

Unidad formal, material y funcional. La construcción de la bóveda de la bodega de Valdemonjas

Carlos Martín Jiménez
Beatriz del Río Calleja
Julián García Muñoz

La bodega de Valdemonjas es un conjunto edificatorio moderno, cuyo proyecto establece requisitos de construcción energéticamente autosuficiente. La zona destinada a la maduración del vino, condicionada por el requisito funcional de alcanzar determinadas condiciones higrotérmicas -las adecuadas para la maduración del vino de forma natural-, requería de un espacio enterrado; para ese espacio se recurrió a una bóveda tradicional de ladrillo, no por motivos de carácter estético, sino de orden práctico, dadas las virtudes que los materiales constituyentes de la fábrica tienen para el funcionamiento de los espacios destinados a fermentación y maduración.

El interés de esta bóveda reside no sólo en la solución formal, material o estructural que plantea sino también en la respuesta higrotérmica que ofrece a los condicionantes externos locales (humedad, temperatura, ventilación o composición química del terreno) a los que está sometida. En los apartados siguientes se tratarán algunos aspectos relacionados con los sistemas tradicionales de ventilación natural de espacios subterráneos asociados a la producción de vino, en especial a los abovedados con fábrica, y se detallará la construcción de la bóveda de fábrica de la bodega de Valdemonjas poniendo el énfasis en las virtudes higrotérmicas de este sistema.

EL EDIFICIO DE LA BODEGA DE VALDEMONJAS

La bodega de Valdemonjas está situada en el término municipal de Quintanilla de Arriba, en Valladolid. Se

trata de una edificación de nueva planta, aunque inspirada, como ya se ha avanzado, en soluciones higrotérmicas y sistemas constructivos tradicionales. Proyectada por las arquitectas Silvia Paredes y Ana Agag, la bodega fue construida entre 2014 y 2015, y ha recibido recientemente (2016) el premio Architizer A+.

Se trata de un edificio compacto, de tres plantas, articuladas alrededor de una nave central este-oeste común a los tres niveles existentes, en uno de los cuales, el inferior, se aloja la bodega que es objeto de esta comunicación. El edificio se encuentra situado en medio del marco paisajístico característico de esta zona de viñedos, y destaca por su integración en el paisaje, su voluntad sostenible y por servirse de diversas estrategias bioclimáticas para lograr una mejor producción vinícola. Los vinos que produce la bodega pertenecen a la denominación de origen Ribera de Duero.

La sala crianza en barricas

El trabajo diario de la bodega se realiza en el nivel inferior. Toda esta altura se encuentra enterrada con el objetivo de obtener de forma natural las condiciones óptimas de temperatura y humedad para la producción del vino. La planta de este nivel es la más compleja del conjunto, y la componen tres espacios principales. En el centro se sitúa la nave central, de orientación este-oeste, en la que se realizan tareas de fermentación, lavado de barricas, embotellado o eti-

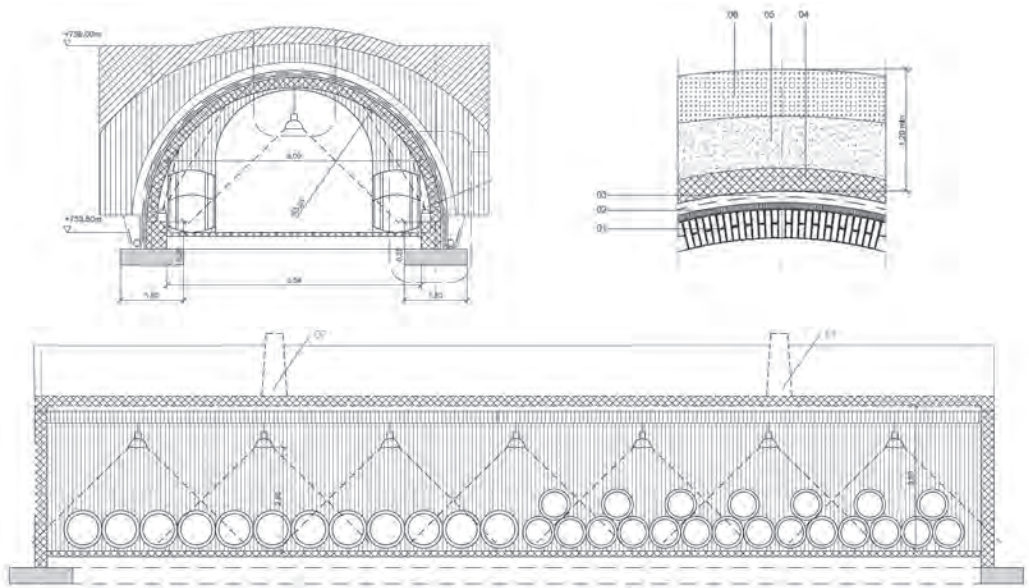


Figura 1

Secciones transversal y longitudinal de la bóveda de fábrica de la sala de crianza en barricas de Valdemonjas. 01.- Bóveda de fábrica de un pie de espesor. 02.- Cobertura de mortero de cal de 5 cm de espesor. 03.- Lámina impermeable transpirable Tyvek. 04.- Capa de 20 cm de arcilla compactada. 05.- Capa de arena de río. 06.- Capa de terreno natural. 07.- Zarcas de ventilación. Dibujo: Silvia Paredes y Ana Agag

quetado. En paralelo a esta nave central se encuentra el segundo espacio, la nave de crianza en botellas. El tercer espacio se orienta al norte, en perpendicular a la nave central, conectada a ella por su lado sur: es la nave de crianza en barricas. Este último espacio es el que, por su especificidad, se decidió cubrir con la bóveda tradicional de fábrica de ladrillo que se detalla en los apartados siguientes.

Los requisitos de proyecto obligaban a garantizar para el conjunto del edificio un determinado nivel de autosuficiencia energética. El tratamiento dado a la sala de crianza en barrica es fundamental, ya que es un espacio que requiere de unas condiciones de humedad y temperatura para cuyo mantenimiento, de estar mal acondicionado, sería necesaria mucha energía. Así, para la construcción de la sala de crianza en barricas se estudiaron diversos sistemas propios de la arquitectura tradicional, en busca de soluciones constructivas óptimas para lograr las condiciones higrotérmicas que producen la maduración del vino de forma natural con el menor aporte energético posible.

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS TRADICIONALES. LAS ESTRUCTURAS ABOVEDADAS ENTERRADAS PARA LA PRODUCCIÓN Y MADURACIÓN DEL VINO

Varios estudios recientes reivindican las estructuras abovedadas para la construcción de bodegas de este tipo. Los trabajos más desarrollados (Porras 2014, o los estudios de Pflitsch (2003, por ejemplo)) se apoyan para ello en algunos conceptos muy generales. Por lo que se refiere a la temperatura, es comúnmente aceptado que la inercia térmica del terreno proporciona estabilidad que, combinada con la ausencia de luz, favorece la conservación de los alimentos. La calidad del vino depende en gran medida de la homogeneidad de las condiciones de crianza en la bodega, para lo que es fundamental evitar las temperaturas elevadas y los cambios bruscos de humedad o temperatura.

Sin embargo, no solamente la temperatura interior es importante. Estudios como los realizados por Martín (2006) o Mazarrón(2009, 2012a) prueban, por ejemplo, que la temperatura del aire en la sala de

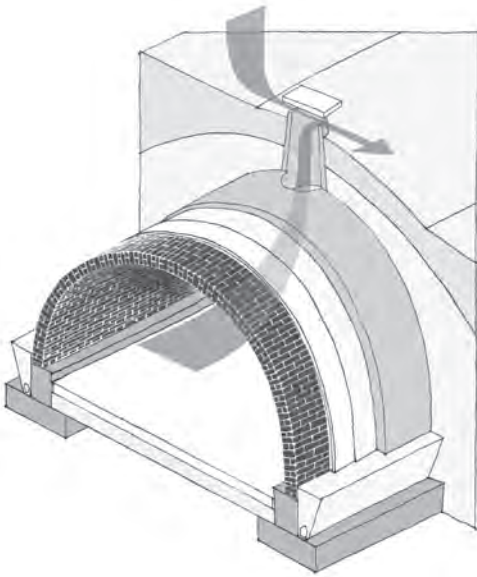


Figura 2
Esquema de funcionamiento de la ventilación de la bodega de Valdemonjas. Efecto Venturi. Dibujo: J. García

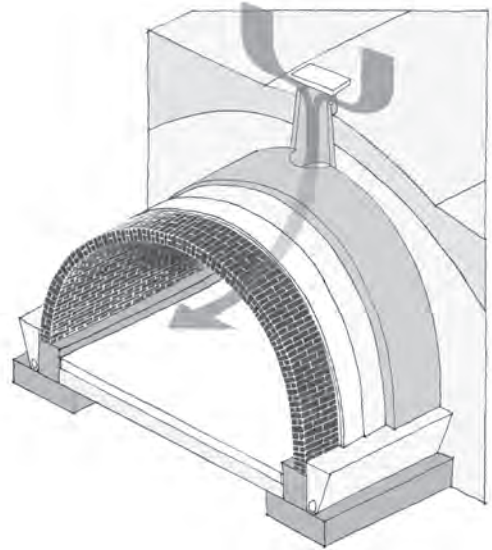


Figura 4
Esquema de funcionamiento de la ventilación de la bodega de Valdemonjas. Efecto de sobrepresión exterior. Dibujo: J. García.

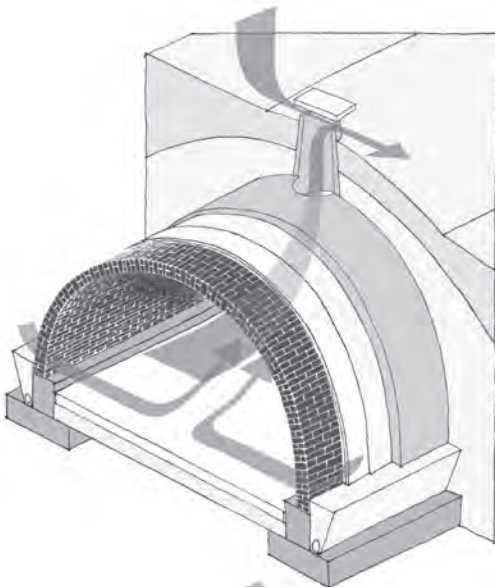


Figura 3
Esquema de funcionamiento de la ventilación de la bodega de Valdemonjas. Efecto Venturi y efecto de absorción. Dibujo: J. García

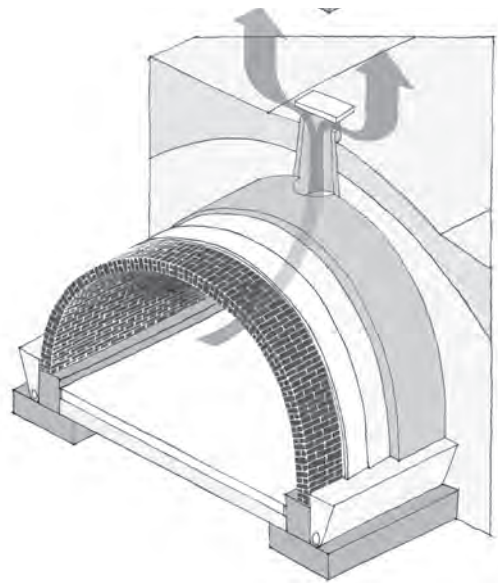


Figura 5
Esquema de funcionamiento de la ventilación de la bodega de Valdemonjas. Efecto de depresión exterior. Dibujo: J. García.

crianza es función no sólo de la temperatura del suelo a la profundidad media de la sala sino también de la temperatura exterior. Los mismos autores (2012b) afirman, además, que la influencia del aire exterior es mayor en las estaciones más frías, otoño e invierno, que en primavera y verano, de lo que deducen que la presencia de chimeneas de ventilación tiene mayor efecto en meses fríos.

Esta relación entre temperatura interior y temperatura exterior se produce a través de los elementos de ventilación, las pequeñas chimeneas conocidas como zarceras. Las construcciones subterráneas necesitan, como es lógico, de una adecuada renovación del aire interior. Es en esos procesos de renovación del aire, necesarios para evacuar los gases procedentes de los procesos de maduración pero también esenciales en el mantenimiento de una temperatura interior constante, en los que la construcción abovedada resulta especialmente interesante. La forma abovedada fomenta una renovación ordenada del aire, ya que evita esquinas en las que puedan producirse retenciones por estratificación. Las zonas no renovadas, que son habituales en estructuras planas, pueden generar acumulaciones de gases nocivos o concentraciones de humedad, con o sin condensación manifiesta. Una estructura abovedada evita esas esquinas, y los problemas que conllevan.

La renovación de aire en estos espacios puede realizarse aprovechando diferentes efectos comunes en el ámbito de la dinámica de fluidos. El efecto Venturi en las zarceras de ventilación, por ejemplo, puede emplearse para generar renovación en los espacios enterrados. El ejemplo de la figura 2 correspondería a la bodega de Valdeмонjas en esa situación. La depresión causada por el efecto de succión que genera el efecto Venturi (o cualquier otro con el mismo carácter) puede también ser beneficiosa para el funcionamiento de los espacios destinados a bodega. En las bodegas tradicionales, para compensar la baja presión en ese espacio se producía una absorción del aire contenido en el terreno (figura 3), que se encontraba, como es lógico, a temperatura y humedad conocidas.

También puede aprovecharse la diferencia de presiones que se producen por el descenso de la temperatura exterior durante la noche. Las figuras 4 y 5 ejemplifican esas situaciones de sobrepresión y depresión interior. Estudios como los realizados por Pflitsch (2003) detallan la complejidad de las co-

rrientes de aire en túneles y espacios enterrados y su relación con las condiciones climáticas exteriores.

LA CONSTRUCCIÓN DE LA BÓVEDA

El análisis inicial

La construcción de la bóveda se llevó a cabo empleando métodos tradicionales, aunque algunos condicionantes externos (sobre todo el tipo de aparejo que se deseaba emplear, de hiladas paralelas a la dirección principal de la bóveda) obligaron a utilizar algunas estrategias de construcción poco convencionales. Desde un principio, por ejemplo, hubo de descartarse una construcción por arcos, que hubiera generado una cantidad de enjarjes excesiva en un aparejo de este tipo. También se pensó en una variante de la construcción de las bóvedas nubias, en las que la fábrica se recuesta sobre los testeros. Aunque esa opción es teóricamente factible en este caso, se concluyó que una construcción recostada hubiera dificultado el cierre de las hiladas que conforman la clave de la bóveda, obligando a un andamiaje, central y lineal, muy poco operativo.

Los motivos anteriores aconsejaban emplear un sistema de tramos. La opción más lógica pareció, desde un primer momento, la de levantar la bóveda en toda su longitud hasta una altura segura (que evitara posibles colapsos parciales) para después ir cerrando tramos de una medida cómoda, utilizando las cimbras no sólo cómo elementos de replanteo, sino además como apoyos para el cierre.

El proceso de construcción

Como se ha descrito con anterioridad y puede apreciarse en la figura 1, la bóveda prevista era de cañón seguido de 6,50 de luz y 3,25 de radio interior, y se extendía en una longitud total de 23,00m. El equipo al cargo de estos trabajos ya había construido un buen número de bóvedas, algunas muy semejantes a la de la bodega de Valdeмонjas (véase García 2011 o García 2013, como ejemplos de bóvedas de rosca). Para esta se empleó un ladrillo perforado de 240x115x50mm, colocado a un pie, con un particular aparejo a soga-soga-tizón, en el que, como es lógico, una de cada tres piezas vistas (la que forma el tizón)



Figura 6
Arranque de la fábrica sobre la cimentación. Foto: C. Martín

hace de llave con el envés de la fábrica. El acabado al interior requería de un tendel rehundido, mientras que la llaga enrasada daba continuidad a la hilada de ladrillo.

La obra de fábrica se levantó sobre una cimentación lineal de hormigón armado, material del que también estaban compuestos los muros testeros. Sobre el hormigón se construyó primero un murete de fábrica de dos pies de espesor (figuras 6 y 7), y sobre él se instalaron cimbras de tubo de acero, de medio punto, situadas cada 2,3 metros (figura 8). Las cimbras, como es lógico, se diseñaron para conformar la geometría que se pretendía conseguir, un



Figura 7
Aparejo del doble pie de apoyo, respetando el mismo intradós sogasoga-tizón que habría de emplearse para toda la bóveda. Foto: C. Martín



Figura 8
Instalación de las cimbras de apoyo y replanteo. Foto: C. Martín

cañón recto. Las reglas curvadas estaban formadas por dos piezas, pensadas para permitir un correcto descimbrado a posteriori. Las cabezas de las cimbras se dejaron descansar, en la vertical, en la cimentación; y en la parte alta, sobre una viga de madera, que a su vez descargaba sobre pies derechos de andamio, situados cada dos metros y apoyados sobre un durmiente continuo longitudinal, este ya sí apoyado directamente sobre el terreno (figura 15). De esta forma se pretendía disminuir la carga transmitida a la terreno durante el proceso de ejecución de la bóveda.



Figura 9
Construcción de la bóveda hasta el tercio de la altura. Vista desde el exterior. Foto: C. Martín



Figura 10
Construcción de la bóveda hasta el tercio de la altura. Vista desde el interior. Foto: C. Martín



Figura 11
Proceso de cierre de los primeros tramos. Foto: C. Martín

La primera altura de la bóveda, de un pie de espesor, se levantó sobre las mencionadas cimbras mediante hiladas continuas hasta alcanzar un tercio de la altura total (figuras 9 y 10). Esta primera parte se construyó de una vez y en toda la longitud de la bóveda, de 23 metros en total. Estrategias de este tipo son comunes en la construcción de cualquier tipo de bóveda, ya que hasta esa altura (el mencionado tercio del total) la vertical del centro de gravedad de la fábrica se mantiene razonablemente dentro de la superficie de apoyo sobre el durmiente. El remate temprano de esta parte de la bóveda facilitaba, además, el ir avanzando con otros tajos de la construcción, como el drenaje perimetral.



Figura 12
Primer tramo de bóveda cerrado. Foto: C. Martín

Una vez terminado el arranque hasta el tercio de la bóveda, se fueron cerrando paños completos de 4,6 metros de longitud (esto es, dobles espacios entre cimbras) empezando por el extremo y acercán-



Figura 13
Hilada alta de tramo en construcción. Se aprecian tanto el aparejo como las reglas y cimbras de apoyo provisional y replanteo. Foto: C. Martín



Figura 14
Cierre del cuarto de los tramos previstos. Foto: C. Martín

dose progresivamente al centro del edificio (figura 11 y 12). Como puede apreciarse en las imágenes del proceso (figura 13), y pese a que el peso de la bóveda, al ser de un pie de espesor, era de unos 450 kg/m², los paños pudieron ir cerrándose sin necesidad de encofrado completo, simplemente dejando descansar el ladrillo sobre la guía allí donde era necesario. En las zonas de contacto entre tramos fue necesario dejar los pertinentes endejas y adarajas



Figura 15
Vista interior de los medios de apoyo provisional y replanteo. Se aprecian las cimbras formadas por dos reglas curvadas, y las vigas de madera bajo las cabezas de las mismas y las sujeciones para aliviar el empuje en la zona inferior. Foto: C. Martín



Figura 16
Vista de la bóveda desde el exterior, una vez rematado el mortero de acabado. Se aprecia la geometría troncocónica de las zarcas. Foto: C. Martín

para enjarjar la fábrica con los tramos por construir (figura 14).

Una vez cerrada la bóveda, se replantearon las zarcas (se construyeron las dos que se aprecian en las secciones, similares a las tradicionales (Cañas



Figura 17
Vista exterior del relleno, con las tapas de ventilación de las zarcas ya instaladas. Foto: C. Martín

2009)) y se abrieron los correspondientes huecos. Para las salidas se ejecutó un sardinel circular de diámetro libre 60 cm, sobre el que se levantó una chimenea troncocónica de una altura aproximada de 2m (figura 16). El diámetro de salida es, tal como describe el proyecto, de 40 cm; sobre la salida se instalaron finalmente las tapas de ventilación que se aprecian en la figura.

El trasdós se revocó con un mortero de cal de espesor de 3 a 5cm y de relación 1 a 3. El drenaje lateral, uno a cada lado de la bóveda, se instaló antes del arranque de la misma. La membrana Tyvek, impermeable pero transpirable, se instaló sobre el revoco, y también, como es habitual, envolviendo el drenaje. Sobre esta membrana se vertió un manto de arcilla de aproximadamente 20cm, y a continuación otra capa de arena de río de entre 20 a 30cm. Finalmente se rellenó el resto del volumen con el terreno natural previamente excavado, hasta recuperar la topografía original (figura 17).

CONCLUSIONES

La bóveda de Valdemonjas (figura 18) es un interesante ejemplo de cómo pueden integrarse, con intención práctica, soluciones constructivas tradicionales en un edificio contemporáneo. Todavía hoy es posible construir una bóveda de este tipo, empleando exclusivamente materiales tradicionales (ladrillo y mortero) y sin necesidad de complejos encofrados. Pero no solamente es posible, sino que además es lo más



Figura 18
El interior de la bóveda, rematado. Foto: C. Martín

conveniente, sobre todo desde el punto de vista estructural, económico y funcional.

Desde un punto de vista estructural, emplear una solución constructiva abovedada masiva, sin necesidad de cimbrado completo y sin armados o refuerzos de entidad, es emplear una solución técnicamente segura, y además lo más respetuosa posible en lo referente a la eficiencia energética durante los procesos de construcción. Desde el punto de vista de los costes de producción la bóveda de fábrica también es una solución conveniente, ya que es plenamente competitiva con otros sistemas contemporáneos, con frecuencia tenidos por menos costosos sin serlo. Y desde el punto de vista funcional la bóveda de fábrica es también más conveniente, ya que, como se ha detallado, su comportamiento contribuye a la regulación higrótérmica del espacio enterrado evitando casi por completo aportes de energía innecesarios durante la vida útil del edificio.

LISTA DE REFERENCIAS

- Cañas, I., y Mazarrón, F. R. 2009. The effect of traditional wind vents called zarceras on the hygrothermal behaviour of underground wine cellars in Spain. *Building and Environment* 44(9): 1818-1826.
- García, J., Grau, J. y Martín, C. 2011. La bóveda del aljibe del castillo de Jadraque. En *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, págs. 519-526. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- García, J., Martín, C. y del Río, B. 2013. La bóveda del aljibe del edificio fundacional de la manzana Cisneriana de la Universidad de Alcalá de Henares. En *Actas del Octavo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, págs. 519-527. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Martin, S. y Cañas, I. 2006. A comparison between underground wine cellars and aboveground storage for the aging of Spanish wines. *Transactions of the Asabe* 49(5): 1471-1478.
- Mazarrón, F. R., y Cañas, I. 2009. Seasonal analysis of the thermal behaviour of traditional underground wine cellars in Spain. *Renewable Energy* 34(11): 2484-2492.
- Mazarrón, F.R.; Porras, C.; Cid, J. y Cañas, I. 2012a. Natural ventilation in underground wine cellars. En: *International Conference on Agricultura Engineering. CI-GR-AgEng2012 Papers Book*, 08/07/2012 - 12/07/2012, p. 112. Valencia.
- Mazarrón, F. R., Cid-Falceto, J., y Cañas, I. 2012b. An assessment of using ground thermal inertia as passive thermal technique in the wine industry around the world. *Ap-*

- plied Thermal Engineering* 33-34(0): 54-61. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.09.010
- Pflitsch, A. y Piasecki, J. 2003. Detection of an airflow system in Niedzwiedzia (Bear)Cave, Kletno, Poland. *J. Cave Karst Stud* 65: 160–173.
- Porras, C. 2014. *Las construcciones subterráneas para bodegas, un modelo de ahorro de energía mediante los sistemas constructivos. Estudio de las condiciones higrotérmicas, ventilación y modelos de simulación*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. <http://oa.upm.es/32911/>

