro de torreta

Para convertir el valor de pulgadas de la torreta a centímetros, debemos multiplicar el valor por 2,54 (cm/pulg).

$$D \text{ [cm]} = 2,54 \times D \text{ [pulg]}$$

El área de la torreta, para el cálculo inicial, se asimila a una figura circular, por lo que para obtener el valor de área se puede realizar uno de los dos cálculos, recordando que el radio (r) es la mitad del diámetro (D).

$$a = \text{Pi} \times r^2$$

$$a = (\text{Pi} \times D^2) / 4$$

r = radio de torreta (D/2)

D = diámetro de torreta

Pi, es una constante que se puede expresar (Para estos cálculos) en el número 3,14

Para la caja de fuego, las medidas a calcular serán las siguientes:

$$\text{Ancho} = 2 \times B$$

$$\text{Alto} = 3 \times B$$

$$\text{Profundidad} = 4 \text{ a } 5,5 \times B$$

Para el canal P, las medidas a calcular serán las siguientes:

$$\text{Ancho} = 0,5 \times B$$

$$\text{Alto} = (\text{área de torreta} \times 0,05) / \text{Ancho}$$

Proyección al fondo, para la etapa vertical = Altura

$$\text{Área} = 0,05 \times \text{área de torreta}$$

Para el Portal, las medidas a calcular serán las siguientes:

$$\text{Ancho} = 0,5 \times B$$

$$\text{Alto} = 2,2 \times B$$

Para el Aire primario, las medidas a calcular serán las siguientes:

$$\text{Área} = 0,2 \times \text{área de torreta}$$

Para la altura de la torreta, que es la altura calculada desde el piso de la caja de fuego hasta la finalización de la torreta, el cálculo es un rango que se modifica en función de:

- La exigencia de contrapresión del recorrido de gases post estufa.
- El lugar donde se emplazará la estufa.
- Poder calentar un elemento que se emplaza contiguo a la torreta (horno, tanque, radiador) y/o se desea finalizar antes el tramo donde se terminan de quemar los gases:

$$\text{Alto} = n \times B$$

n = un valor entre 7 a 10

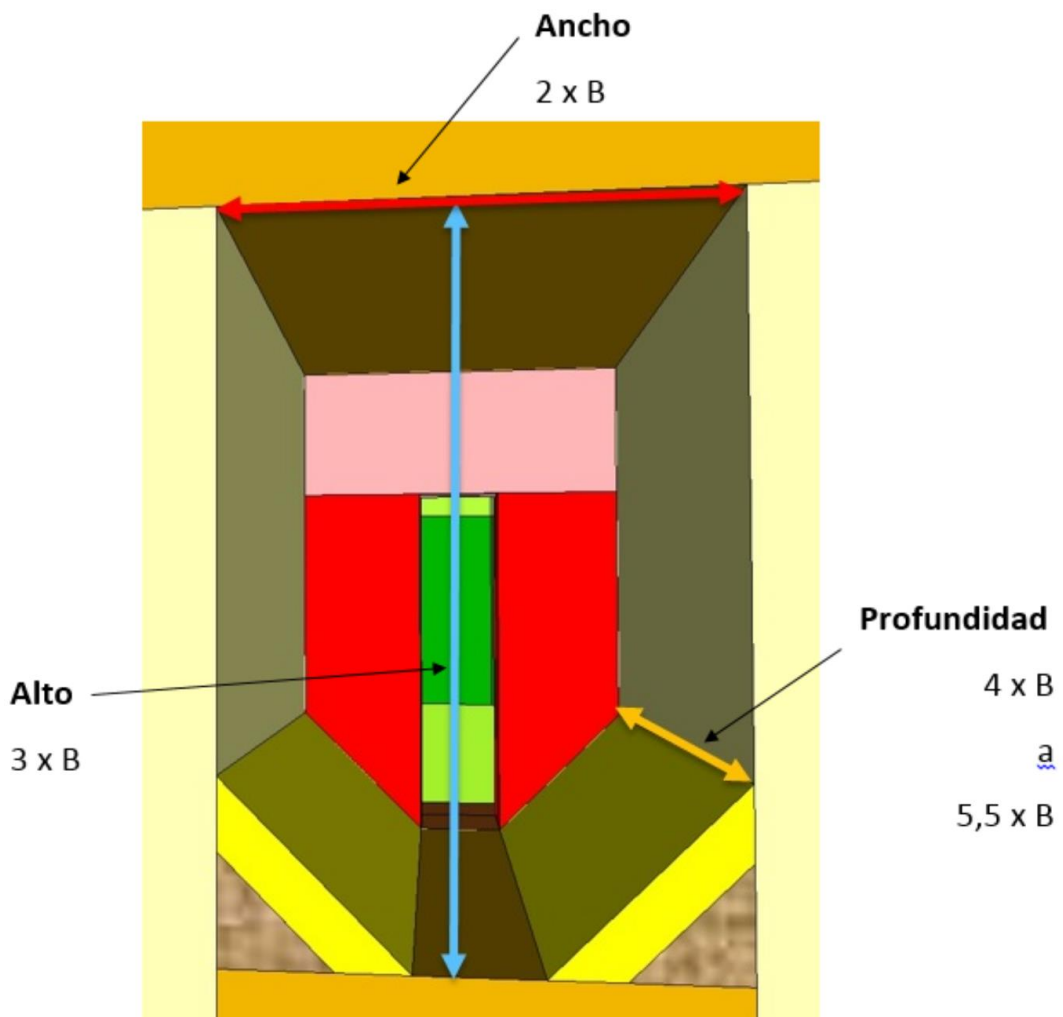


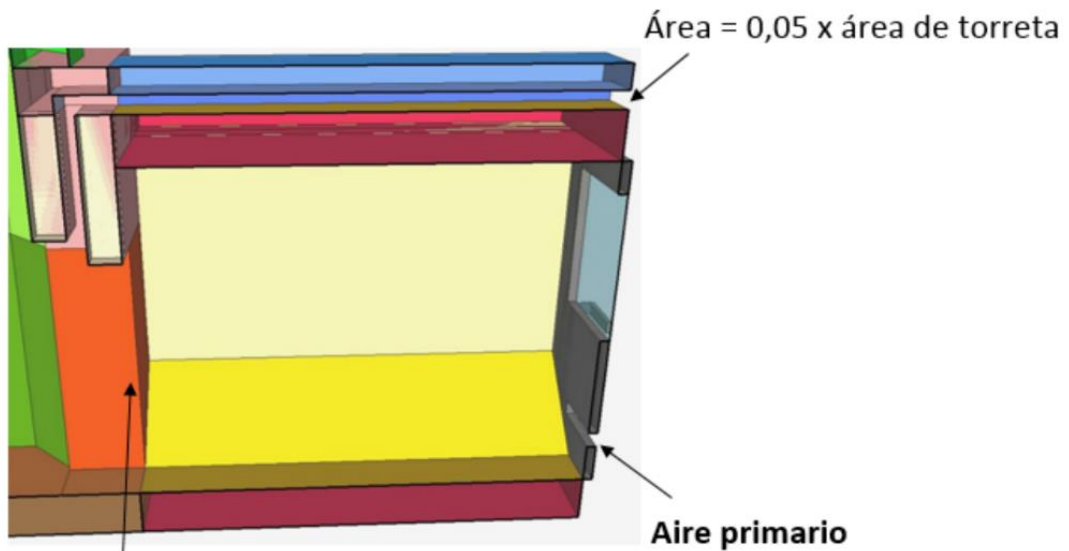
Imagen 4. Medidas de la caja de fuego

Canal P

Ancho = $0,5 \times B$

Alto = $(\text{área} \times 0,05) / \text{Ancho}$

Proyección al fondo, para la etapa vertical = Altura



Portal

Ancho = $0,5 \times B$

Alto = $2,2 \times B$

Imagen 5. Medidas Canal P y Portal

Altura

Entre

7 x B

a

10 x B

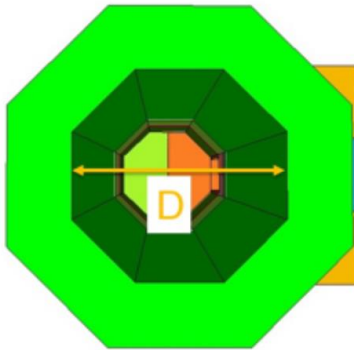
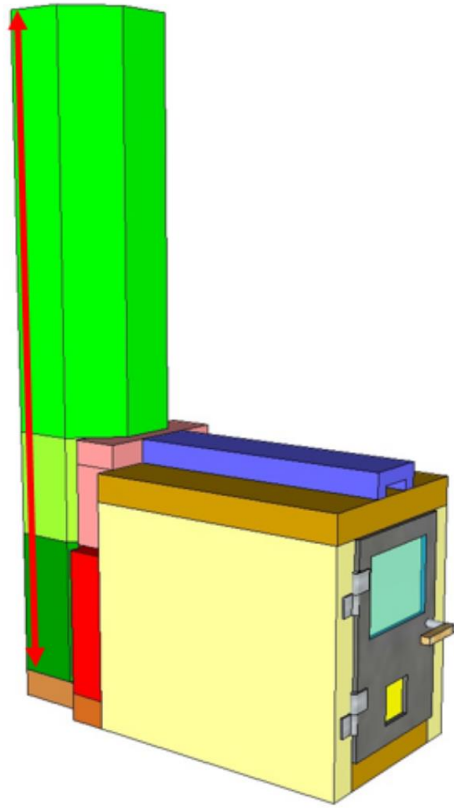


Imagen 6. Medidas Torreta

Chimenea interna (torreta)									
Diámetro ["]	3"	4"	5"	6"	7"	8"	9"	10"	pulg
Diámetro [mm]	75	100	130	150	180	200	230	250	mm
Radio [cm]	3,8	5,0	6,5	7,5	9,0	10,0	11,5	12,5	cm
Altura máxima [cm]	54,0	72,0	93,6	108,0	129,6	144,0	165,6	180,0	cm
Área [cm ²]	44	78	132	176	254	314	415	490	cm ²
B = para cálculos	5,4	7,2	9,4	10,8	13,0	14,4	16,6	18,0	cm
Caja									
Ancho [cm]	10,8	14,4	18,7	21,6	25,9	28,8	33,1	36,0	cm
Alto [cm]	16,2	21,6	28,1	32,4	38,9	43,2	49,7	54,0	cm
Profundidad [cm]	21,6	28,8	37,4	43,2	51,8	57,6	66,2	72,0	cm
Portal									
Ancho [cm]	2,7	3,6	4,7	5,4	6,5	7,2	8,3	9,0	cm
Alto [cm]	11,9	15,8	20,6	23,8	28,5	31,7	36,4	39,6	cm
Profundidad [cm]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	cm
Canal P									
Ancho [cm]	2,7	3,6	4,7	5,4	6,5	7,2	8,3	9,0	cm
Alto [cm]	0,8	1,1	1,4	1,6	2,0	2,2	2,5	2,7	cm
Proyección [cm]	0,8	1,1	1,4	1,6	2,0	2,2	2,5	2,7	cm
Aire primario									
Ancho [cm]	3,0	4,0	5,2	5,9	7,1	7,9	9,1	9,9	cm
Alto [cm]	3,0	4,0	5,2	5,9	7,1	7,9	9,1	9,9	cm
Área [cm ²]	8	15	26	35	50	62	83	98	cm ²

Tabla 1. Medidas de núcleos de fuego BBR

FUENTE: Planilla de cálculo en <http://www.batchrocket.eu/es/construccion#dimensione>

Variación constructiva de la torreta

Se suma recientemente una variación constructiva en la torreta, en la cual se busca respetar la estructura geométrica en el tramo inicial (en la pared más distante al portal) con la finalidad de favorecer la cinética de los cuernos de fuego.

La construcción será con una sección transversal cuadrada (no más hexagonal), adicionando cortes de ladrillos que generen ángulos de 45° , tal como se indicó en el párrafo precedente.

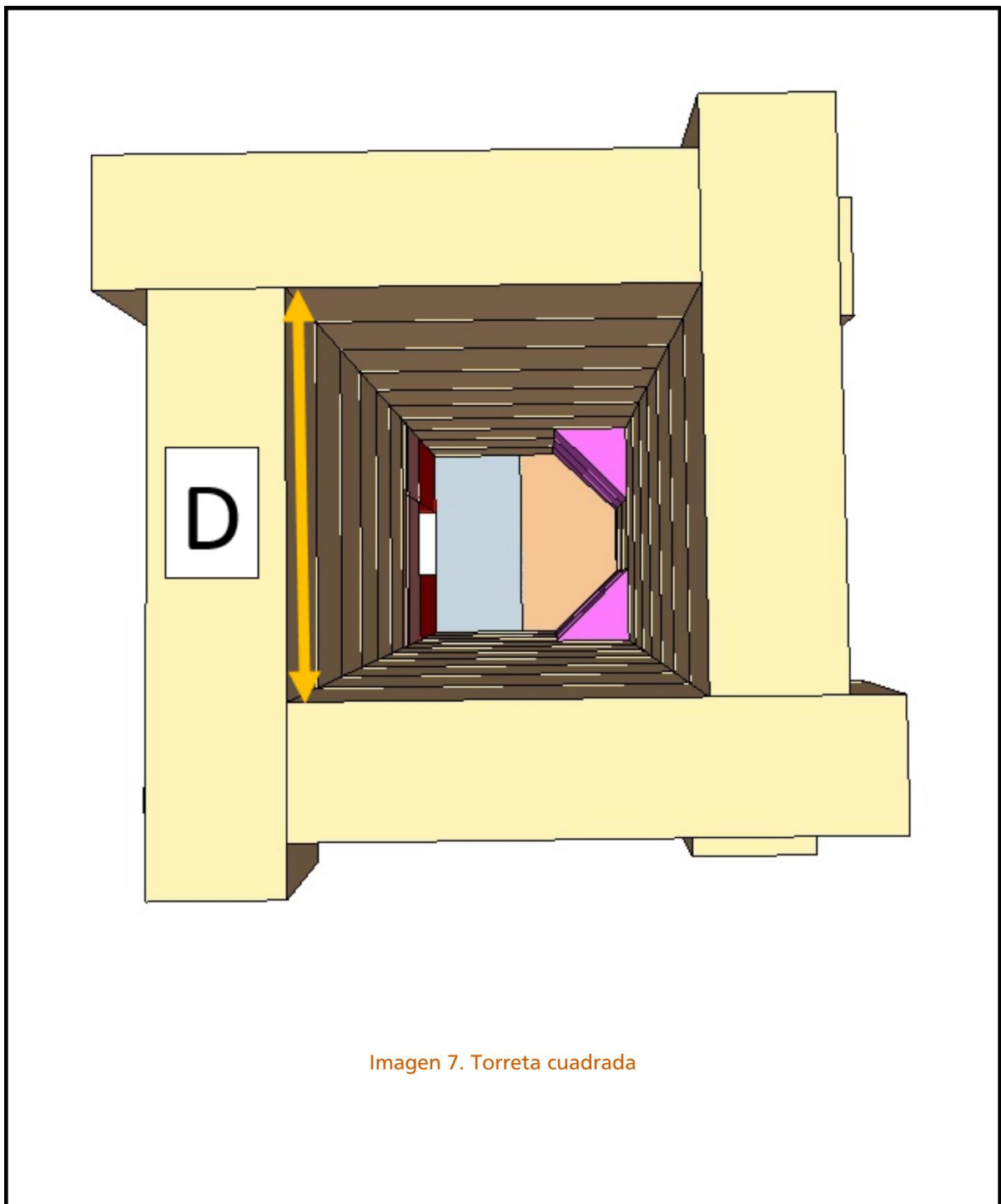


Imagen 7. Torreta cuadrada



Imagen 8. Deflectores en torreta cuadrada

Campana primaria de gases

Los gases que salen de la torreta son conducidos a través de una campana, con el objetivo de realizar la primera entrega de calor al ambiente. Esta campana también permite conducir los gases hacia abajo a una altura no inferior al piso de la caja de fuego, para poder continuar la conducción de los mismos y su aprovechamiento, previo a la salida al exterior.

Se deberán considerar:

- La altura entre el final de la torreta y el techo de la campana,
$$\text{Altura de separación} = \text{área de torreta} / \pi / D$$
- Dejar esta distancia en un valor que oscile entre 5 y 10 cm.
- El área del "ducto" de descenso está relacionado con el área de la torreta (a); preferentemente este valor debe ser mayor a **5a**.

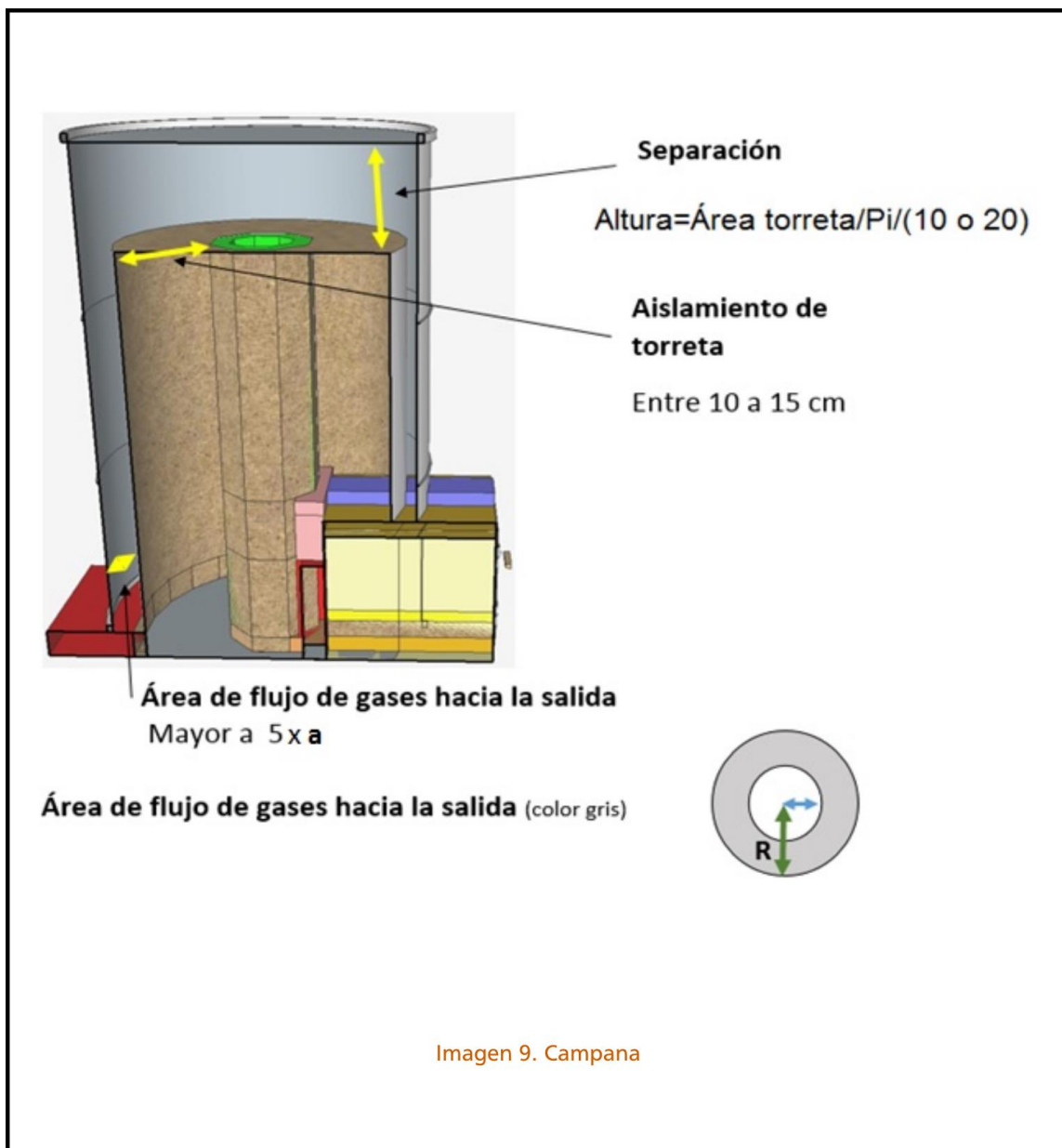


Imagen 9. Campana

Para el cálculo de dos cilindros, cuando se emplea por ejemplo el tambor de 200 lt. externo y el cilindro de contención del aislamiento de la torreta, el cálculo será:

$$a = \text{Pi} \times (R2 - r2)$$

Esta superficie deberá ser mayor o igual a la sección del sistema.

La superficie de exposición que permite transferir el calor, se estima a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{ISA [m}^2\text{]} = \text{área D [m}^2\text{]} \times 290$$

BBR	ISA (m ²)
5	3,7
6	5,3
7	7,2
8	9,4
9	11,4
10	14,7

Tabla 3. Superficie de intercambio térmico, en función del área de la torreta

Ducto de empleo de calor

El ducto posterior a la campana primaria puede adoptar diversas formas para cumplir distintos objetivos, una segunda campana, un banco de acumulación térmica o de transferencia inmediata, una pared, etc. Se calcula en función del valor de ISA, restando la superficie destinada a la campana primaria. Debe tenerse en cuenta además que la superficie que está en contacto con otra de aislamiento, no será de acumulación y transferencia térmica. Como regla general para una implementación confiable y de encendido sencillo, con una campana primaria compuesta por un tambor de 200 lt, el recorrido de gases que le sigue (incluyendo el banco térmico), puede tener un largo total de:

BBR	m
6	8
8	12

Tabla 4. Largo total de recorrido de gases para dos tamaños de estufas

Algunas aclaraciones al cuadro anterior:

-La longitud anterior incluye un tramo vertical de al menos 3 m. De este este tramo vertical, se recomienda que todo lo posible esté dentro de la vivienda.

-Cada codo a 90° de este trayecto implica una reducción en 1,5 m de recorrido.

-Se puede sumar 1m al recorrido si la salida está al lado de la campana primaria.

En esta etapa, en el banco térmico se pueden emplear materiales que permitan acumular la mayor cantidad de calor posible por metro cúbico, para luego liberarlo lentamente. Es por esto que conviene considerar ciertas cuestiones que permitan mejorar la eficiencia de acumulación y transferencia al ambiente objetivo.

Primero se debe generar aislamiento de las caras hacia donde no se desea que se difunda el calor, esto es el piso y eventualmente la pared que cumplirá la función de respaldar del banco; salvo que se desee transferir calor al otro ambiente contiguo, un buen aislamiento estará dado por la construcción de una estructura que contenga cavidades de aire, las cuales se pueden realizar con envases vacíos, unidos con arena o barbotina con aserrín.

En cuanto a los elementos a emplear en la construcción, aquellas piedras que presenten mayor densidad, también serán mejores acumuladoras. En las primeras construcciones se propuso conducir los gases dentro del banco de masa, mediante caños de chapa galvanizada. Con la experiencia se observó que también se pueden construir conductos estancos usando ladrillos y mortero de barro con las paredes internas alisadas mediante revoque, para reducir el rozamiento de los gases con las paredes.

Para incrementar la acumulación del banco y bajar la temperatura de su superficie (especialmente en estufas que están encendidas todo el día), se realizará una capa superior de entre 10 y 15 cm (un espesor menor redundará en una superficie muy caliente, y un espesor mayor tardará demasiado en llegar a la temperatura de confort). Se puede regular la liberación del calor a través del empleo de telas, cobertores, almohadones, dispuestos sobre la superficie exterior del banco.

Ducto de salida final

Cuando se realiza el ducto final, este puede ser en parte de mampostería y aún dentro de la casa/construcción o fuera de ésta puede ser de cañería metálica. En los tramos verticales de cañería, se debe prever que, en cada conexión, la parte macho quede arriba y la parte hembra quede abajo. De esta manera se busca que en caso de haber condensación de vapores (sucede al inicio de cada encendido), éstos queden dentro del conducto. En caso de realizar la conexión al revés de lo mencionado, por cada unión habrá un hilo de condensado saliendo, manchando el exterior de los caños, y liberando fuerte olor a madera hervida. La salida de humos al final del ducto precisa que el extremo se ubique en un espacio que tenga ventilación a los cuatro vientos, preferentemente con un despeje no menor de 1 m por encima de la cumbrera del techo de la casa y los obstáculos cercanos (5 m alrededor)

El sombrero será preferentemente del tipo Huracán (también llamado Venturi o Americano), de no conseguir o poder hacerlo (ver planos) se puede emplear el H.

Criterios de seguridad

Radiación de Campana y material combustible

La campana emite radiación calorífica elevada que envuelve a la torreta. Al instalar la estufa habrá que observar la relación de la campana con el entorno de la construcción:

- ¿Hay paredes o techos que poseen material combustible?
- ¿Qué distancia existe entre la campana y estos materiales?

En caso de existir materiales combustibles se recomienda tomar mínimamente las siguientes precauciones, en especial si la campana es metálica (por ejemplo el tambor de 200 litros):

A) Campana metálica y Pared combustible

Distancia entre Pared y Campana metálica	Acción
Mayor a 45 cm	No requiere protección
Entre 30 y 45 cm	Colocar un escudo térmico, a 2,5cm de la pared y el espacio restante hasta la campana
Entre 30 y 15 cm	Colocar doble escudo térmico, el primero a 2,5cm de la pared, el segundo a 2,5cm del primer escudo y el espacio restante hasta la campana
Menos de 15 cm	Deshacer, no se puede

Escudo térmico = chapa galvanizada, mínimo n 25 que supere en 10 cm la altura del tambor y 30cm el ancho del mismo, centrado respecto al tambor en una proyección perpendicular a la pared.

B) Campana metálica y Techo/cielo-raso combustible

Distancia entre Techo y Campana metálica	Acción
Mayor a 90 cm	No requiere protección
Entre 67,5 y 90 cm	Colocar un escudo térmico, a 2,5cm del techo y el espacio restante hasta la campana
Entre 35 y 67,5 cm	Colocar doble escudo térmico, el primero a 2,5cm del techo, el segundo a 2,5cm del primer escudo y el espacio restante hasta la campana
Menos de 35 cm	Deshacer, no se puede

Escudo térmico = chapa galvanizada, mínimo n 25 que supere en 20 cm respecto al diámetro del tambor, centrado respecto al tambor en una proyección perpendicular al techo.

Considerar que si se emplean en el techo de la campana ladrillos de HCCA la emisión de calor por la parte superior de la campana (hacia arriba) se reducirá ampliamente.

C) Campana mampostería y Pared combustible

Distancia entre Pared y Campana mampostería	Acción
Mayor a 20 cm	No requiere protección
Entre 12 y 20 cm	Colocar un escudo térmico, a 2,5cm de la pared y el espacio restante hasta la campana
Entre 6 y 12 cm	Colocar doble escudo térmico, el primero a 2,5cm de la pared, el segundo a 2,5cm del primer escudo y el espacio restante hasta la campana
Menos de 6 cm	Deshacer, no se puede

Escudo térmico, similares consideraciones al inciso A).

D) Campana mampostería y Techo/cielo-raso combustible

Distancia entre Techo y Campana mampostería	Acción
Mayor a 45 cm	No requiere protección
Entre 34 y 45 cm	Colocar un escudo térmico, a 2,5cm del techo y el espacio restante hasta la campana
Entre 17 y 34 cm	Colocar doble escudo térmico, el primero a 2,5cm del techo, el segundo a 2,5cm del primer escudo y el espacio restante hasta la campana
Menos de 17 cm	Deshacer, no se puede

Escudo térmico, similares consideraciones al inciso B).

Ambiente de la estufa, donde se puede dormir

Se requiere que exista intercambio de aire con el exterior, dado que la estufa consumirá aire presente en el ambiente. Es necesario cumplir con la normativa para ambientes donde se instalan termotanques a gas, empleando las rejillas de ventilación ubicadas a dos alturas en una pared relacionada con el exterior. Se recomienda consultar la reglamentación para la zona donde se emplazará la estufa.

Emisión de monóxido de carbono

Una estufa que funciona correctamente (quema completa y buen sello de todo el sistema de conducción de los gases) no debe emitir monóxido al ambiente, pero no deja de ser un artefacto que puede llegar a presentar fallas. En este sentido medidas como la ventilación indicada en el punto precedente y un sensor de gases con alarma por riesgo de presencia de monóxido de carbono, son recomendables.

Dimensionamiento de la estufa

El dimensionamiento de la estufa está relacionado a la oferta de calor que puede dar la misma, a las condiciones ambientales de la zona, a las necesidades objetivo y a las condiciones del ambiente a calefaccionar.

En ambientes que poseen mayor aislamiento del entorno, la necesidad de calefacción se reduce, ya que se disminuye la pérdida del calor liberado.

Potencia bruta máxima de la estufa: Está dada por la cantidad de madera que puede quemar la cámara de combustión, bajo un régimen de alimentación constante. Aunque no se trate del uso típico, sirve para saber el máximo desempeño. Usualmente una BBR6 quema 6 Kg de madera por hora, y una BBR8 quema 9 kg de madera por hora.

Potencia media de la estufa: potencia media que entrega en un período de 24 horas con dos fuegos al día llenando, la caja de fuego al máximo cada vez. Se trata de una alimentación por lotes, no continua.

Eficiencia estimada: 80%

Diámetro de chimenea interna	mm	75	100	130	150	180	200	230	250
	Pulg.	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga de madera por fuego (kg)		0,8	1,8	3,9	6,0	10,4	14,2	21,6	27,8
Potencia media entregada (kW) :									
2 fuegos/24h		0,2	0,6	1,2	1,9	3,2	4,4	6,7	8,6
Potencia media entregada (kcal/h) :									
2 fuegos/24h		200	475	1.044	1.591	2.758	3.765	5.728	7.372

Tabla 5. Potencia media estimada para distintas estufas BBR, con dos fuegos por día

Diseños de estufas

Paralelamente a establecer el núcleo de fuego que precisaremos, se proyecta qué funciones esperamos de la estufa y el espacio donde se construirá, así podemos trabajar el diseño de la misma.

Posibles funciones:

- ✓ Calor de transferencia inmediata.
- ✓ Calor de transferencia tardía (banco de acumulación térmica).
- ✓ Calentar agua para: calefacción (radiadores, losa radiante) y/o sanitario (cocina y baño).
- ✓ Cocción en horno.
- ✓ Estética (puerta con vidrio, terminaciones de la estructura).

Calor de transferencia inmediata

Para transferir inmediatamente el calor que poseen los gases que se liberan desde la torreta, existen 2 opciones: por radiación o por convección.

Radiación

Las superficies más apropiadas para emitir calor por radiación son aquellas que se calientan más rápidamente, por lo que el metal es uno de los materiales preferidos para priorizar esta forma de transferencia de calor en las campanas que ofrezcan esta posibilidad. La más frecuente es el empleo de una campana inmediata a la salida de la torreta. Se emplea como material un tambor de metal de 200 litros, al que se le retira la tapa que posee las salidas de líquido y se lo limpia internamente mediante el quemado del remanente del lubricante que haya contenido. También se pueden crear otros puntos de transferencia térmica. A continuación, se muestra un caso de una estufa que posee dos campanas para ambientes contiguos.

Convección

Se realiza mediante el pasaje de aire de la casa a través de un ducto de intercambio, de manera de transportar el calor hacia zonas con diferentes temperaturas.

Calor de transferencia tardía

Para transferir tardíamente el calor, se construyen estructuras que puedan acumularlo y liberarlo aún una vez apagado el fuego. Esto permite sostener un ambiente confortable con un menor número de fuegos al día y mantener la calidez del lugar durante más tiempo.

La transferencia de calor puede ser por dos vías: la común a todas las estufas que es a través de los gases, y la otra puede ser a través de agua que se calienta y posteriormente transfiere el calor a una estructura sólida (ej. un piso radiante).



Imagen 10a. Estufa BBR8 tambor que alimenta el sistema.
Foto: L. Gallo Mendoza



Imagen 10b. Módulo de intercambio de calor en habitación contigua. Estufa instalada en el Club La Frontera, Puelo, Pcia. de Chubut. Fuente foto: L. Gallo Mendoza



Imagen 11. Estufa BBR8 con doble tambor para maximizar la radiación. Foto: TierraBilú



Imagen 12. Estufa construida en Sierras de Rocha, Uruguay. Foto: P. Kulbaba

Vía los gases

Los gases requieren ser conducidos a través de un sistema que impida su liberación antes de llegar al punto final del ducto, al aire libre. En dicho proceso los gases irán entregando parte del calor que contienen al entorno y cuanto más tiempo se mantengan en un tramo del ducto, mayor será la relación con el material que lo contiene para transferir calor.

También se debe considerar el material que se emplea. En este sentido, materiales que presenten mayor densidad, tenderán a retener más calor y lo liberarán durante más tiempo, motivo por el cual si se emplean piedras de alta densidad se tendrá una unidad de acumulación térmica más interesante que si se emplea una capa de ladrillos.

Respecto de la construcción de un banco térmico para sentarse (o acostarse), es conveniente realizar una capa superior con un espesor de unos 10 cm, de tal manera que se regule el pasaje de calor hacia la zona de contacto con la persona.

Vía el agua

Según los destinos que busquemos abastecer, se requiere la instalación de uno o dos depósitos para calentar agua en la campana primaria. El revestimiento de la campana puede llegar a ofrecer opciones de usos múltiples (horno, salida de aire caliente, una cara de radiación directa), y el calor cubre una mayor distancia, alcanzando ambientes distantes a la estufa.

Si se carece de espacio, se puede prescindir de una estructura tipo banco. En esta instancia se puede considerar el empleo de agua caliente, conducida por radiadores, para transferir energía de manera directa al ambiente. Para tal fin debe disponerse de agua con una temperatura superior a la deseada, a través de una unidad de acumulación térmica, que oficie de segundo tanque -por fuera de la estufa- con aislamiento térmico.

Agua para calefacción y uso sanitario

Ampliando el punto anterior, la calefacción se puede realizar mediante la transferencia de calor de tanques a radiadores (preferentemente puesto a la salida de la torreta, a serpentina). Es conveniente recordar que la transferencia de calor no debe estar en contacto directo con la pared de la torreta, dado que, si pierde calor forzosamente, disminuirá la eficiencia de la estufa.

La estratificación es el ordenamiento de los fluidos por diferencia de densidad debido a la variación de la temperatura. Las capas de fluido más caliente (más livianas) se ordenan en las zonas superiores del recipiente, mientras que las más frías, se establecen en las zonas inferiores. Cualquier opción de recipiente que se emplee, es conveniente que ofrezca un sistema de flujo del agua, de tal manera que se estratifique y nos permita aprovechar el fluido más caliente.

Horno

Se puede instalar un horno en la zona inmediata a la salida de los gases de la torreta, en dicho caso lo más frecuente es construir esta zona de mampostería instalando la estufa dentro del volumen generado y teniendo en cuenta orientar la salida de la torreta de tal manera que los gases impacten sobre la superficie de alguna de las caras del horno.

El horno suele replicar el concepto de los cúbicos, en este caso sellados todos los encuentros de las caras, evitando el pasaje de gases al interior de la casa.

Existen experiencias de construcción de horno tipo semiesfera (tradicional o pizzeria), el cual recibe el calor proveniente de la torreta a través de una ventana guillotina, que se puede cerrar una vez calentado el ambiente del horno y seguir conduciendo calor a otros destinos.



Imagen 20:
Revestimiento del horno en progreso.
Foto: L. Gallo Mendoza

Imagen 21:
Estufa BBR&L. Horno sobre tambor de estufa.
Localidad de La Granja, Pcia. de Córdoba.
Foto: P. Kulbaba

Imagen 22:
Estufa JOTA8 en casa de Jane y Sebastián.
Horno sobre tambor de la Jota.
Es la inspiración para el horno de la fotografía anterior.
Chapadmalal, Pcia de Buenos Aires.
Foto: P. Kulbaba



Imagen 13. Estufa BBR9 con sistema de convección forzada. Mercedes, Pcia de Buenos Aires. Foto: P. Kulbaba



Imagen 14. BBR6 con campana de ladrillos y plancha caliente construida en Chascomús, Pcia. de Bueno Aires. Foto: P. Kulbaba



Imagen 15. BBR6L con campana de ladrillos y horno construida en Chascomús, Pcia. de Buenos Aires. Foto: P. Kulbaba



Imagen 16. Estufa BBR8 con sistema de agua de calefacción. Elementos de seguridad. Foto: P. Kulbaba



Imagen 17. Estufa BBR8 con sistema de agua de calefacción. Tablero de mandadas y retornos. Foto: P. Kulbaba



Imagen 18. Termografía del tablero de imagen anterior. Foto: N. Di Ruscio



Imagen 19. Estufa BBR6 con Horno. Fuente: E. Rocha

Estética

Este es un tema que abarca diversidad de cuestiones, pero nos centraremos básicamente en la posibilidad de ver el fuego y detalles de terminación.

Ver el fuego

Es un hecho, ver el fuego es un espectáculo que no deja de seducir, por tal motivo la puerta es el punto en el cual se puede establecer una capa transparente que permita verlo, sin afectar la eficiencia de la estufa.

Más allá del diseño de la puerta, cabe recordar que el área de ingreso de aire primario, debe ser el 20% del área de la torreta (0,2 x a).



Imagen 23. Puerta de estufa BBR6, con control de aire primario, vidrio cerámico, y manija de cierre con prensado de hoja contra marco. Debajo de la puerta se ve el cajón cenicero.

Detalles de terminación

Este responde a una cuestión estética que variará de acuerdo a quien disfrutará la estufa. Se puede aportar color a través de arcillas de diferentes tonalidades. También es posible incorporar ferrite; en este caso se preparará la mezcla con la barbotina que impregnará la tela arpillera, para poder colorear algún sector que se desee e inclusive dar diversidad de colores.



Imagen 24. Estufa BBR8. Detalle de revoque con color sobre banco de masa.
Esquel, Pcia de Chubut. Foto: L. Gallo Mendoza

La superficie metálica puede ser trabajada de tal manera que no queden rastros de la pintura original (caso de los tambores de 200 litros). La misma se puede retirar por procedimiento químico y/o físico, o bien, trabajarla de manera que tome un aspecto tornasolado mediante un pavonado, aplicando aceite de cocina sobre la superficie caliente, distribuido con un trapo embebido.



Imagen 25. Trabajos en superficie metálica.
Foto: L. Gallo Mendoza

Simplificación constructiva

El proceso de construcción debe cumplir con las medidas de cada uno de las componentes y sostener nivel y plomo para cada una de las piezas que se van colocando, así como múltiples cortes para ir haciendo que los ladrillos logren cubrir el lugar y la posición que les corresponda. Esta situación hace que el proceso de construcción del núcleo de fuego, requiera paciencia y sucesivos cuidados que podrían desestimular a quien quiera realizar la construcción por su propia cuenta, o que aumente los tiempos constructivos (y por consecuencia las horas trabajadas que se deben cobrar) para quien ofrezca el servicio de construcción.

Existe una alternativa, que en la etapa de construcción permite reducir tiempos y facilitar que las dimensiones de las componentes se cumplan con mínimos cuidados, y es a través de la construcción de piezas pre moldeadas. En este sentido, en un trabajo conjunto entre los autores y dos ceramistas amigos, Ana Tejera y Agustín Nicolás, estamos realizando algunas experiencias de diseño de núcleos que permitan llegar a estos objetivos. En lo que respecta a carpintería, recibimos la colaboración de Martín Honorato y Gali Iacopini.

En nuestro caso estamos avanzando con arcilla refractaria, aunque según reporta Van den Berg se realiza también con hormigón refractario.

Actualmente estamos en proceso de definir el diseño, por lo que no podremos facilitar los planos de moldes. Pasada esta etapa de realización de prototipo, serán publicados oportunamente en espacios colaborativos como el grupo de estuferos en Facebook "Mardelfuego" y las páginas de Hacono e INTA.



Imagen 26. Pieza premoldeada y su molde de madera. Trevelin, Pcia de Chubut. Foto: E. Rocha



Imagen 27. Pieza premoldeada y su molde de madera. Trevelin, Pcia de Chubut. Foto: E. Rocha



Imagen 28. Estufa BBR8L en construcción. Torreta en pre moldeado refractario. Ing. Maschwitz, Pcia. De Buenos Aires. Foto: P. Kulbaba



Imagen 29. Cámaras premoldeadas, primera versión en material refractario (izq.) y segunda versión en maqueta (der.), presentada en el concurso Innovar 2019

Bibliografía consultada

Evans, Ianto y Jackson L. (2007). Estufas Rocket de Masa - Estufas de alta eficiencia para autoconstruir (y acurrucársele). Trad.: Conrado Tognetti, 2011. Cob Cottage Publications. Kulbaba, Pablo. (Hacono Energía). Presentaciones en el taller de construcción de la estufa rocket BBR13 en Trevelin. Abril 2017.

Loayza C., María del Rosario (2009). Manual para la construcción de cocinas mejoradas Malena. GTZ-Proagro. Bolivia

Secretaría de Estado de la Energía (2014) Estufa rocket, manual para la construcción. Provincia de Santa Fe

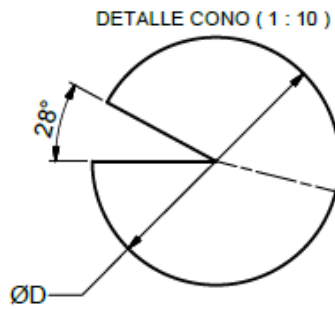
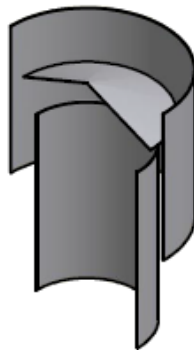
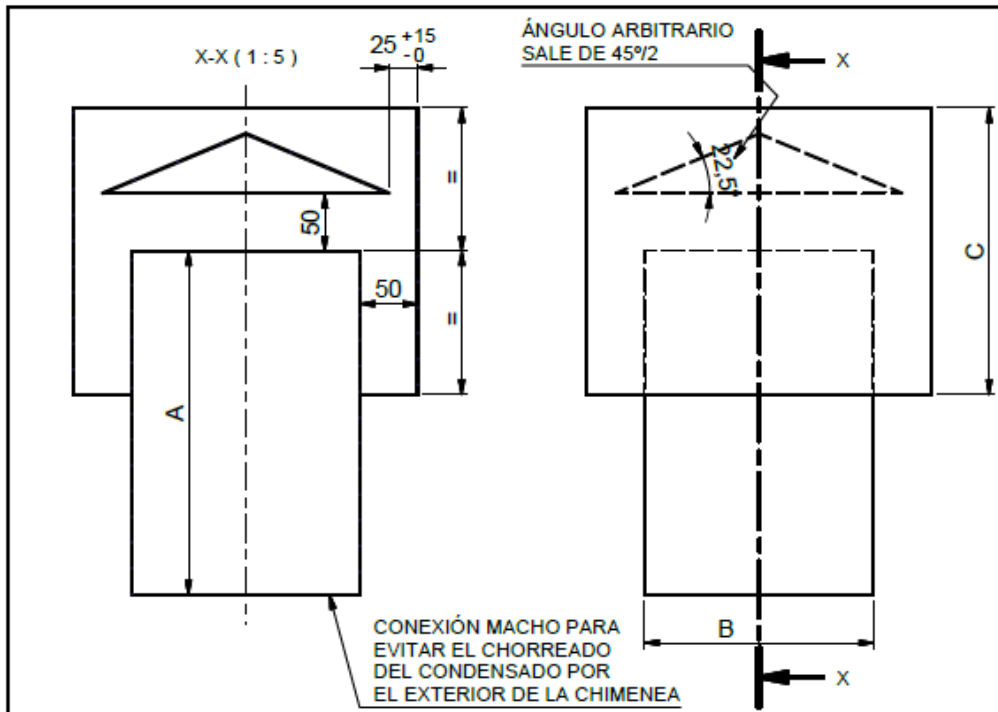
<https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/download/216302/1123294/file/Manual%20%20Estufas%20Rocket.pdf>

van den Berg, Peter. Batch Box Rocket. Trad.: Pablo Kulbaba. <http://batchrocket.eu/es>

van den Berg, Peter. Rocket stoves.. Experimenters corner.. Answers questioned!. Plataforma virtual: <http://donkey32.proboards.com/>

Wisner, Erica y Wisner E. (2016). The rocket mass heater builder's guide: complete step-by-step construction, maintenance and troubleshooting. New Society Publishers. ISBN 978-1-55092-616-3 (ebook). Canadá

ANEXO A. Sombrero Huracán o Venturi de 6" y 8"



NOTA CONO: TAMBIÉN SE PUEDE HACER UNA PIEZA PLANA CON UN PRISMA. LO RELEVANTE DE ESTA PIEZA ES QUE CORTE LAS GOTAS DE LLUVIA Y QUE NO CAIGAN DENTRO DEL CAÑO.

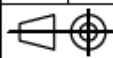
Medida de caño	Cota A	Cota B	Cota C	ØD
6"	225	150	200	215
8"	300	200	250	270

PABLOKULBABA@GMAIL.COM

Modeló	21/07/2015	Pablo O. KULBABA
Dibujó	21/07/2015	
Aprobó	21/07/2015	

Nº de plano

FM-00-02-001



ESTUFA ROCKET

Hoja Nº

1 / 1

Rev. Nº

01

Formato

A4



hacono

01 21/07/2015 21/07/2015 21/07/2015 AÑADA NOTA RESPECTO DE LA LUZ DE 2mm ENTRE EL CONO Y EL CAÑO OBSERVACIONES