

Índice:

Objetivos

Especificaciones

Datos iniciales

Datos de partida

Construcción cuerpo principal

Construcción bóveda

Construcción puerta

Estructura cuerpo principal y puerta

Quemador, entrada combustión , recorrido y chimenea

Estructura patas y soporte.

Presupuesto

Simulaciones aislamiento térmico.

Bibliografía

Objetivos:

El objetivo es el diseño, cálculo, construcción y puesta en marcha de un horno para cocer cerámica a una temperatura máxima de 1300°C, pudiendo llegar hasta los 1350°C en momentos excepcionales.

Para ello se han seguido las indicaciones recogidas por usuarios de internet, empresas especializadas, libros técnicos y un estudio realizado en 10 hornos de distintas marcas, intentando resaltar los puntos fuertes de cada marca y mejorando los débiles.

Especificaciones:

La forma del horno debe ser cuadrada para aprovechar más la cocción de la mayoría de piezas que en él se van a hacer. Aunque las formas redondeadas son las que más eficiencia energética tienen, escogeremos el formato cubico debido a lo que en él debemos cocer.

Las medidas interiores iniciales útiles serán de 45cm x 45cm x 46cm interiores, lo que da una capacidad en litros de 91 litros. Estas medidas no son fruto de la casualidad, sino que salen de aprovechar al máximo las medidas de los ladrillos usados para su construcción.

El combustible será propano. Para ello dispondrá de uno o más quemadores que aportarán calor al horno.

El aislamiento se realizará con ladrillo refractario ligero del tipo JM26, pudiendo usarse un JM32 en las partes donde la llama incida directamente (rompe llama). El ladrillo refractario irá sujeto con cemento especial para estos casos, exceptuando la cúpula que irán sueltos.

Si las fugas en el aislamiento no consiguen la temperatura deseada, se podrá revestir de manta cerámica de grosor y densidad a convenir en el supuesto caso.(plan B)

El tipo será tiro semi directo, es decir, la llama sale por debajo o un lateral y los vapores de la cocción salen por la parte superior del horno o un lateral.

Para acceder a su interior dispondrá de una puerta lateral que abrirá hacia la derecha, mediante una bisagra "flotante". También dispondrá de una o dos mirillas y una sonda de temperatura para monitorizar en todo momento los grados que haya en su interior.

Para el diseño previo y las cotas con las medidas se usará un software específico de diseño en 3D mediante el cual podré ver y medir cada parte del horno antes de su realización.

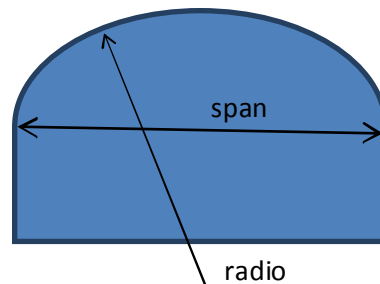
El fondo del horno dispondrá de una primera placa de Mullidur de 20mm de espesor y 400x400mm de lado, donde descansarán las demás placas. Todas ellas de alta temperatura.

Todo el conjunto se soportará en una especie de mesa con ruedas para hacer más fácil su transporte. El ancho del horno no debe superar los 800mm para permitir el paso por la mayoría de puertas de oficinas y talleres.

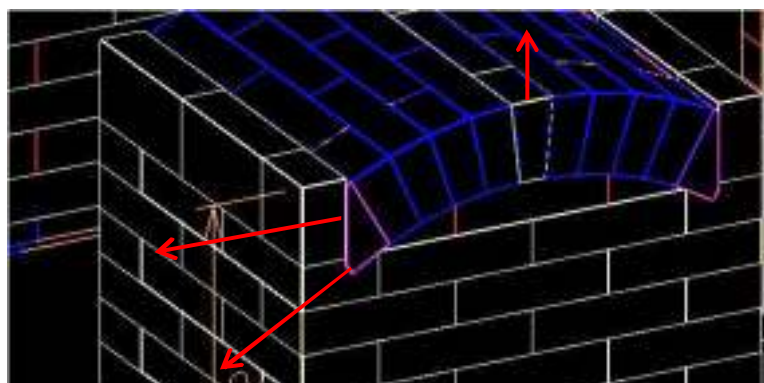
Datos iniciales:

Del libro "The Kiln Book del autor Frederick L. Olsen" y algún que otro libro más, surgieron una serie de afirmaciones que las tomé como punto de partida para elaborar este ante-proyecto. Las escribo aquí a título histórico y para que consten en un futuro en este documento.

- Al ser un horno de gas, no es necesaria la chimenea, es decir el tiro del horno lo provoca la propia presión de la mezcla aire-gas. Aunque si se desea se puede poner una pequeña chimenea para elaborar el cierre de la salida de gases.
- Será necesaria una junta de dilatación por cada "foot" de pared. 1 foot = 30.48cm. Dicha junta será de $1/16" = 1,58\text{mm}$. En este caso, el propio cemento actúa de junta de dilatación. No he visto juntas de dilatación en ninguno de los hornos que he analizado y tampoco que los que he visto en persona.
- Para definir el radio del arco de la cúpula del horno, usaré la siguiente fórmula extraída del libro $1,0625 * \text{span} = \text{radio}$, siendo el span, el ancho lineal de la cúpula.



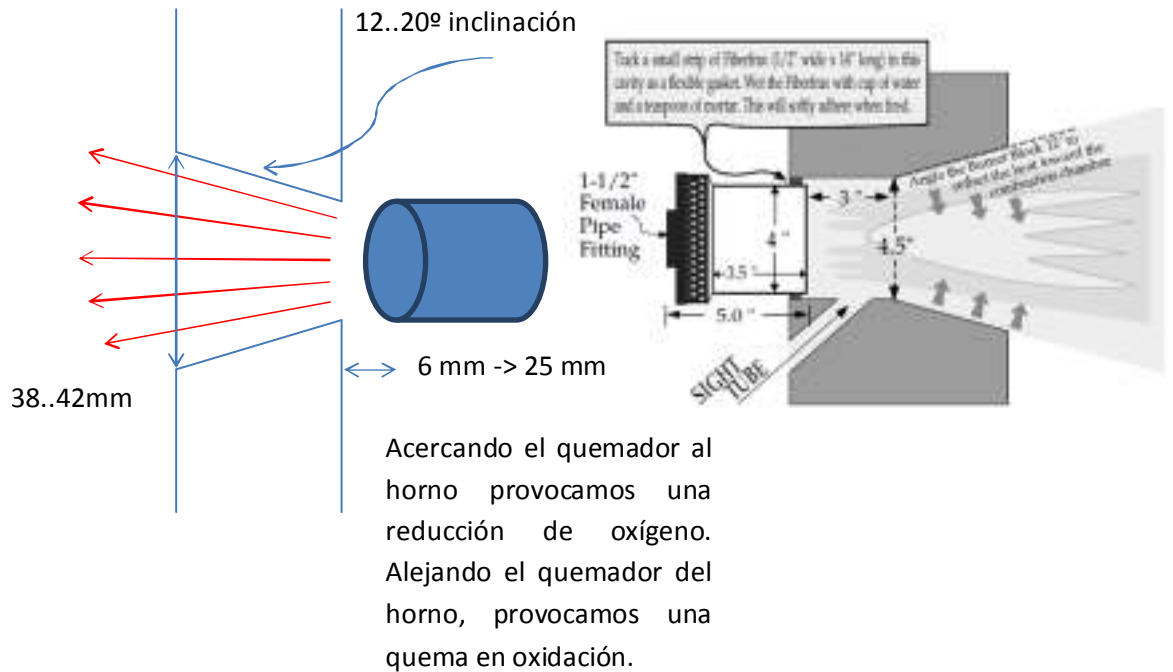
- La forma ideal para una buena eficiencia del horno es la que es cuadrada, aunque se permite no incluir la cúpula en dicha forma. Por lo tanto el horno se diseñará lo más cúbico posible, siempre teniendo en cuenta que hay que aprovechar los ladrillos al máximo y no tenerlos que cortar casi todos. Si quisiéramos ampliar el horno lo haríamos hacia su fondo, colocando más ladrillos y más quemadores. La puerta se mantendría.
- El área de la salida de gases debe ser COMO MÍNIMO de la misma superficie que la entrada de combustible + aire. Por lo tanto realizaré un agujero de 40mm de diámetro en la entrada del quemador y DOS agujeros de 40mm de diámetro en su salida de chimenea, pudiendo tapar regularmente una, dos o parcial las salidas.
- Una de las mejores formas (hay muchas), para la sujeción de la bóveda es la siguiente:



Las fuerzas de dilatación actúan hacia fuera (en rojo) y en dirección de las flechas. Colocando el ladrillo de lado, este último ayuda a evitar la deformación de las paredes. Junto con la estructura metálica todo queda atado.

Datos iniciales (continuación):

- En caso de usar chimenea, se recomienda que su altura sea 1/3 de la altura de la pared interior del horno.
- El agujero de entrada de propano debería ser algo cónico (12 a 20º) y ligeramente alejado de la pared del horno:



- Para el cálculo de las calorías necesarias según el volumen del horno he usado esta fórmula: (extraída de internet)

Ejemplo 1: Para un horno cúbico con 60cm de lado, sale una potencia de 12kW (10428Kc/h)

Ejemplo 2: Para un horno de medidas 45cm x 45cm x 46cm, el resultado es: 6000Kc/h.

Ejemplo 3: Horno comercial 80 litros capacidad a 1300ºC 17500Kc/h

- En el libro hay otros métodos de cálculo:

Hornos de fibra: 10000 BTU por cada pié cúbico/hora

Hornos de ladrillo denso: 16000-19000 BTU por cada pié cúbico/hora

Traduciendo, cada BTU son 0,252 Kcal y cada pié cúbico son 28,32 litros, eso quiere decir que para un horno de ladrillo alrededor de 15.000Kcal por 90 litros.

Datos de partida:

- Para empezar, considero una cámara de combustión de 45cm x 45cm x45cm, lo que evoca 91litros de capacidad. (para el ahorro de cortes en ladrillos)
- Se ha optado por usar ladrillos refractarios aislantes, debido al precio y la facilidad de adquisición y montaje. Son ladrillos de clase JM26, de la empresa Thermal Ceramics, para temperaturas límite recomendadas de cara caliente de 1427 °C (2600 °F), cada uno pesa 1415 g y mide 64 x 114 x 230 mm, son de un material cerámico (básicamente SiO₂ y Al₂O₃) blanco de aspecto esponjoso, pero rígido y frágil. Tiene una conductividad térmica a la temperatura media de 1000 °C de 0.33 W/mK.
- Se realizará una estructura metálica PREVIA a la construcción del horno, la cual guiará y sujetará el diseño final.
- La estructura se soportará en una mesa con patas de hierro y ruedas para poder ser transportado. En dichas patas se ubicará una bandeja a media altura para dejar herramientas.



Aunque en un principio se pusieron ruedas de goma negra (50Kg unidad), debido a las condiciones de intemperie a las que estarán expuestas, estas se han substituido por unas de poliéster duro (250Kg unidad) (Diciembre 2011).

- La puerta irá sujeta a la estructura a través de una bisagra flotante, como la de los hornos profesionales.



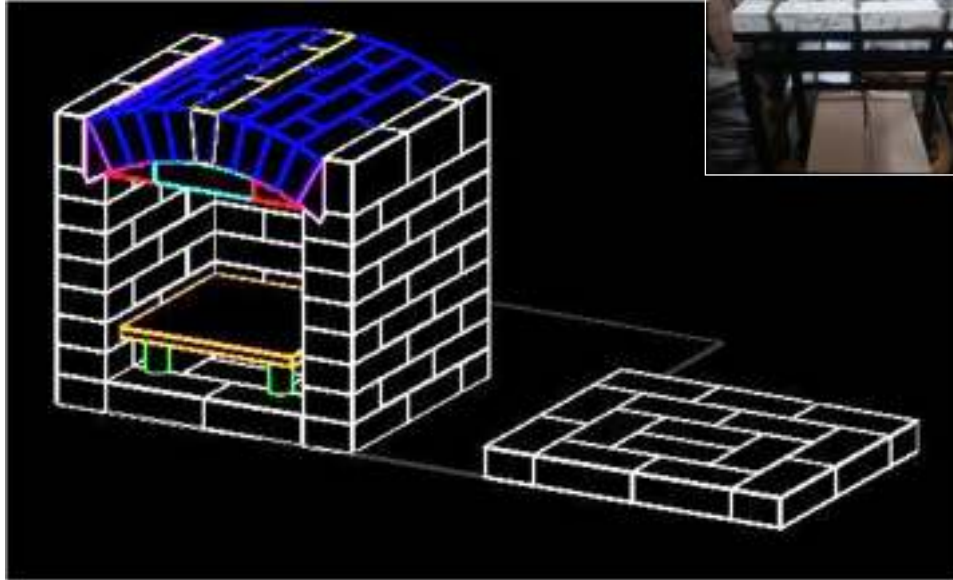
- El sellado de la puerta con la pared se hará lo máximo con ladrillo refractario, en caso de quedar grietas, se tapanán con fibra cerámica de 5 mm de grosor.
- En el interior la placa refractaria de fondo será una de Mullidur de 400x400mm con un grosor de 20mm. Se sustentará con pilones de 45mm de diámetro y 80mm de altura. De esta forma quedará una zona de combustión de 16,2 dm³
- Usaremos el sistema de doble bisagra si es posible para la puerta:



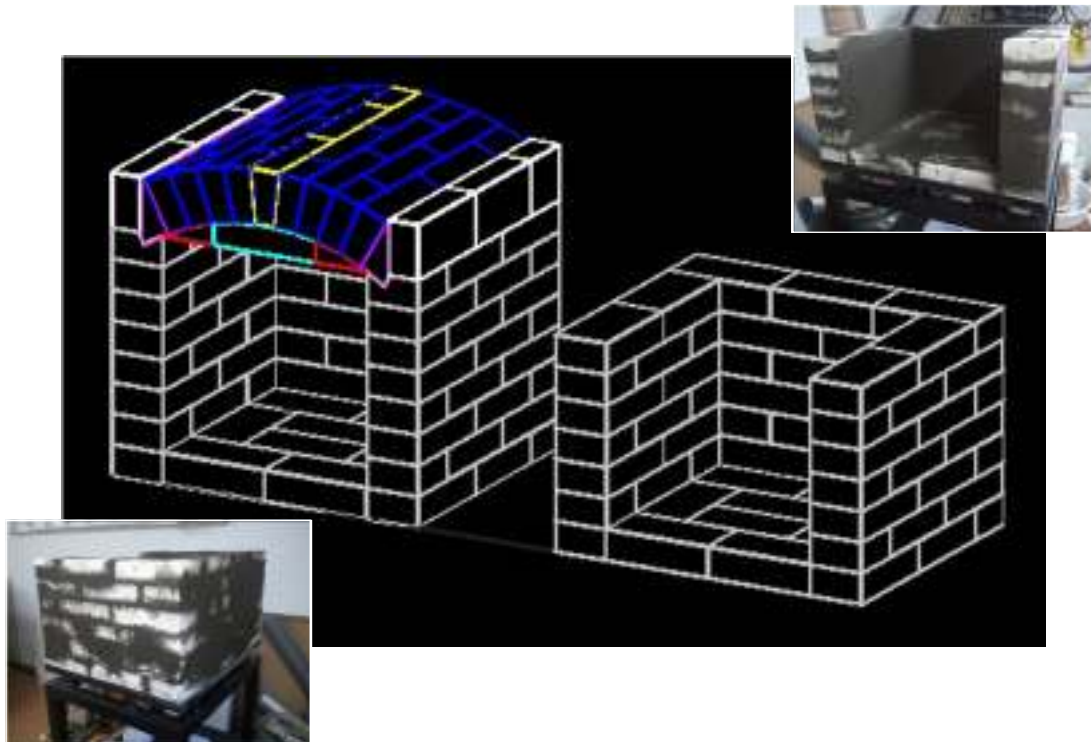
De esta forma podremos adaptarla mucho mejor al hueco en cuestión.

Construcción cuerpo principal (paso a paso):

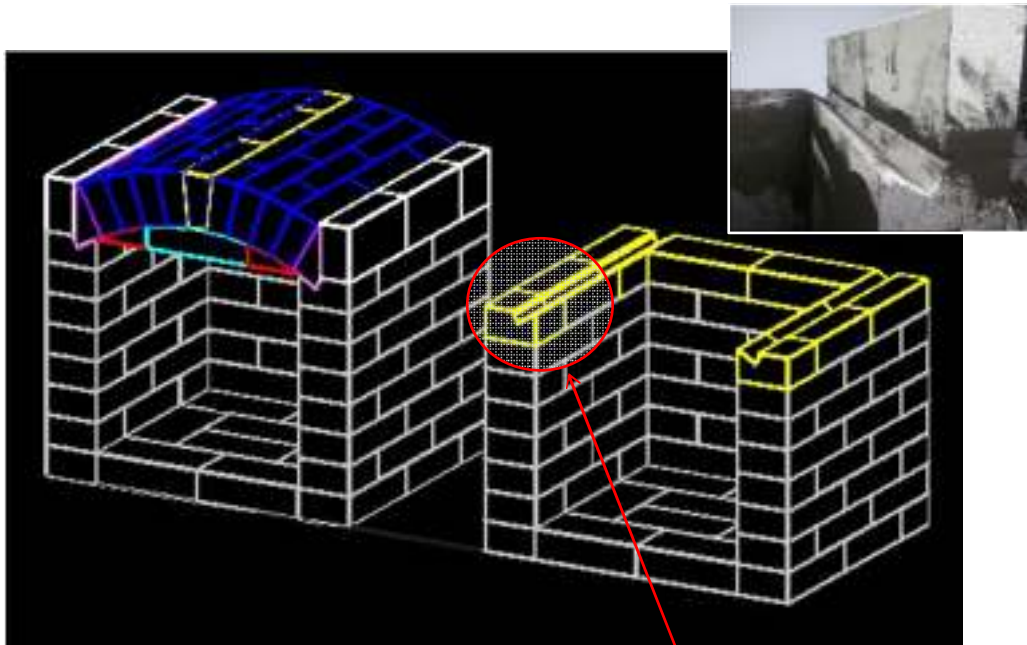
- Empiezo con una base de ladrillo JM26 dispuesto de la siguiente forma; se usan 15 ladrillos para realizar la base del horno. Hay que procurar que no queden grietas y usar el mínimo posible de cemento refractario.



- Ahora levanto las paredes, todas iguales, pero a contra juntas. Evitando a toda costa que ningún ladrillo quede paralelo con los de su alrededor. En esta operación se usarán 42 ladrillos más.

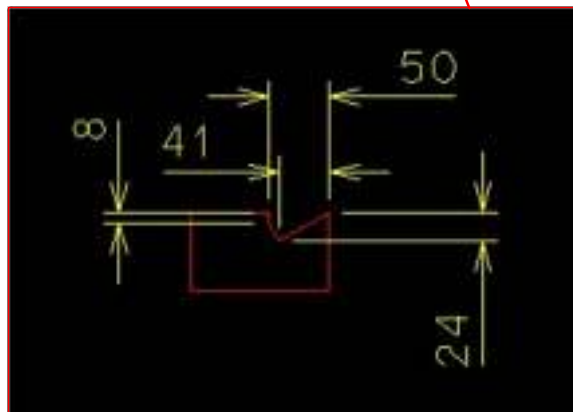


- Llegados a este punto, es momento de construir la última hilera, que sujetará parte de la bóveda. Es importante que esta última hilera quede alineada y recta.

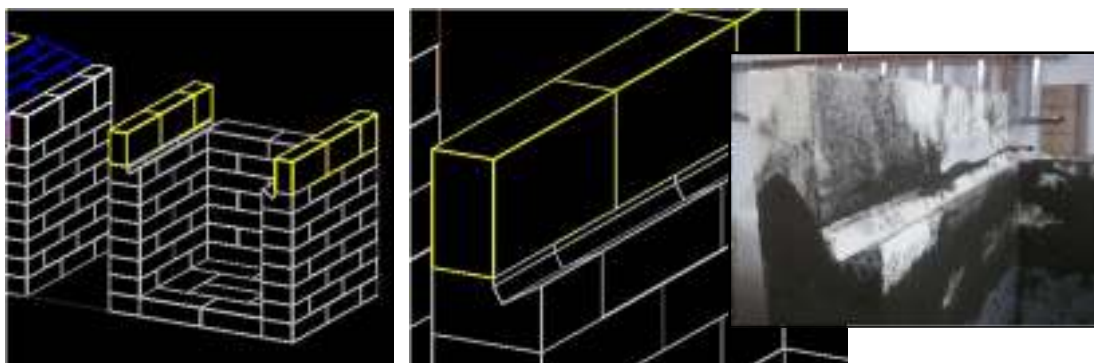


Aquí tenemos un detalle del corte que hay que realizar a los ladrillos marcados en amarillo: (unidades en milímetros)

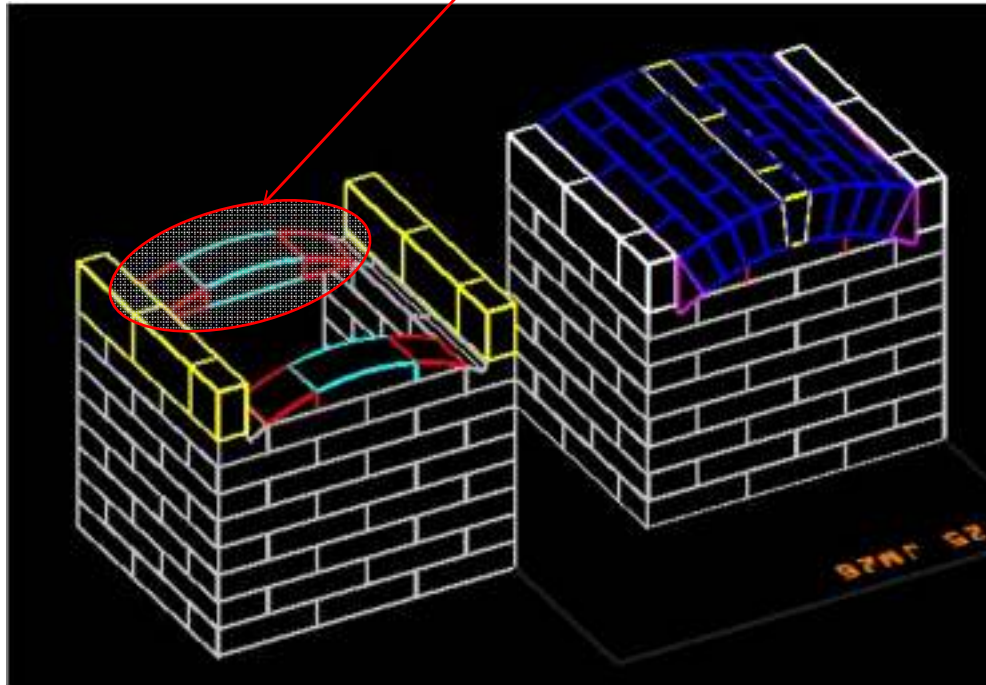
Plantilla número 1



- Siguiente paso es poner los ladrillos de lado que soportarán las dilataciones de la bóveda.



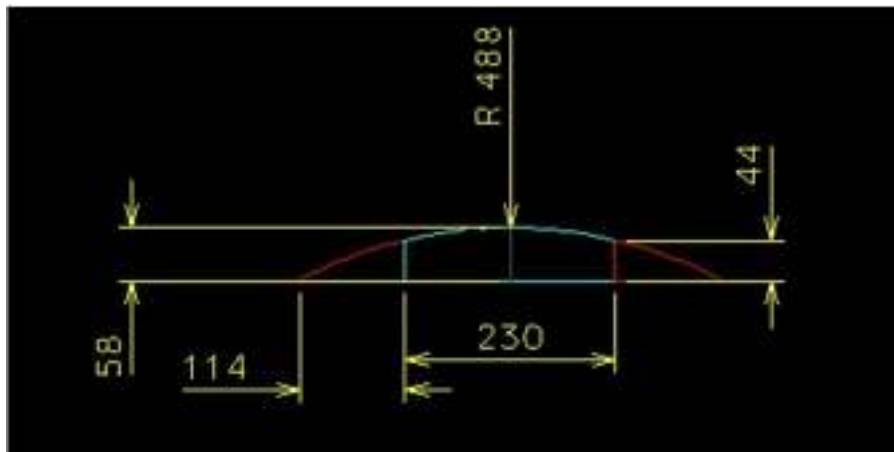
- Ahora toca colocar los trozos de ladrillo para sujetar la bóveda en la parte trasera. Para ello dibujamos un arco de radio (ver dibujo) y cortamos el ladrillo con la sierra de hilo. Se cortarán por duplicado, guardando un juego para cuando esté la bóveda terminada.



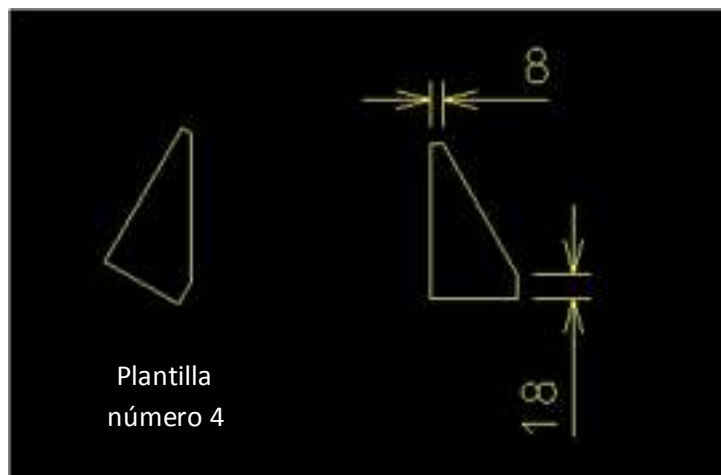
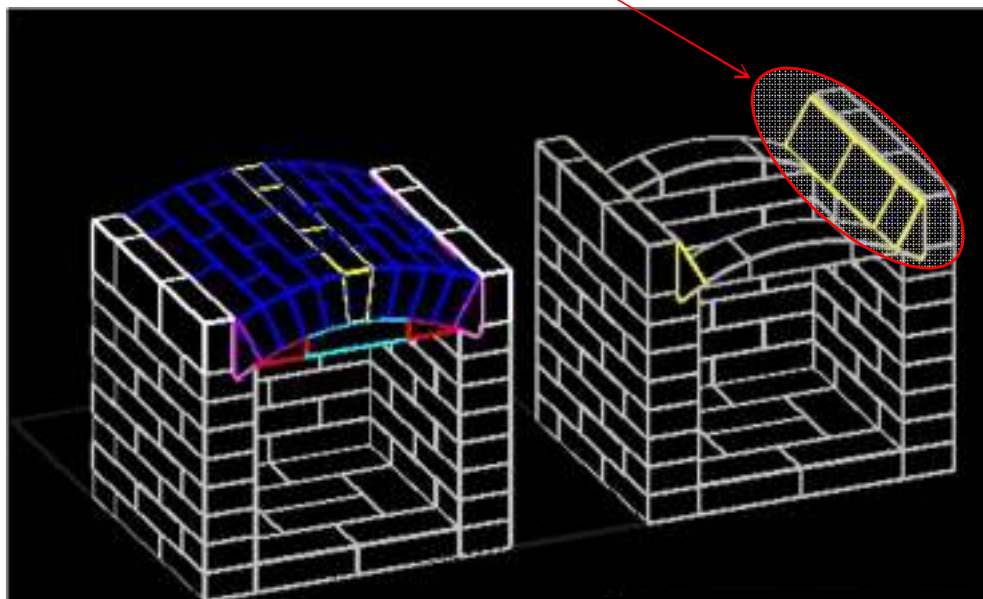
medidas en milímetros

Plantilla número 2

Plantilla número 3

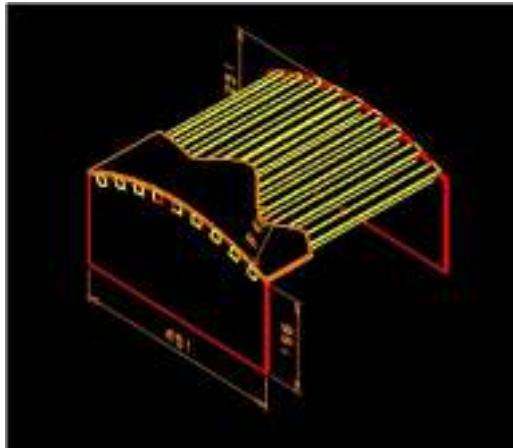


- Para la sujeción de la bóveda, al igual que los ladrillos laterales, deberemos de cortar unos en forma de cuña, que acomodarán a la inclinación de la bóveda los ladrillos planos.



Construcción bóveda:

- Llegados a este punto debemos aparcar por un momento el diseño, y elaborar una plantilla compleja para la sujeción de los ladrillos de la bóveda mientras seca el mortero refractario. Profundidad de la plantilla 450mm
- Para ello buscamos listones de madera, madera aglomerada de grosor entre 5mm y 10mm, según disponibilidad y tratamos de montar lo siguiente:



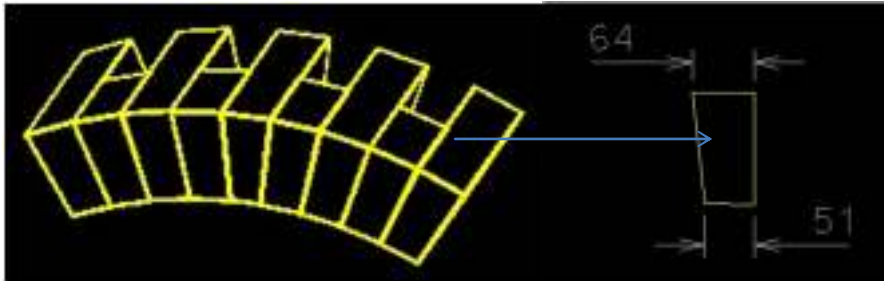
- Se trata de una cúpula que sostenga por dentro del horno los ladrillos hasta su secado.
- La haremos 1cm más pequeña tanto en profundidad como en recorrido de arco, para poderla extraer con facilidad una vez secos los ladrillos.
- Recomiendo forrarla de papel de periódico o similar para evitar que quede pegada por el cemento. Yo la he barnizado con un protector para maderas de exterior.
- Por último la recubriremos con una hoja de madera muy fina, humedeciéndola previamente en agua hirviendo para que pueda ser moldeada a la curvatura de la superficie.
- Como esta estructura no es tan alta como el horno, pondremos debajo lo necesario para que "empuje" la bóveda en su posición exacta.
- Es importante que usemos cuñas de madera para elevar el soporte en sus 2cm últimos, puesto que cuando la bóveda esté seca, deberemos de quitar dichas cuñas y así podremos bajar 2cm para poderla extraer. De lo contrario, podemos levantar la estructura de ladrillos y romperlo todo.



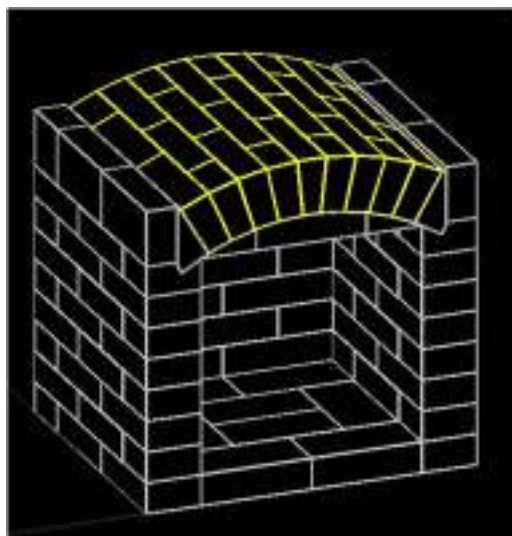
Soporte terminado con la curvatura correcta:



- La bóveda está constituida por 22,5 (23) ladrillos refractarios ligeros del grupo JM26.
- Todos excepto los del centro tienen la misma forma y deben ser tallados lo máximo iguales posible.
- Si observamos detenidamente su forma vemos que un lado está intacto, y que en el lado contrario se ha rebajado una pequeña cantidad de material para que hagan la curvatura.

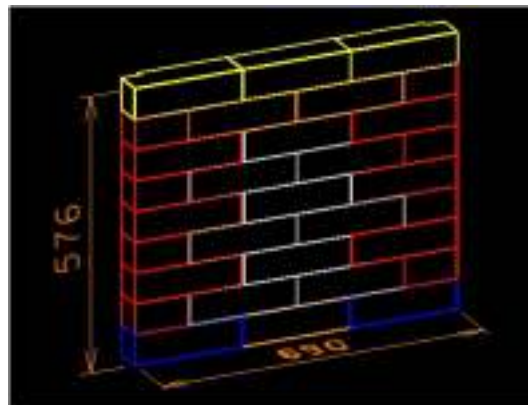


La bóveda debería quedar como en el dibujo. Es muy importante que si quedan grietas por el mal corte de los ladrillos (que no debería ser así), lo rellenemos con cemento refractario y por dentro de la bóveda apliquemos una fina capa del mismo para terminar de sellar los orificios que puedan quedar. A última hora se ha decidido no usar refractario para sujetar los ladrillos y que el peso haga el trabajo.

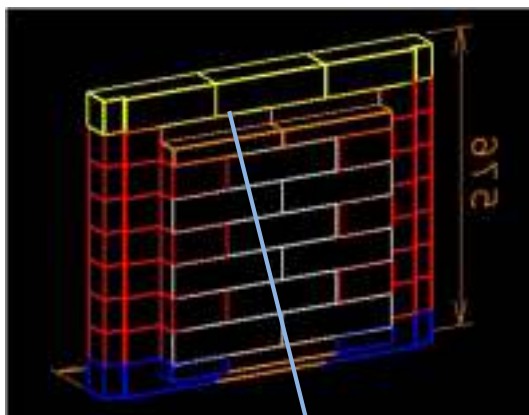


Construcción puerta:

- Llegados a este punto, tendríamos terminada la construcción del cuerpo del horno, ahora nos falta la puerta, la cual se realizará igualmente en ladrillo refractario JM26 y que debe ajustar lo máximo posible al hueco que nos ha quedado lateral.
- Por la parte de fuera, la puerta es bien sencilla, se disponen los ladrillos tal como muestra la imagen, de tal forma que formen una tapadera que se acomode al hueco que hay en la estructura.

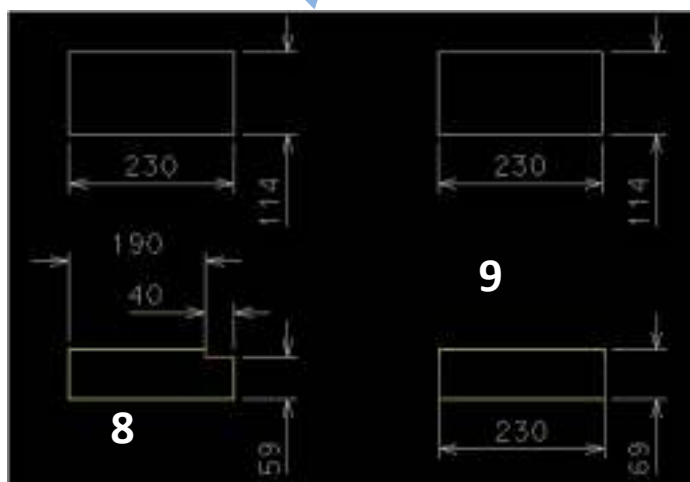


- Por la parte interna la cosa se complica, puesto que debemos acoplar mediante un escalón, para que parte de la puerta entre dentro del horno, evitando así que se fugue el calor con mayor facilidad.



Los únicos ladrillos que no hay que cortar son los blancos del centro.

Al resto hay que hacerles una serie de cortes que explico y propongo las plantillas en sucesivas páginas.



Plantilla de corte de los ladrillos amarillos central y laterales.

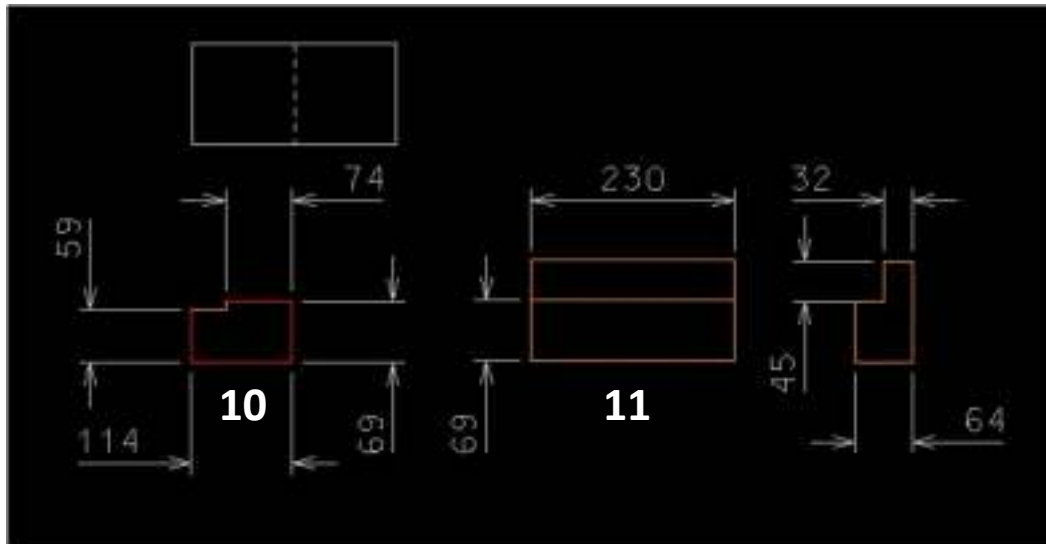
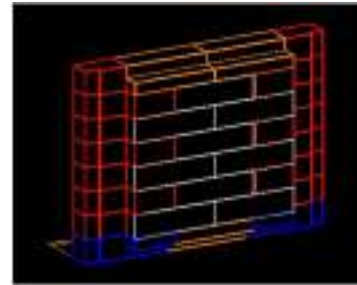
En este dibujo se puede apreciar un ladrillo estándar y uno cortado.

Plantilla 8 para el que tiene escalón y plantilla 9 para que no lo tiene.

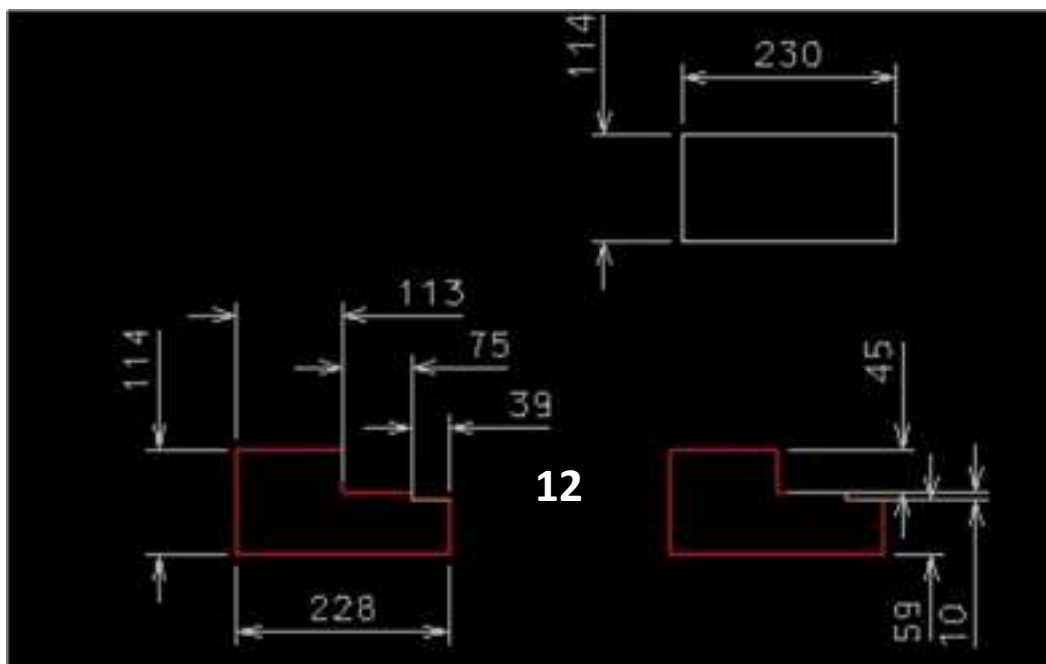
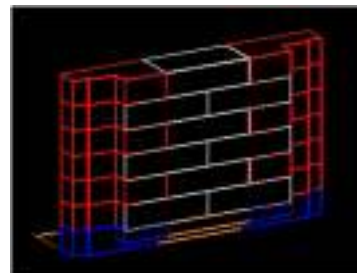
- Seguimos con los de color naranja y rojo.

Para los ladrillos rojos, se cortará un ladrillo nuevo por la mitad y se aprovechará ambas mitades.

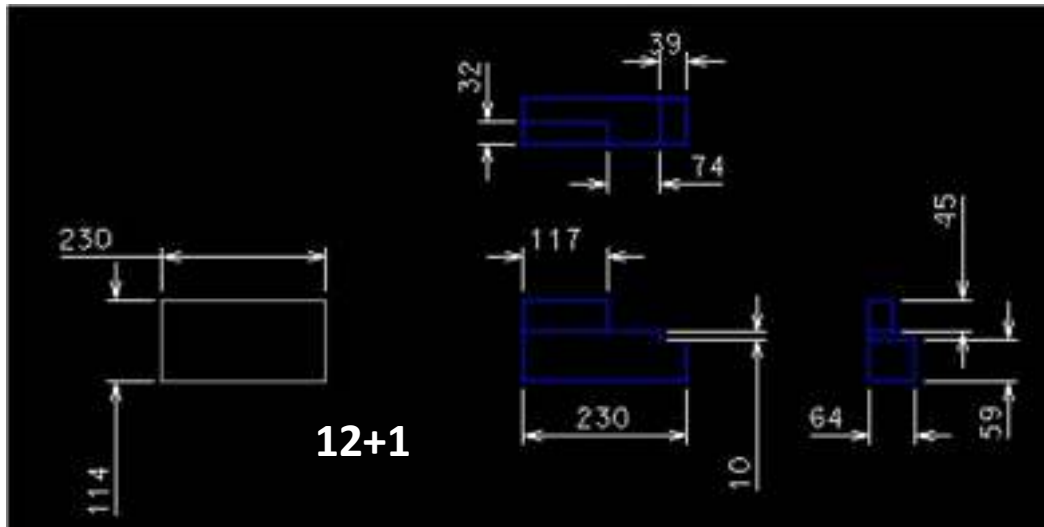
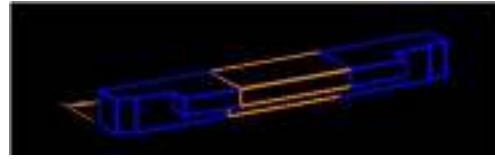
Los ladrillos naranjas tienen un encaje de 45x32mm para que encaje en la puerta.



- Ahora toca el turno a los ladrillos rojos largos (filas impares).

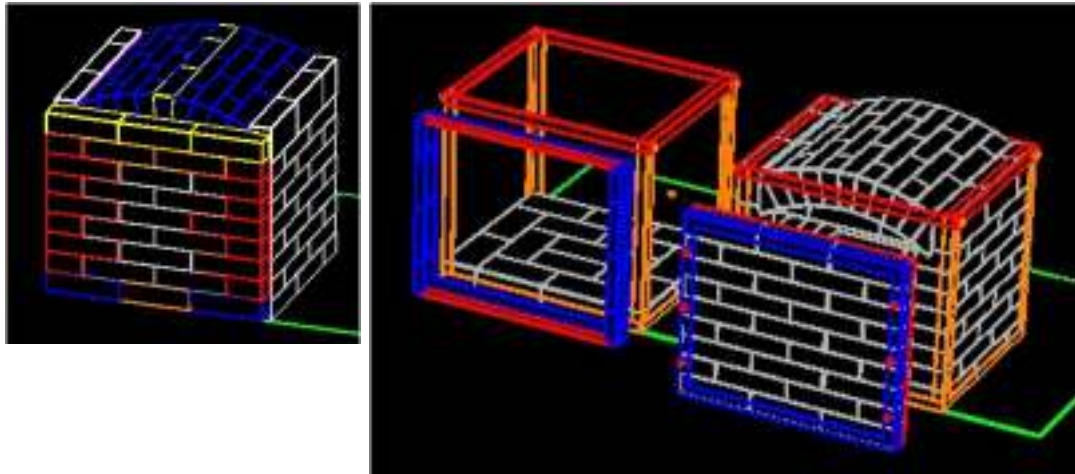


- Por último para la realización de la puerta completa, cortaremos los azules y el naranja central. El naranja central se corta igual que la plantilla 11 explicada anteriormente.



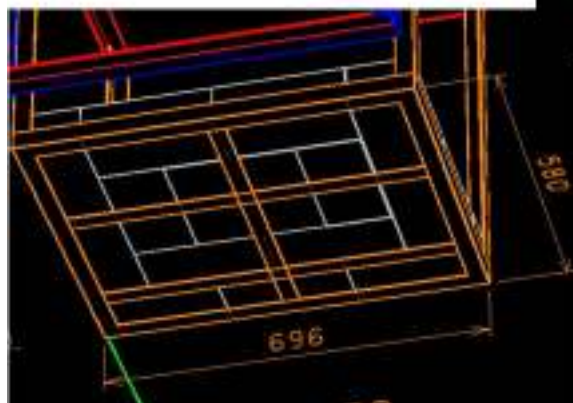
Estructura cuerpo principal y puerta:

- Para sujetar todo el conjunto de ladrillos pegados entre sí, y poder sujetar la puerta al cuerpo principal, realizaré ANTES de montar los ladrillos una estructura capaz de soportarlo todo. En el dibujo adjunto podéis ver un ejemplo virtual de lo que se pretende conseguir.
- Usaré perfil en ángulo de 90º de hierro de 30x30 y 3mm de espesor.
- El diseño final no lo explicaré porque sería muy largo. Además, creo que en cada caso y en cada horno, la estructura es distinta y no afecta a los resultados de la cocción, así que solo pondré algunos diseños que he hecho.



Aquí os pongo los planos que he hecho para que veáis las medidas. La puerta la componen dos pre marcos atornillados entre sí.

Debemos tener en cuenta que la base total de la estructura es de 696mm x 580mm, es decir poco menos de 700mm, así es posible pasar por la mayoría de puertas de talleres.



El enrejado de fondo no es casualidad su disposición. Debe coincidir con las uniones de los ladrillos.

