

Lehm und Strohballenbau des „El Faro“ Pavillons für die Expo 2008 in Zaragoza

Der Pavillon einer Bürgerinitiative für die Expo 2008 in Zaragoza soll ein Wahrzeichen sein für die Vitalität der Zivilgesellschaft und deren Innovationsfähigkeit im Angesicht der Herausforderung, die durch den Wassernotstand hervorgerufen wird. Die Gruppierung setzt sich zusammen aus Nichtregierungsorganisationen (NRO), Vordenkern, Stiftungen, Verbraucherverbänden, Gewerkschaften, Nachbarschaftsvereinen sowie Fachverbänden, die sich mit Wasserversorgung und nachhaltiger Entwicklung befassen. Der Pavillon soll eine Begegnungsstätte sein für lokale, nationale und internationale Organisationen, um gemeinsame, multidisziplinäre Verbindungen auf demokratischer Basis zu knüpfen (siehe www.elfaro2008.org).

Der El Faro Pavillon

Der El Faro Pavillon wurde vom spanischen Architekten *Ricardo Higuera*s in Zusammenarbeit mit dem Architekten *Iñaki Urquía* entworfen. Es ist ein beeindruckendes Gebäude, nicht nur auf Grund seiner krugartigen Form, sondern auch wegen der umweltfreundlichen Verwendung der Baustoffe für seine Konstruktion.

Der Bauplatz für den Pavillon liegt entlang des „Thema Platzes“ am Ufer des Flusses Ebro. Dieser strategische Ort wird eine große Anzahl von Besuchern anziehen, nämlich diejenigen, die die Expo betreten und durch den Brückenpavillon wieder verlassen und solche, die den Pavillon der Nation sehen wollen. Das Gelände ist 1.500 m² groß. Der Bau ist klima- und umweltorientiert und wird mit der typischen Vegetation der Soto de Ranillas Flussschleifen harmonisieren.

El Faro hat drei verschiedene Hauptbereiche für das besuchende Publikum: Eine Ausstellungshalle, ein Forum für die Begegnung und ein Cybercafé.

Energieeffizienz und Wiederverwertbarkeit

Der Entwurf für den Pavillon wurde von zwei Hauptfaktoren bestimmt: Energieeffizienz und Wiederverwertbarkeit (der Baustoffe). Das geschah anhand folgender Strategie:

- Gebrauch von Niedrigenergiebaustoffen vor allem für die vorgefertigten Wandbauelemente. Es wurden „natürliche“ Baustoffe verwendet, solche direkt aus der Natur oder aus dem Erdreich, wie Stroh, Holz, Bambus und Lehm.

- Minimale Verwendung von externen Energiequellen für die Regulierung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit.
- Alle Baustoffe sollen wiederverwendbar sein. Die Lebensdauer des Gebäudes ist für die drei Monate der Ausstellungsdauer konzipiert.

Mit dem Pavillon sollen neue Wege in der Architektur beschritten werden, die zur Auseinandersetzung mit globalen Themen wie ökologischen Fußspuren, Makro- und Mikrowelten und den einheimischen Traditionen und Materialien führen soll. Sowohl die Form des Pavillons als auch seine Nutzung basieren auf dem traditionellen spanischen Keramikkrug „Botijo“ (Abb. 3). Der Pavillon hat einen kreisförmigen Grundriss von 35 m Durchmesser und schließt nach oben mit zwei Domen ab, durch die natürliches Licht einfällt. Das Funktionsprogramm besteht aus den drei genannten Ebenen für Ausstellungen, Treffen, Café, kleine Geschäfte und andere Räumlichkeiten, sowie zwei weiteren Geschossen (+3,60 m und +7,00 m) für Ausstellungen. Die Innenräume sind durchgängig erschlossen und für das Publikum geöffnet, bis auf die Seminar- und Umkleieräume.

Es werden 1.200 Besucher am Tag erwartet, deren Durchgang ungehindert sein muss. So ist der Haupteingang nach Süden orientiert und mit einem strohgedeckten Eingangsbereich versehen. Der Nordausgang ist auch beschattet für erwartete Außentemperaturen in Höhe von +30 °C, damit der Temperaturunterschied zwischen innen und außen abgedämpft wird (Abb. 4).

Baustoffe

Die verwendeten Baustoffe kommen alle aus der Natur: Stroh, Bambus, zertifiziertes Holz und Lehm. Sie benötigen bei der Aufbereitung kaum Energie und helfen so bei der Reduzierung des CO₂-Ausstoßes. Die Fundamente des Pavillons bestehen aus vorgefertigten Betonpfeilern (Ø 27 cm) unter Betonstreifen. Die Fundamentwände sind 1,5 m hohe Gabione aus Maschendraht, die mit Natursteinen verfüllt sind.

Zuerst war geplant, das Tragwerk aus Strohballenwänden zwischen geflochtenen Bambusstäben zu errichten. Letztendlich besteht die Gebäudestruktur nun aus 15 hölzernen Leimbindern, die mit 7 horizontalen Ringbindern verbunden sind. Dünne Bambusstäbe sind kreuz und quer an den Innen- und Außenseiten dieser Tragwerksstruktur angebracht worden. Dazwischen

Earth and straw bale construction for the “El Faro” pavilion at Expo 2008 in Zaragoza

The Citizens’ Initiative Pavilion will be an emblematic pavilion of *Expo Zaragoza 2008* reflecting the civil society’s vitality and ability to innovate in the face of the challenges posed by water. The civil society consists of NGOs, think tanks, foundations, consumer associations, workers’ unions, neighbourhood organisations as well as other specialist associations, which are devoted to the issue of water and sustainable development. The pavilion is open to local, national and international organisations, enabling them to work together in a unifying, multidisciplinary and democratic spirit (see www.elfaro2008.org)

The pavilion is named “El Faro” and the architectural project for the building is the work of the Spanish architect *Ricardo Higuera*s in cooperation with *Iñaki Urquía*. The pavilion is a striking building, due not only to its pitcher shape but also because of the environmental benefits rendered by its construction and materials.

El Faro is situated alongside the thematic squares on the banks of the river Ebro. This is a strategic location which will receive a large proportion of the visitors, both those who enter or leave the Expo by the Bridge Pavilion and those who visit the national pavilions area. Covering an area of around 1500 m², its building will take into account the typical climatic features of its environment and will harmonise with the typical vegetation found in the Soto de Ranillas meander.

El Faro has three different public main spaces: an exhibition area, an encounters forum and a cyber café.

Design

The design was based on two main sustainable topics, energy efficiency and recycling, clearly demonstrated in the following strategies:

- The use of low input energy materials (especially during its prefabrication). The materials used are “natural” (or come almost straight from the earth): straw, wood, bamboo, and clay.
- The use of minimum energy from external sources for temperature and humidity regulation systems.
- To facilitate the recycling of the materials used (the building should stand for three months, during the international exhibition time).

With these aims, the building is intended to be a demonstration of a new way of architectural thinking, dealing with global topics like ecological footprint, macro and micro worlds and approaching vernacular materials and traditions.

Both the building’s shape and its use are based on a traditional Spanish ceramic pitcher (“Botijo”).

The pavilion has a circular plan (35 m diameter), with two domes where natural light can come in. The functional program has three levels: one floor for exhibitions, meetings, café, shop and facilities and two floors (levels +3.60 m and +7.00 m) also for exhibitions. The interior space is perceived as continuous, and all levels are completely accessible (access is restricted only to the meeting room and changing room).

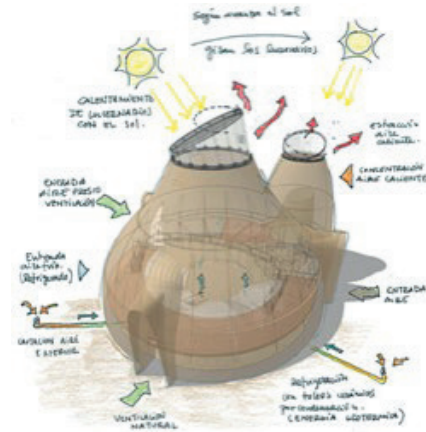
Indoor and outdoor areas are specially relevant points due to the great number of people expected to visit the building (about 1200 per day), so the main access faces south and is protected by a reed porch and the exit is located to the north (shaded area) to avoid thermal shock due to the great temperature differences (exterior temperatures at midday are expected to be over 30 °C).

Materials

The materials are mainly “pre-fabricated” by nature: straw, bamboo, certified wood and clay, reducing not only energy wastage in manufacture but also CO₂ emissions.

The foundations are concrete piles (Ø27 cm) under concrete strips. On the basement there are prismatic steel-mesh cages filled with local stones (gabions), about 1.5 m high.

Though in the first stages the structure was conceived as a straw bale wall within a bamboo mesh, the final structure is based on 15 wooden “ribs” (buttresses) of laminated wood (4 on the smaller volume) linked by 7 horizontal rings. Bamboo meshes are fixed to the inner and outer faces¹ of this structure. Straw bales are placed between these two meshes and covered with sprayed mud render (clay/sand/straw) protected with water glass.



sollen die Strohballen eingepresst werden, die dann beidseitig mit einem Lehm-/Stroh-/Sandgemisch verputzt und mit einem Wasserglasschutzanstrich versehen werden. Böden, Innenwände und Fenster sind aus Holz oder Sperrholz. Die Fußböden sind mit Keramikfliesen bedeckt (Abb. 5).

Zwei Teile in der Struktur berücksichtigen die Nutzung und Regulierung des Tageslichtes, der Ventilation und der Luftfeuchtigkeit: Die obere Dachöffnung, die aus einer Plastik- und Holzstruktur, die mit Steildrähten verankert ist, besteht, sowie das „Panemona“, eine traditionelle chinesische Windflügelanlage aus Stoffsegeln, die an einer abnehmbaren Stahlkonstruktion befestigt sind, sorgen für die Belüftung. Eine natürliche Klimaregelung im Inneren wird durch das Einsaugen von Außenluft mit Hilfe von Ventilatoren in den Unterbau des Pavillons und ihre Kühlung durch Wasser erreicht, das mit einem Wasserrad (Flusswasser) durch den Unterbau zirkuliert. Auch für das Verputzen der Wände wurden viele Tests vorgenommen.

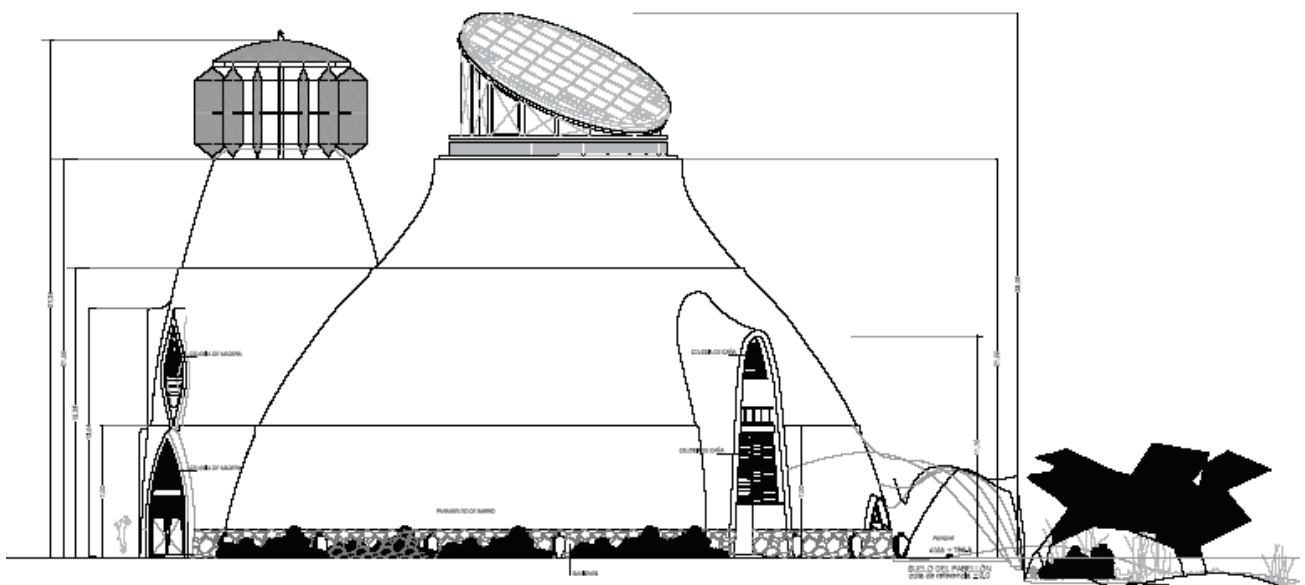
Auflistung der Baustoffe:

- Tragwerk: Leimbinder

- Wände: Bambus (Ø 30 mm); gepresste Strohballen 45×37×100 cm, 25 kg Gewicht, höchstens 20% Feuchtegehalt; Strohlehm; Stahldraht und Drahtgeflecht-Putz:
2 Lagen innen und außen:
1. Lage: 2 bis 3 cm dick (mit 50 Volumen% gehäckseltem Stroh, max. 3 cm Länge), 50 Volumen% 2: 1 Sand/Lehm (4 mm max. Korngröße);
2. Lage: 1 bis 2 cm dick (mit 25 Volumen% gehäckseltem Stroh, max. 3 cm Länge), 75 Volumen% 2: 1 Sand/Lehm (2 mm max. Korngröße); Wasserglas (KSIL) auf den feuchten Putz (1 Liter pro m²) – (Abb. 6 und Abb. 7)

Konstruktion

Mit dem Bau des Pavillons wurde Ende September 2007 begonnen. Wegen der kurzen Bauzeit (9 Monate) und des nicht vorhersagbaren Verhaltens der natürlichen Baustoffe wurden gegen den Wunsch des Architekten kurzfristige Änderungen während der Bauzeit vorgenommen. Für den Wandaufbau auf dem Baugelände wurde vorgeschlagen, Rüstungen zu errichten, die mit dem Tragwerk verbunden und von außen mit Plastikbahnen abgedeckt werden sollen, um die Strohballen vor dem Verput-



1 Skizzen vom architektonischen Wettbewerb für das Gebäude.
Sketches from the architectural competition for the building.



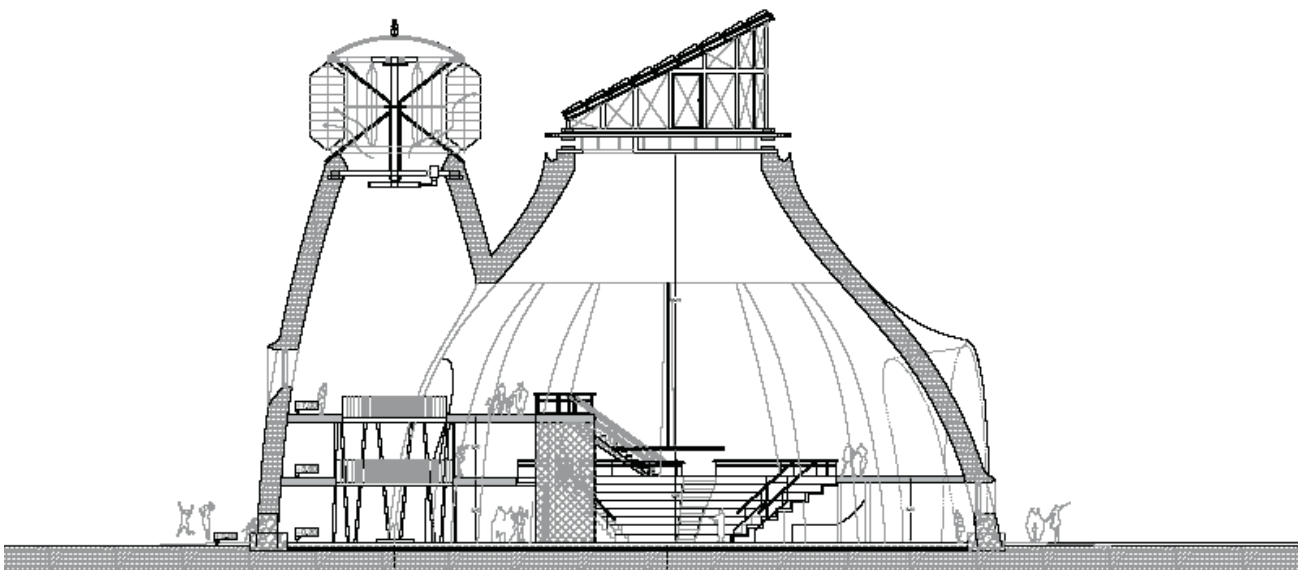
The inner floors structure, partitions and window structures are made of wood and/or plywood. The floor is covered with ceramic bricks.

There are two singular elements over the structure connected with natural lighting, ventilation and hygrothermal regulation: the skylight over the main volume, a polycarbonate and wooden structure reinforced with steel cables², and the “panemona” (a traditional Chinese windmill) over the smaller volume, acting as an air aspirator, constructed as a detachable steel structure with textile sails.

Natural refrigeration is achieved as follows: air is conducted by electric fans from the outside through the basement of the building (under the concrete slab) where it is refreshed with water from a wheel. The water is afterwards returned to the river. Different models were tested during the course of the project to test the structural hypothesis and the accurate composition of plasters. The following are the final elements and construction sequence:

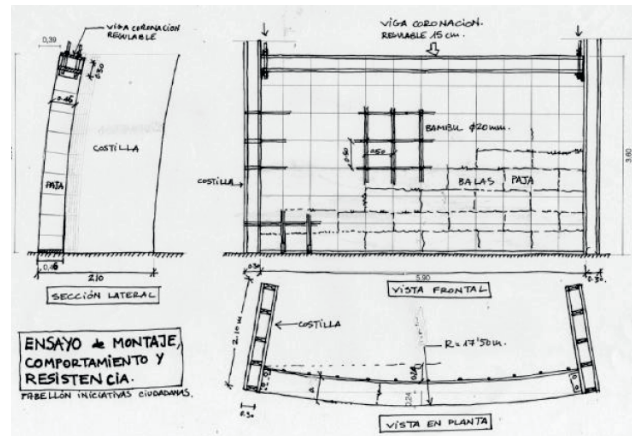
Structural elements: “Kerto” boards as ribbing.

1. Internal bamboo vertical bars ($\varnothing$ 30 mm) fixed every 50 cm.
2. Internal bamboo horizontal bars ($\varnothing$ 30 mm) every two straw bales.
3. Both are connected at the nodes with electrician’s plastic straps.
4. Compressed straw bales (45×37×100 cm, 25 kg each, 20% maximum humidity) bearing on the wooden ring-beams (overlapping as illustrated).
5. Voids between wood and bales are refilled with straw-clay mortar.
6. Vertical external bamboo rods, as internally³
7. Tensile wires and chicken wire mesh stapled to the bamboo.
8. Two sprayed mud plaster coats in the following compositions:
First coat (2-3 cm): 50% volume – chopped straw (maximum length 3 cm) 50% volume – 2:1 (sand/clay) mortar (4 mm maximum grain size)
Second coat (1-2 cm): 25% volume – chopped straw (maximum length 3 cm) 75% volume – 2:1 (sand/clay) mortar (2 mm maximum grain size)
9. Water glass (KSIL) over the damp surface (1 l/m²)



² Blick auf das El Faro Gelände und den Themen Platz.
View of the expo area with El faro and the thematic plazas.

³ Traditioneller spanischer Keramikkrug „Botijo“.
A Spanish ceramic pitcher (“Botijo”).



zen vor Regen zu schützen. Die Rüstungen sollten jeweils bis zu einer Höhe von 6 m abgedeckt werden.

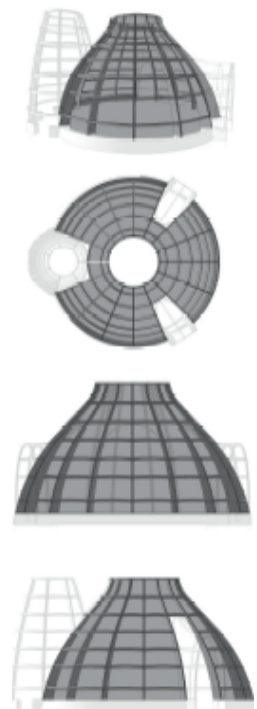
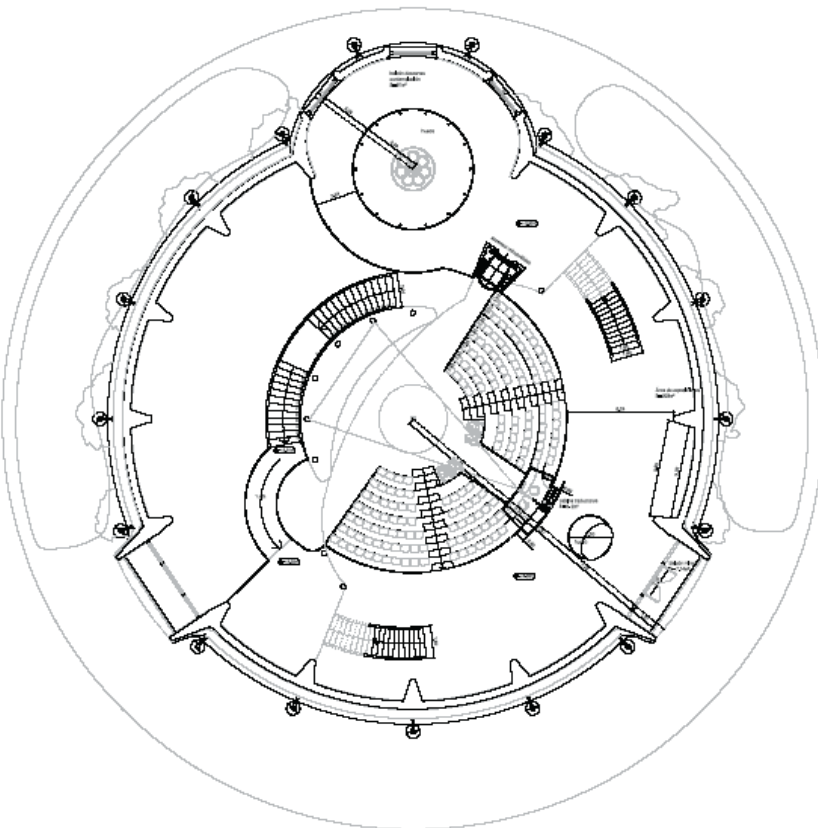
Die Baufirma schlug dann vor, ca. 3×2 m große Wandbauelemente aus Bambus und Strohballen vorzufertigen. Das geschah in einem Industriegebäude außerhalb des Baugeländes. Die einzelnen Wandbauteile wurden außerdem schon mit der ersten Putzlage versehen, bis zum Trocknen mit Plastikfolie abgedeckt und dann in die Struktur eingebracht. Diese Art der Konstruktion gestattete folgende Bauschritte:

- Die Wandelemente konnten „um die Uhr“, also 24 Stunden lang hintereinander mit verschiedenen Bauteams hergestellt werden. Dadurch konnte die eigentliche Bauzeit reduziert werden. Von insgesamt 103 benötigten Wandbauelementen

wurden so in 8-Stunden-Schichten jeweils 2 Elemente produziert.

- Kostenintensives Einrücken wurde vermieden. Die Wandteile wurden mit dem Kran eingebracht, verschraubt und mit der zweiten Putzlage und Deckschicht versehen.
- Die Wandbauteile waren schon getrocknet und mit einer ersten Putzlage versehen.

Der einzige Nachteil war die zusätzlichen Verbindungsfugen, die mit Maschendraht als Putzträger für das restliche Putzen versehen werden mussten. Nach dem Einbringen der Wandbauelemente wurde der Endputz aufgebracht. Für diesen Putz wurde die zunächst vorgesehene Mischung geändert. Zu dem 1:1 Mischungsverhältnis von Sand und Lehm kamen 5% (Volumen)



4 Projektzeichnungen
Drawings from the project documentation.

5 Skizzen von Konstruktionsdetails und Modell.
Draft construction details and working model.



Construction

Construction of the pavilion was started by the end of September 2007. Due to the short time available (9 months) and the unpredictable behaviour of the natural materials used, some changes were introduced during the process, some of them against the author's wishes⁴.

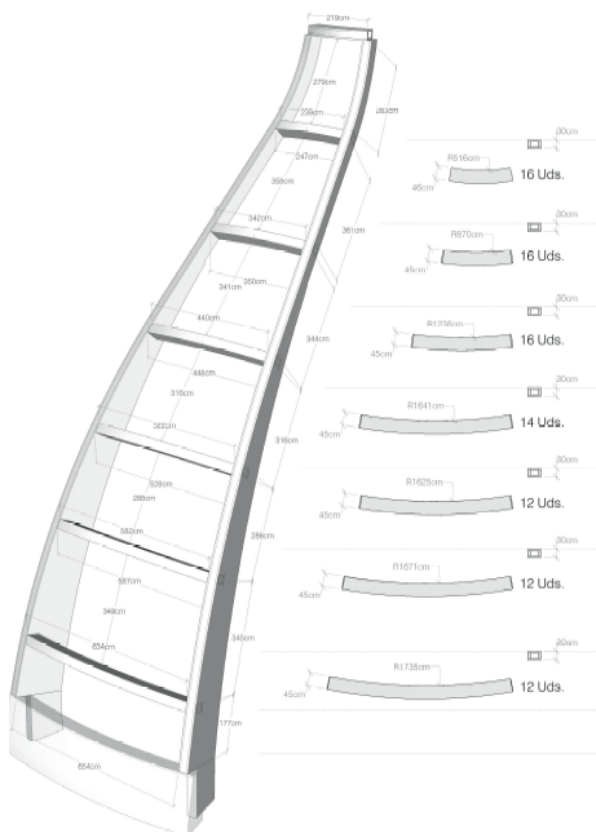
In the project, erection of the wall was designed to be carried out completely on site. This requires the erection of scaffolding, fastened externally to the main wooden structure, to serve as working platforms and to support plastic sheeting to protect the straw bales from rain before they are plastered. Scaffolding was planned up to a height of 6 m with elevating platforms for the upper levels.

The constructor proposed a prefabricated panels system, so the bamboo and straw bale panels, which were 3 m long and 2 m high (approx.), were assembled in a factory shed and then assembled to form the main structure once completed.

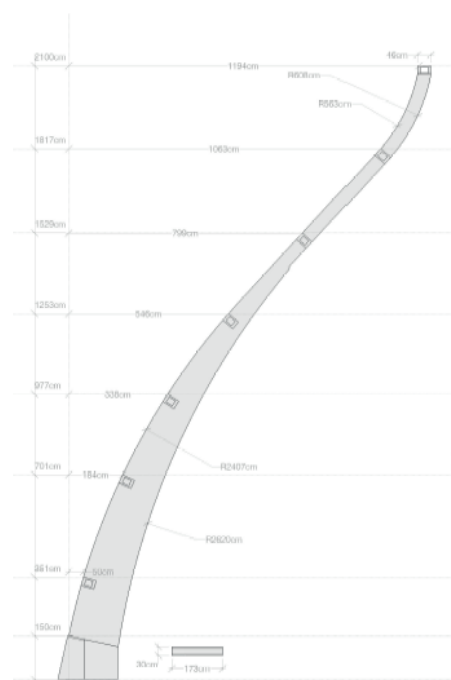
The panels were sprayed with the first coat and immediately stored in a compound and protected with canvas during drying time until being placed in their final location.

This working method permitted:

- fabrication of the panels round the clock with different working teams and a reduction in working time as enabling wall



6 Tragwerk und Wandaufbau.
Structural elements and wall assembly method.



7 Testwandteile.
Test panel.



Kalk hinzu. Da bei den Probewänden ein anderes Mischungsverhältnis angewendet wurde, erschienen nach dem Verputzen einige Risse und Abrieb. Die Putzmischung wurde durch das Beimischen von Kalk (s.o.) geändert und alle aufgetretenen Schäden beseitigt. Risse und Abrieb traten nicht wieder auf vor der letzten Deckschicht aus Wasserglas (Abb. 8 bis 11).



Gestaltung: Ricardo Higuera. Architekt
Zusammenarbeit: Iñaki Urquía. Architekt
Bauherr: Expo 2008
Baukosten: 3.697.867,52 € (einschl. Nebenkosten und Steuern)
Entwurfszeit: Januar bis Juli 2007
Bauzeit: September 2007 bis Juni 2008



construction to be started at the same time as main wooden structure. Otherwise it would have been quite difficult to finish on time⁵

- avoidance of scaffolding work, as panels were erected by crane and fixed with bolts
- protection of the straw bales before placement and a reduction in working time, since half of the plastering work could be done while constructing the panel.

On the other hand this method increased the number of wooden joints that had to be reinforced with wire mesh, thus impeding the proper rendering work.

Once the panels were placed on site, the final plaster and KSIL rendering coat was sprayed over the whole surface, covering joints.

Other relevant changes were made in the proportions of sand and clay and with the addition of hydraulic lime to the mortar, so the final mix contained a 5% volume of this component. For the final coat 1:1 (sand/clay) mortar was used. Since the materials used for construction were different from those used in previous tests, some cracking and graining appeared on the first panels. The mix was readjusted to avoid graining and lime was added to avoid cracking due to the heavier clay content.

For the first coat the help of a trowel was needed after spraying to fill in voids, as the metal wire mesh was not always tightly fixed, and before the water glass final coat was sprayed, brushing was needed to remove loose particles.

Originator: Ricardo Higuera. Architect

Co-originator: Iñaki Urquía. Architect

Client: Expo 2008

Cost: 3,697,867.52 € (including industrial benefit and taxes)

Construction: Sacyr.

Project dates: January–July 2007

Construction period: September 2007–June 2008

- 1 This was selected for his high strength, low weight and because it is easy to carry and work without special skills, though its use has to be restricted because of the need to import.
- 2 Originally it was projected to move slowly, following the sun and acting as a solar clock and had solar photovoltaic panels on the roof
- 3 The bamboo has to follow the same profile as the bale face, so this is achieved with cuts in the surface of the bale with a motor saw to enclose the bamboo rods. The voids are then refilled with straw-mud mortar.
- 4 It is worth mentioning that, in Expo 2008, the architects who are authors of the projects are not usually directors of the construction works. They attend the working site as assistants to a manager from the Expo 2008 society, who leads the construction of several pavilions.
- 5 Each team assembled two panels during his working shift (eight hours) from a total of 103.