

Trabajo Fin de Grado

La tierra cruda como material de construcción:
evolución de una técnica.

“El caso de Martin Rauch”

Autor

Isis Irene Pérez Martín

Director

Alejandro Dean Álvarez-Castellanos

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2019



LA TIERRA CRUDA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN: EVOLUCIÓN DE UNA TÉCNICA

El caso de Martin Rauch

Isis Pérez Martín

Director: Alejandro Dean Álvarez-Castellanos

ESTUDIOS EN ARQUITECTURA
Universidad de Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe entregarse en la Secretaría de la EINA, dentro del plazo de depósito del TFG/TFM para su evaluación).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D^a. Isis Irene Pérez Martín, con nº de DNI 73160206N ,en
aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de
septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el
Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,
Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado (Título del Trabajo)
La tierra cruda como material de construcción: evolución de una técnica.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser
citada debidamente.

Zaragoza, 19 de septiembre de 2019

Fdo: Isis Irene Pérez MARTÍN

RESUMEN

En el mundo industrializado que habitamos, la tierra , asociada a una escasez de medios, ha quedado relegada por nuevos materiales de construcción hasta casi caer en el olvido durante el último siglo.

En un marco actual mundial, diversos arquitectos y profesionales de la construcción abogan por la vuelta a esta materia prima debido a sus enormes cualidades estéticas, técnicas y ecológicas.

En lugar del resurgir de una tradición constructiva milenaria, se están llevando a cabo grandes avances técnicos que posibilitan la integración del material con los requisitos impuestos por la sociedad contemporánea.

En este ámbito se sitúa el austriaco Martin Rauch, artesano- constructor que ha dedicado la práctica totalidad de su carrera profesional a la recuperación y el desarrollo del tapial como técnica constructiva de tierra cruda.

El enfoque de este trabajo se basa en una experiencia personal de acercamiento al material para poder analizar exhaustivamente la evolución de la técnica del tapial que Martin Rauch desarrolla en una trayectoria dilatada de tres décadas de trabajo. No es un análisis biográfico, de entre más de sesenta obras realizadas, la investigación pone de manifiesto los puntos críticos de la misma, ejemplificándolos con una quincena de obras.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS Y ELECCIÓN DEL TEMA

METODOLOGÍA Y FUENTES

ESTRUCTURA DEL TRABAJO

PRIMERA PARTE

1.1. TIERRA CRUDA

1.1.1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

1.1.2. EXPERIENCIA SENSORIAL Y PROPIEDADES DEL MATERIAL

1.2. MARTIN RAUCH

1.2.1. ENTRE LA ARTESANÍA Y LA ARQUITECTURA

SEGUNDA PARTE

EVOLUCIÓN EN LA TÉCNICA DEL TAPIAL

2.1. TAPIAL REALIZADO *IN SITU*

2.1.1. SIN FUNCIÓN ESTRUCTURAL: Cualificación del espacio y enfatización de las propiedades térmicas del tapial.

2.1.2. CON FUNCIÓN ESTRUCTURAL: Construcción y expresión material.

2.2. TAPIAL EN BLOQUES PREFABRICADOS

2.2.1. SIN FUNCIÓN ESTRUCTURAL: Desarrollo e integración de instalaciones.

2.2.2. CON FUNCIÓN ESTRUCTURAL: Condición estructural en el tapial prefabricado.

CONCLUSIÓN

LECCIONES APRENDIDAS

ANEXOS Y BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS Y ELECCIÓN DEL TEMA

El trabajo aquí presente tiene por objetivo analizar la evolución de una técnica. No se trata de elaborar un trabajo que profundice en las propiedades de la tierra cruda como material de construcción, ya que hay abundante documentación al respecto. El trabajo, sin embargo, pretende evidenciar el desarrollo de una técnica constructiva a través de la trayectoria profesional de Martin Rauch.

A lo largo de un proceso dilatado en el tiempo, observamos una progresión vinculada al uso de la tierra cruda como material de construcción. Desde una arquitectura más artesanal hasta la prefabricación de la misma, explicaremos mediante una selección de proyectos, los puntos de inflexión que se van produciendo a lo largo de su obra, para llegar a la depuración técnica que adquiere en el transcurso de tres décadas de trabajo.

Trataremos la solución del detalle constructivo y la propia materia como condición directa de la forma en el proyecto. Evidenciando las bondades y la calidad de una construcción milenaria que sucumbió al olvido de una tradición y que en el último cuarto de siglo está proliferando.

Tras la experiencia de estudiar un año de mis estudios en la "École Supérieur d'Architecture de Nantes" (ENSA), universidad de acogida durante un año (2018-2019) en mi estancia Erasmus, tuve la ocasión de profundizar sobre la técnica de la construcción en tierra. Diversas charlas de arquitectos invitados incitaron también el gusto y la curiosidad por proyectos realizados en la actualidad en los que el material es el propio suelo de la excavación. Timur Ersen, una de estas personalidades, contó su trabajo práctico con el material y el desarrollo de su obra, que la definía más como un trabajo de artesanía que de arquitectura. Explicó como se inició en la práctica profesional con uno de los mayores exponentes de la arquitectura en tierra cruda, Martin Rauch. Es así como esta figura llegó a mis oídos, sin embargo, otros muchos motivos han sido relevantes para centrar el tema de mi investigación.

Después de ahondar en una bibliografía extensa y empezar a comprender el panorama actual de este tipo de construcciones, advierto por un lado, el uso de la tierra cruda en países en vías de desarrollo, como una necesidad de primera urgencia a la que se empieza a dar solución, todavía escasa, con algunos proyectos de arquitecturas de cooperación que se están realizando en la actualidad. Ejemplos de esto serían proyectos realizados en Asia, Sudamérica y África de la mano de arquitectos como Anna Heringer, Anupama Kundoo, David Adjaye o Francis Kéré entre otros.

Y por otro lado, la vertiente de esta arquitectura de tierra cruda en países industrializados, donde una vez fue, materia imprescindible en la arquitectura tradicional, pero quedó relegada por el progreso tecnológico del S.XX con la estandarización de materiales como el acero y el hormigón. Y es ahora cuando se está re-descubriendo por sus múltiples cualidades sostenibles y re-investigando para sacar el máximo partido a sus posibilidades técnicas y estéticas.

Movida por la belleza de proyectos actuales, como la conocida fábrica Ricola de los arquitectos Herzog y de Meuron, por una curiosidad constructiva en la evolución de una técnica ancestral y por la viabilidad de la aplicación de esta en un entorno próximo, decido centrar la investigación en la obra de Martin Rauch dado que sus realizaciones tratan una arquitectura actual, con un importante desarrollo técnico y sobre todo consciente y consecuente con el medio ambiente, algo muy interesante desde mi propia perspectiva.

METODOLOGÍA Y FUENTES

RAE: tapial

1. m. Encofrado de dos tableros paralelos con los que se construyen las tapias.
 2. m. Pared o trozo de pared que se hace con tierra amasada.
- Vamos a referirnos al segundo significado.

¹ Gernot Minke, Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual, 2ª ed. (2005).

² di Paoli, R. (2014). Apuntes de la asignatura *Matières à construire: Construction en Terre Crue*. École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, ENSA

³ www.craterre.org

⁴ Beatriz YUSTE. "Arquitectura de tierra, caracterización de los tipos edificatorios". (Máster en Arquitectura Energía y Medio Ambiente, Gabriel Barbeta, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2010), 122.

⁵ <http://www.lehmtonerde.at/en/>

⁶ Otto Kapfinger & Martin Rauch, *Rammed Earth*. (Birhäuser, Basel, 2001).

⁷ Otto Kapfinger & Marko Sauer, Martin Rauch, *Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth* (2015).

Para la realización de este trabajo de investigación, la metodología comienza con la realización de este curso de Construcción en Tierra Cruda ("*Matières à Construire: Construction en Terre Crue*"). Como materia optativa en la Escuela de Arquitectura de Nantes (ENSA), me ha permitido la iniciación tutorizada en un campo lleno de perspectivas futuras. En clases tanto teóricas como prácticas, he comenzado a interesarme por la materia prima tierra como material de construcción.

No es el estudio de un tipo de sistema constructivo teóricamente aprehendido lo que incita mi interés, sino la inmersión práctica con el materia en el taller. La posibilidad de experimentar con la materia de manera sensorial: tocándola, oliéndola, viéndola, escuchando los granos de la misma al caer. Realizar ensayos, comprobar estos al cabo de un tiempo, ver como reacciona el material en adición con agua, paja, arenas de colores, aceites, gravas y otros elementos son algunas de las cosas que me llevan a querer saber más acerca de este tipo de construcción.

Este interés me lleva a indagar en diferentes arquitecturas realizadas en técnicas de tierra tanto tradicionales como actuales. Descubro un amplio espectro de obras, que se extienden en localización geográfica por todo el mundo y en antigüedad hasta las construcciones más primitivas.

Tras una amplia fase de documentación, con una bibliografía extensa, acoto el tema centrando mi investigación en la figura de Martin Rauch. Analizo su obra en extensión para seleccionar los proyectos que considero suponen puntos de inflexión en la evolución de la técnica del tapial y de los que encuentro documentación suficiente.

Realizo una entrevista al arquitecto Timur Ersen, conferenciante invitado en la Escuela de Arquitectura de Nantes, que nutre también la investigación gracias a su experiencia de construcción con tapial en la Fábrica Ricola en Laufen de los arquitectos Herzog y de Meuron.

Para hablar de las propiedades y generalidades de la tierra cruda secundo parte de mis conocimientos en el Manual de Construcción en Tierra de G. Minke ¹. También en los apuntes proporcionados en la asignatura impartida en Nantes, del profesor Luca di Paoli ², en información extraída en la web y diversas publicaciones del grupo CRATerre ³, en una Tesis Doctoral de Arquitectura en Tierra ⁴ y en la lectura de diversos TFG relacionados con el tema.

La bibliografía específica en la que me he basado para la investigación pormenorizada de la obra de Martin Rauch son, principalmente, dos publicaciones monográficas y la propia web del autor, esta es la del taller Lehm-Ton-Erde ⁵ donde se puede encontrar fácilmente una recopilación de su obra, con breves explicaciones y fotografías, de todos los proyectos realizados, exceptuando algunos no construidos que quedaron en fase de concurso.

En cuanto a las monografías, una de ellas es "Rammed Earth" ⁶, de 2001 donde aparecen los proyectos residenciales y públicos realizados hasta ese momento. La otra publicación es "Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth" ⁷, donde se explican con ejemplos de varios proyectos la realización de muros, suelos, aberturas de huecos, suelos y cubiertas. Solo aparecen algunos proyectos pero están más detallados, lo que me permite comprender el sistema estructural de muchos de ellos. Uno de los proyectos más documentados del autor, su propia casa, consta de una publicación bajo el título, "La Casa Rauch" ⁸. Y esta y otras obras aparecen detalladas en la revista online Tectónica ⁹. Por último he obtenido información de las páginas Web de los distintos arquitectos con los que se asocia Martin Rauch para la realización de sus obras.

A diferencia de otros trabajos de investigación¹⁰ que profundizan en la tierra como material de construcción o de aquellos biográficos sobre la figura de Martin Rauch, mi Trabajo de Fin de Grado estudia, con los conocimientos propios de una experiencia personal, la evolución de la técnica constructiva del tapial ejemplificada en la trayectoria de Martin Rauch.

⁶ Roger Boltshauser & Martin Rauch, THE RAUCH HOUSE | A Model of Advanced Clay Architecture (Basel, 2010).

⁹ www.tectonica.archi/projects/

¹⁰ Miguel Tutor Vicente. "La recuperación de la tierra pisada en la arquitectura contemporánea". (Trabajo de Fin de Grado, Grado en Arquitectura, Dirección Santiago Carroquino Larraz, Escuela de Arquitectura e Ingeniería, Zaragoza, 2015).

ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Una vez realizada la fase de documentación se inicia la redacción del trabajo. Consta de una introducción, un desarrollo principal dividido en dos partes, las conclusiones y la bibliografía y anexos. En este último apartado se adjunta una entrevista realizada al arquitecto Timur Ersen, participante en la construcción de la Fábrica Ricola en Laufen como parte del equipo de Martin Rauch.

En la primera parte se analizan brevemente la historia, el panorama actual, las propiedades y las técnicas constructivas en tierra, en relación con mi experiencia personal en Nantes, sin pretender ser un manual de arquitectura en tierra. También aparece una explicación biográfica acerca de Martin Rauch, figura que tiene el peso más importante del trabajo.

En una segunda parte, se desarrolla un discurso que trata la evolución de la técnica constructiva del tapial actual a través de la obra de Martin Rauch. Esta investigación está dividida en dos subapartados que abordan la construcción *in situ* y el tapial prefabricado respectivamente. Inicialmente dos sistemas constructivos con características muy diferentes que acaban nutriéndose el uno del otro en una trayectoria personal y profesional. Se abarcan temas de estructura, envolvente, inercia térmica y otras múltiples cualidades ejemplificadas en más de una quincena de obras.

Esta investigación permite realizar una tercera parte en la que se plasman algunas conclusiones y de la que se extraen diversos conocimientos y un gran abanico de posibilidades constructivas que tal vez, algún día, puedan permitirme poner en práctica como arquitecta.

PRIMERA PARTE

1.1 TIERRA CRUDA

1.1.1 INTRODUCCIÓN HISTÓRICA Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

¹¹ F. Font & P. Hidalgo. "La tapia en España. Técnicas actuales y ejemplos". *Informes de la Construcción* (julio-septiembre 2011): Vo. 63, 523, 21-34

¹ Gernot Minke, *Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*, 2ª ed. (2005). p. 13.

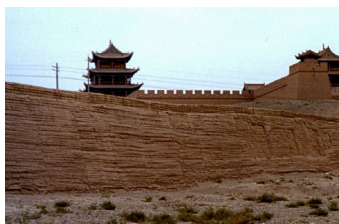


Fig 1. Muralla China. Data de hace 4000 años, en sus inicios gran parte fue construida en tapial, aunque luego gran parte se recubrió con piedra y ladrillo ⁵.



Fig 2. Ciudad de Shibam, Yemen. Ciudad del S.XVI construida principalmente en adobe. El modo de crecimiento vertical alcanza hasta las ocho plantas de altura.



Fig 3. Alhambra de Granada, España. Construcción en tapial del siglo IX ⁵.

Fig 5. Derecha. Vannes, Bretaña francesa, ejemplos de construcción en "torchis", estructura en madera con relleno en tierra.

Fig 6. Izquierda. Construcción tradicional en tapial. Bandas horizontales de piedra para reducir la erosión.

Históricamente la construcción en tierra se ha visto ligada a la solución de antiguas viviendas de tribus africanas o viviendas excavadas en el terreno, asociándose con una escasez de medios o "pobreza".

Desde hace siglos, sin embargo, la tierra ha formado parte esencial en la construcción, no solo de viviendas, sino también de arquitectura defensiva y arquitectura sacra. Ejemplo de esto son arquitecturas que aún perduran, después de siglos de historia, como gran parte de la Muralla China (Fig 1.) o la ciudad de Shibam (Fig 2.), en Yemen. No es necesario alejarse tanto temporal ni geográficamente. España posee un amplio repertorio de patrimonio construido en tierra compactada (tapial) como es el caso de la Alhambra de Granada (Fig 3.) o de arquitectura tradicional en gran parte del territorio (Fig 4.).

Cabe destacar también, la gran tradición constructiva de tierra cruda en el país vecino, Francia (Fig 5.). Múltiples ejemplos de viviendas tradicionales francesas (Fig 6.) han sido inspiradoras para contemporáneos como Martin Rauch por la sinceridad constructiva de unos muros en tapial cuya apariencia final es resultado de su proceso de elaboración.

A pesar de esta tradición constructiva milenaria, en países industrializados, son el hormigón, el acero, el vidrio, el ladrillo o incluso la madera, los materiales que con una apariencia más "noble" han acaparado la industria de la construcción, dando lugar al olvido de siglos de historia ¹¹. Aún así, en la actualidad, "un tercio de la humanidad vive en viviendas de tierra, y en países en vías de desarrollo esto representa más de la mitad" ¹.

Desde el último cuarto de siglo se está produciendo una recuperación de este material como una vía de estudio en la arquitectura contemporánea. No solo en países en vías de desarrollo donde no se ha llegado a dar una solución industrializada de hábitat y por tanto la vivienda se ha resuelto desde siempre con recursos locales y una construcción en comunidad.

Alrededor de todo el mundo, se han desarrollado edificios que muestran grandes cualidades técnicas y estéticas¹² y a su vez, ha supuesto una revalorización y vía de restauración del patrimonio



cultural (Fig 7.). En occidente se revive la materia olvidada y en países menos desarrollados, edificios ejecutados adecuadamente dotan de prestigio a esta. Mundialmente, la calidad de estas obras se empieza a reconocer. La UNESCO lanzó en 2015 el concurso TerraAward donde proyectos construidos como The Great Wall of WA en Australia (Fig 8.), el Centro de Interpretación en Dehlingen (Fig 9.), las piscinas del Toro (Fig 10.) en Zamora o una vivienda unifamiliar en la localidad oscense de Ayerbe (Fig 11.), se situaron entre los finalistas.

Por otro lado, arquitectos como Francis Kéré, con su actividad humanitaria (Fig 12.), o Martin Rauch, con su gran avance tecnológico, están demostrando la gran calidad que puede alcanzar este tipo de construcciones con tierra cruda.



Fig 4. Viviendas tradicionales en tierra en Escatrón, provincia de Zaragoza.



Fig 7. >



Fig 7. Ejemplo de rehabilitación de una vivienda construida en tierra. Bretaña, Francia.

Fig 8. The Great Wall, Australia, del arquitecto Luigi Rosselli. Vivienda colectiva, adosadas a una duna y construidas en tapial.

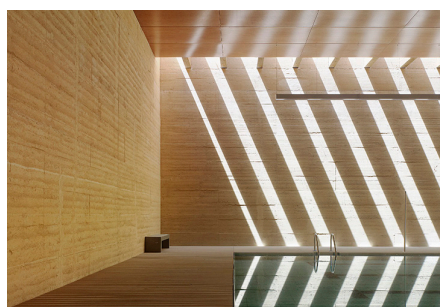


Fig 10. >

Fig 8. >>

Fig 9. Centro de Interpretación del Patrimonio en Dehlingen, Nunc Architectes. Construcción en tapial.

Fig 10. Piscinas en Toro, Zamora. VIER Arquitectos.

Fig 11. Casa en Ayerbe, Pirineo Aragonés. Arquitectura: Angels Castellarnau.

Fig 12. Escuela Primaria en Gando, Burkina Faso. Obra de Francis Kéré realizada con ladrillos de adobe. Ganador del premio Aga Khan Award 2014.



Fig 9. >

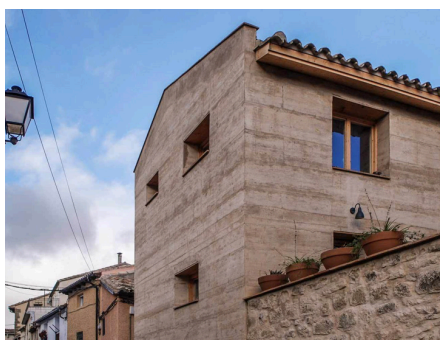


Fig 11. >

Fig 12. >>



¹² Dominique Gauzin-Müller, Architecture en terre d'aujourd'hui, Édition augmentée (2017). p7.

1.1.2 EXPERIENCIA SENSORIAL Y PROPIEDADES DEL MATERIAL

¹ Gernot Minke, Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual, 2ª ed. (2005).

p. 49 " En la antigüedad, la sangre de toro se utilizó comúnmente como agente aglutinante y estabilizante"

¹³ Jean-Marie Le Tiec & Grégoire Paccoud, Pisé H2O, De l'eau et des grains pour un renouveau du pisé en Rhône-Alpes. Grenoble: CRAterre-ENSAG (2006).

p. 3 "La terre et l'eau. Voilà deux éléments, l'un de nature solide et l'autre liquide, qui semblent apparemment antagonistes si on les considère dans la perspective d'usage en construction dès lors que leur mélange, à première évidence, donne de la boue".

p. 11 "La tierra apisonada es un hormigón, natural y listo para usar. ¡El hormigón no es sinónimo de cemento! Hormigón es un término genérico para un material de construcción compuesto hecho de agregados de arena y grava aglomerados por un aglomerante".

Mediante del contacto directo en el taller de la Escuela de Arquitectura de Nantes (Fig 13.), surge la posibilidad personal de observar la amplitud de opciones y virtudes que ofrece este material. Comprender sus características, muchas de ellas, solo tangibles a través de una experiencia sensorial, permiten entender el interés que suscita en la actualidad.

En este aprendizaje comprendo una de las propiedades más importantes del material, su reversibilidad. Es un material natural, forma parte de proceso cíclico y por consiguiente su uso en la construcción también puede serlo. Un edificio de tierra tiene la capacidad de volver a su estado inicial, a sus orígenes, una vez ha finalizada su vida útil. De este modo, la tierra utilizada en el taller había sido previamente trabajada por otros compañeros.

Mediante la elaboración de mezclas con diferentes tierras (Fig 14.), proporciones de arcilla, arena, agua e incluso la adherencia de fibras como la paja (Fig 15.); pude comprobar otra de las principales propiedades de este material: su vinculación con el lugar. Se trata de un material local, que depende, por su composición, al lugar donde se construye. Abundante en todo el mundo, la tierra es un material sostenible. Se puede construir con el material de la propia excavación o de un lugar cercano. Esto implica una energía casi nula, tanto en el transporte como en la transformación del material.

Por su propia naturaleza, la tierra cruda posee múltiples variaciones en su composición. Como material de construcción, únicamente son necesarios dos elementos: uno de naturaleza líquida y el otro sólida ¹³. Agua y tierra que vamos a ir agregando hasta adquirir una mezcla en un estado plástico (Fig 16.). Una realización manual permite comprender cómo la calidad de la mezcla solo es perceptible y mejorable a través de la experiencia, siendo necesaria la realización de diversas de ellas para dar con la más adecuada.

El primer elemento, el agua, sirve de unión, reuerza la cohesión entre las partículas de arcilla. Visualmente inapreciable, un muro en tierra posee un porcentaje de humedad (2% aprox.), palpable mediante el tacto, factor que le confiere la propiedad de buen regulador higrotérmico. La tierra, bajo la capa vegetal (unos 20 cm de profundidad) está compuesta de arenas, limos y arcillas. Aparecen también piedras y gravas en su composición. La diferencia entre estos elementos es su diámetro, dissociable gracias a un tamiz granulométrico (Fig 17.). Con medidas inferiores a 0,002 mm se denomina arcilla (con función aglomerante), entre 0,002 y 0,06 mm limo y entre 0,06 y 2 mm arenas. Más grandes son piedras y gravas ¹. En función de las proporciones de estos elementos podremos calificar el tipo de suelo, íntimamente relacionado con la construcción resultante en el lugar.



Fig 16. Mezcla con agua hasta obtener un estado plástico de la materia.



Fig 15. Adherencia de paja en la mezcla de tierra cruda.



Fig 17. Tamizado de la tierra.



Fig 14. Proporciones diferentes de arcilla, arena, agua y paja.



Fig 13. Talleres de tierra, Escuela de Arquitectura de Nantes, obra de los arquitectos Lacaton y Vassal.



Fig 18. Test de retracción. Cuanta más agua en la mezcla mayor será esta.



Fig 19. Test de la pastilla. Se comprueba la resistencia en seco de la pieza.



Fig 20. Test del hueco de la mano. Experiencia táctil del estado plástico y viscoso de la tierra.



Fig 21. Test de la bola. Se lanza desde una altura determinada para comprobar su aplastamiento.

¹⁴ J. Cid, F.R. Mazarrón, I. Cañas, "Las normativas de construcción con tierra en el mundo", Informes de la Construcción (julio-septiembre 2011).

¹⁵ Raquel Catalán Díez. "Construcción con tierra, reinterpretación de una tradición". (TFG, Grado en Arquitectura, Dirección Alberto Ballarín Iribarren, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2018)

Fig 22. Preparación de la mezcla del cob.

Fig 23. Apisonado de la tierra.

Fig 24, 25. Construcción de bolas con la mezcla.

Fig 26. Muro mediante la superposición de estas bolas. Técnica del cob.

Tras conocer de primera mano el componente material de trabajo y antes de una iniciación en las diferentes técnicas constructivas es necesario la realización de ensayos en taller (Fig 18, 19, 20, 21.). Al variar su composición según múltiples factores. es muy complicado hablar de la tierra como un material estandarizado(*), como lo es el acero, por ejemplo. Es por esto, que solo a través de ensayos prácticos se puede percibir características como la retracción, la aparición de fisuras, la cohesión o la consistencia del material. Sin estos, es complicado determinar los cálculos mecánicos y cumplir con la reglamentación térmica. Podríamos decir que hay similitudes con la madera, en cuanto a su origen natural (donde siempre hay variaciones) aunque también con uno de los materiales más industrializados, el hormigón, debido a que es un elemento granular. De hecho la tierra es conocida como un hormigón de arcilla¹⁵.

Estar en contacto directo con el material y llevar a cabo las principales técnicas tradicionales me permite seguir comprendiendo la materia, sus cualidades y propiedades intrínsecas y poder hablar de ellas. Se trata de ejercicios ensayo/error. Estas técnicas se pueden agrupar en cuatro sistemas constructivos, los cuales he tenido la oportunidad de realizar.

La Técnica del Cob (Fig 22, 23, 24, 25, 26.) es un proceso de artesanía, consiste en la realización de muros a partir de la agrupación de masas irregulares redondeadas previamente a mano. En la mezcla de tierra se añade paja u otras fibras de origen vegetal. Podríamos considerarla como la técnica más arcaica.



(*) La regulación mediante normativa es escasa y complicada. En países como Alemania, Nueva Zelanda o Francia se están desarrollando normativas específicas para la construcción en tierra. En España todavía es muy escasa, presente a través de la UNE 41410, de 2008 para bloques de tierra comprimida ¹⁴ y mediante una Guía del Ministerio de la Vivienda con nociones sobre como cumplir con el CTE.

La elaboración de esta técnica permite presenciar un factor importante en este tipo de construcción, la implicación social que conlleva. Un trabajo en cadena en el taller dió como resultado la construcción de un pequeño muro en cob. Cabe mencionar, sin embargo, la labor de talleres y voluntariados que se realizan por todo el mundo desarrollando todo tipo de técnicas. Ya sea en su función de rehabilitación del patrimonio o arquitectura de cooperación (de emergencia en algunos casos), en países del tercer mundo se organizan talleres en los que participa todo el pueblo e incluso se forma a la población autóctona para que pueda seguir desarrollando este tipo de construcciones colaborativas y autoconstrucciones. Ejemplo de ello es el caso de la escuela METI en Bangladesh (Fig 9.) de Anna Heringer y Martin Rauch. Así pues, hablamos de un impulso en la economía local, invirtiendo un mayor capital en mano de obra cualificada pero reduciendo costes en transporte e industrialización de materiales; y por tanto, en contaminación.

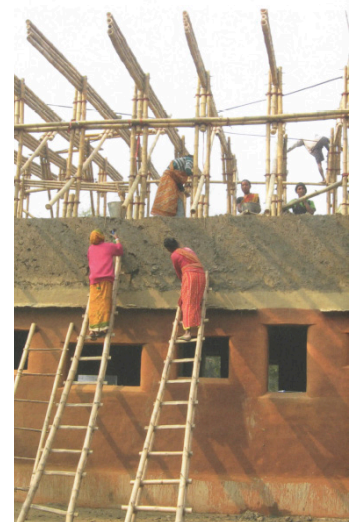


Fig 27. Construcción colaborativa de la Escuela METI mediante la Técnica del Cob.

Otro de los sistemas constructivos es la **Técnica del Adobe** (Fig 28, 29.), de las más antiguas, consiste en la realización de bloques de barro no compactados a través de un molde (ladrillos sin cocer) y secados al sol. La mezcla puede variar considerablemente mediante el añadido de fibras, piedras o incluso excrementos de animales; sin embargo, la arcilla, la arena y el agua son esenciales. Estos ladrillos permiten la construcción de muros utilizando el aparejo deseado y empleando parte de esta masa como mortero.



Fig 30. Biblioteca en Gando, Burkina Faso. Francis Kéré. Construcción de muros con adobes.

Esta técnica es muy utilizada en la tradición africana, y es la que recupera y desarrolla el arquitecto burkinés Francis Kéré (Fig 30), nombrado anteriormente. De su construcción, podemos aprender uno de los principios básicos de la construcción en tierra, su mal comportamiento ante el agua, la permeabilidad es uno de sus puntos más débiles (así como también la retracción que se produce en el muro al secarse). Hay que disminuir al máximo el contacto directo con inclemencias y el proceso de erosión del muro. Lo más sencillo es que una construcción en tierra posea, como dice el dicho popular "buenas botas y buen tejado", con la función de proteger la parte superior del muro e impermeabilizar las cimentaciones. Francis Kéré es consecuente por lo que crea una escisión clara en sus proyectos, entre los muros de adobe y la cubierta y cimentaciones de chapa y hormigón correspondientemente.



Fig 28. Relleno de la mezcla en los moldes previamente mojados con agua.

Fig 29. Elevación manual del molde. Secado de adobes al aire libre.



Fig 35. Revestimientos de tierra sobre piezas de ladrillo. Cuanta más cantidad de arena en la composición, más difícil es su aplicación pero se producen menos fisuras.

¹ Gernot Minke, Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual, 2ª ed. (2005). p. 49

" En la antigüedad, la sangre de toro se utilizó comúnmente como agente aglutinante y estabilizante"



Fig 36. Casa Munita González, Batuco, Chile. Subestructura metálica y relleno de tierra aligerada con paja. Arias Arquitectos + Surtierra Arquitectura.

Otro de los principales sistemas constructivos, que posee diferentes variantes, es la **Técnica de Sistemas Mixtos** (Fig 31, 32, 33, 34.) de recubrimiento o relleno de estructuras de madera. En Francia denominado "torchis", se realiza con una mezcla de tierra y fibras vegetales. Estas estructuras resultantes, se pueden revestir también con tierra (Fig 35.) u otros materiales, como ocurre con todas las técnicas constructivas aquí mencionadas. Ejemplo actual de esta técnica es la Casa Munita González situada en Chile (Fig 36.).

A través de esta técnica y para comprobar esta deficiencia en el comportamiento de la tierra frente al agua nombrado anteriormente, realizamos en el taller una construcción primitiva: un tipi (Fig 36, 37, 38, 39, 40.). Es decir, "una cubierta" de tierra que nos dotó de un aprendizaje en como mejorar sus propiedades. En cada una de sus superficies añadimos un aditivo natural (Fig 40.) (jabón líquido, cera de abeja diluida, savia de aloe vera y aceite de nuez), dejando una en su estado primigenio para poder testear los resultados. El resultado final fue constatar como todos, en mayor o medida mejoraban su impermeabilidad, siendo la cera de abeja el más efectivo en nuestro caso. Ejemplo de como la adición de aditivos externos puede mejorar las propiedades del material. Estos pueden ser de origen animal, vegetal, mineral o sintético (como sangre⁵, orina de caballo, estiércol, cemento, cal, parafinas...) Son productos que mejoran sus características mecánicas (resistencia a compresión, ante la penetración del agua o a la erosión...) Especial atención cuando el origen de estos no es natural, pues destruyen el principio fundamental de este tipo de construcción comentado anteriormente: su reversibilidad.

Fig 31. Aplicación de una fina capa de tierra en la estructura que sirva de agarre.



Fig 32. Relleno de la estructura con la mezcla de tierra cruda y paja.

Fig 33. Diferentes acabados con o si revestimiento de tierra.

Fig 34. Equipo de trabajo.



Fig 37. Construcción de un tipi a través de la Técnica de Sistemas Mixtos "Torchis".



Fig 38. Estructura en bambú.

Fig 39. Relleno manual y revestimiento en tierra.



Fig 40. Adición de cera como aditivo en una de sus caras.



Una de las técnicas de construcción con tierra más validadas a lo largo de la historia y en la que vamos a incidir en este trabajo es la **Técnica del tapial o tierra compactada** (Fig 41, 42.). Se trata de la construcción de muros monolíticos compactando tierra en tongadas (10-15 cm) dentro de un encofrado (o tapiera) mediante un pisón. Ejemplo actual de ello son la obra de Martin Rauch (Fig 43.) o edificios aislados como el Museo Regional en Narbona (Fig 44.), Francia, de Foster + Partners entre otros.

Es la exploración de las múltiples posibilidades que aporta este sistema constructivo, con todos sus pros y contras, las que suscitan un interés en el sistema para desarrollarlo como tema de investigación. Dota al proyectista de versatilidad en su trabajo, ya sea por los colores (Fig 45.), las múltiples texturas que se pueden conseguir (Fig 46.), su "estética" natural, amable con el ser humano por su estado primigenio de un material sin procesar y posicionado en capas como si de estratos naturales se tratara. Un sistema constructivo que destaca por su sinceridad constructiva, respuesta directa del proceso de construcción (cuestionable más adelante en su prefabricación).

Sus tongadas o capas horizontales de compresión, permiten entender su comportamiento mecánico. La tierra trabaja únicamente a compresión, (con resistencias entre 0,53 y 10,8 N/mm²)¹³ por lo que se podrán realizar con el cúpulas y bóvedas, además de muros autoportantes. Destacar la construcción propia de una bóveda (Fig 47, 48.) realizada en taller para comprobar dichas características y basada en un prototipo (Fig 49) realizado por el propio protagonista del trabajo Martin Rauch, que más tarde detallaremos. Esta serie de técnicas tradicionales han ido evolucionando en mayor o menor medida, derivando en algunas variantes y sistemas de industrialización que más adelante nombraremos.



Fig 43. Capilla de la Reconciliación, Berlín. Martin Rauch, construcción del muro en tapial.



Fig 44. Museo de Narbona. Actualmente en construcción con bloques prefabricados de tapial. Foster + Partners.



Fig 45. Tierras de colores.



Fig 46. Textura de tablillas de madera en tapial.

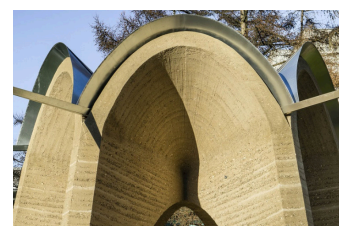
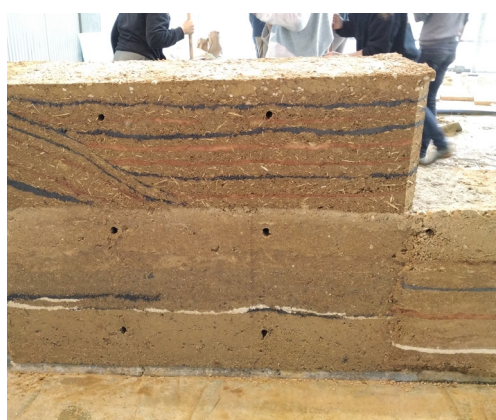


Fig 49. Construcción de bóvedas en el taller LehmTon- Erde de Martin Rauch. Utilizada como referente.



Fig 41. Apisonado dentro del encofrado.



Fig 42. Muro en tapial realizado en tres fases.

Fig 47. Bóveda en tapial.

Fig 48. Resistencia a compresión: 6 bloques de hormigón de alrededor de 25 kg cada uno.



Fig 50. BTC.



Fig 51. Superadobe.



Fig 52. Prefabricación de tapial, Fábrica Rícola.

En la actualidad, se han desarrollado otras técnicas como los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) (Fig 50.), el Superadobe (Fig 51.) y el sistema de paneles prefabricados de tapial (Fig 52.) (desarrollado con diversos nombre y variantes como Sirewall o Tapialblock). Como veremos, Martin Rauch va a ser uno de los pioneros en desarrollar esta última modalidad.

El conocimiento del material permite valorar con mayor intensidad las posibilidades constructivas que este ofrece, como es el caso de su inercia térmica. Aún con una elevada transmitancia, el comportamiento térmico del muro va a mantener temperaturas estables no sólo casi todo el año, sino también durante el día y la noche. Generalmente no se relaciona este tipo de construcción con el uso de aislantes térmicos, que sin embargo, Rauch, entre otros arquitectos va a desarrollar. Asimismo, se dice que la tierra puede llegar a absorber contaminantes, generando climas interiores mucho más saludables y amables con el cuerpo humano.

La existencia de prejuicios en relación con la tierra han llegado a apartar este material de la industria. Sin embargo, gracias a obras de alta calidad que muestran la adaptabilidad de una técnica tradicional al panorama contemporáneo, esta visión está cambiando. Es precisamente la evolución de este tipo de construcción, desde las técnicas más rudimentarias hasta la prefabricación del tapial lo que pone de manifiesto este estudio.

1.2 MARTIN RAUCH

1.2.1 ENTRE LA ARTESANÍA Y LA ARQUITECTURA

Martin Rauch (Fig 53.) nació en 1958 en Schlins, Vorarlberg, Austria. Con una formación en cerámica y escultura, Rauch no estudió arquitectura, sino que fue el mundo de la artesanía el que le llevó a iniciarse en la construcción con tierra ⁵.

Realizó sus estudios en la Academia de Bellas Artes de Viena, donde moldeaba baldosas y hornos. Sin embargo su proyecto de final de carrera tomó un giro de 90°, la primera idea era un conjunto de té dirigido por el arquitecto Matteo Thun, sin embargo decidió desarrollar un estudio de las cualidades de la arcilla como material de construcción, presentado en 1983. El nombre final de este trabajo fue el que adopta su actual taller "Lehm-Ton-Erde" (Loam - Clay - Earth)⁶.

Este cambio no fue repentino, sucedió por varios factores, lo primero su educación, en su región natal, proveniente de una familia de agricultores, la humildad del medio rural le había abierto las puertas a la artesanía. Por otro lado, algo decisivo fue la labor que desarrolló en África como voluntario. Precedido por sus hermanos mayores, fue allí a trabajar durante varios meses en 1980. En el continente africano la sensibilidad artística y el gran interés por la arcilla le llevaron a dar el salto de diseñar arquitectura.

Martin Rauch pudo ver la eficiencia de algunas técnicas tradicionales de construcción, en términos climáticos, ecológicos, de aprovechamiento de recursos y reciclabilidad, en comparación con las tecnologías industrializadas mucho menos respetuosas con el medio ambiente con las que se desarrollaban generalmente los proyectos de arquitectura en Europa. De esta manera descubrió una arquitectura ligada, por su reversibilidad, a un reciclaje cíclico y encontró el contexto propicio para trabajar con la tierra. "El interés artesanal de Rauch en trabajar con arcilla creció en un deseo de diseñar arquitectónicamente con tierra, con todos sus desafíos y requisitos" ⁷. A partir de este momento comenzó a soñar con un amplio abanico de posibilidades que más adelante ha ido desarrollando.

En la década de 1980 la técnica del tapial había quedado relegada al "olvido". Escasa mano de obra cualificada y una técnica de construcción que no figuraba en leyes ni normativa incitan al constructor a un desarrollo tanto por iniciativa propia como mediante el intercambio experiencias con arquitectos reconocidos.



Fig 53. Fotografía de Martin Rauch.

⁵ <http://www.lehmtonerde.at/en/>

⁷ Otto Kapfinger & Marko Sauer, Martin Rauch, *Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth* (2015).

p.6.

" El moldeado de baldosas y hornos se convirtió en un proceso de conformación y construcción a gran escala: transformando la tierra en espacios útiles y habitables".

⁶ Otto Kapfinger & Martin Rauch, *Rammed Earth*. (Birhäuser, Basel, 2001).

p. 10. "Una de las primeras estructuras de tierra de Rauch fue una herramienta así: un horno de dimensiones inusuales para la fabricación de grandes cerámicas con y para Maria Bilger".

p. 150. "Lehm- Ton- Erde" significa en alemán "Tierra cruda- Arcilla - Tierra".

¹⁶ <http://karak.at/en/category/contact/>

¹⁷ <http://www.lehmo.at>

En sus primeros años Martin Rauch estuvo bajo el influjo de maestros como el arquitecto Matteo Thun y la artista especializada en cerámica y textiles Maria Biljan-S Bilder. Investigó acerca la materialidad del elemento tierra, con ensayos y pruebas y desarrolló tanto una técnica personal como las herramientas y útiles necesarios que le permitirían hacer realidad sus propias experimentaciones. En su carrera profesional, no solo se dedica a la construcción arquitectónica, colabora con la empresa KARAK¹⁶, especializada en la elaboración artesanal de azulejos. También coopera en la construcción de tierra compactada de hornos^{6, 17} (la exploración de las posibilidades térmicas del material y el como las incorpora en algunos proyectos es un tema que analizaremos en el transcurso de este trabajo).

La figura de Rauch podría considerarse pionera en la recuperación de la construcción en tierra. Ha llevado a cabo múltiples investigaciones y escrito acerca de la antigua técnica del tapial, haciendo aportaciones para poder incorporarla con la tecnología actual en cualquier parte del mundo. Primero con logros en su región, ahora su arquitectura ha trascendido internacionalmente.

Como artesano/constructor, en todos sus proyectos se asocia con arquitectos. Es un trabajo simbiótico, los conocimientos de Rauch, esencialmente técnicas basadas en la experiencia personal, están muy demandados. Él, por su parte, aprende de los arquitectos con los que comparte este proceso de creación. Entre ellos están Roger Boltshauser, Olafur Eliasson, Herzog & de Meuron, Miller y Maranta, Hermann Kaufmann, Marte Marte, Snochetta. Matteo Thun y Günther Vogt⁷.

Rauch compagina la investigación y actividad profesional con la docencia. Ha dado clases en la universidad de Linz y desde 2014 en el ETH de Zúrich. Junto con Anna Heringer, ha realizado talleres internacionales de voluntariado en Europa, Asia y Sudáfrica y además, ambos imparten como profesores en la Cátedra de la UNESCO de Construcción en Tierra. Recibieron el premio Aga Khan en 2007 y el de la Comunidad Mundial de arquitectura un año después.

SEGUNDA PARTE

EVOLUCIÓN DE UNA TÉCNICA: EL TAPIAL

⁷ Otto Kapfinger & Marko Sauer, Martin Rauch, *Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth* (2015).

p.7 "Rauch se dedicó a rearticular el lenguaje del pisé, adaptándolo para cumplir con los estándares contemporáneos y una vez más exponiendo todo el potencial sensorial del material de construcción, con avances técnicos y mejoras que van de la mano con la complejidad formal"

p.9

¹⁸ Martin Rauch & Anna Heringer, Conferencia "MudWorks: A Different Shade of Green". Harvard, 2012.

Martin Rauch es uno de los máximos exponentes actuales en la evolución de la técnica del tapial. Adopta una visión de importancia universal cuyos principios se pueden resumir de la siguiente manera: construye siempre en armonía con los ciclos de la naturaleza, intentando generar la menor contaminación posible, haciendo que la arquitectura pueda volver a la tierra una vez ha cumplido con su vida útil. Desarrolla sus obras con materiales locales, usando la tierra del lugar inmediato y está comprometido tanto en la recuperación como en la evolución de la técnica del tapial⁷.

Asume la técnica del tapial por la capacidad que tiene esta de mostrar el material en estado puro, es decir, sin revestimiento alguno, dotando a sus obras de sinceridad constructiva y de un fuerte carácter. "La apariencia del producto final es resultado directo del proceso de ejecución" ⁷. Asume la técnica sin alterar donde se muestran las líneas horizontales del proceso de compactación como apariencia final.

Al realizar importantes avances técnicos, más adelante analizados, Rauch evita el uso de cemento como aditivo en la tierra. Así consigue uno de sus principios básicos: la reciclabilidad (uno de los factores por el cual su figura me parece tan interesante de estudiar).

Desarrolla herramientas, tipos de encofrado, mezclas de materiales naturales, métodos más eficientes para la compactación de la tierra, nuevas técnicas de trabajo, muros de prueba, así como la manera de "controlar" la erosión en estos muros de tierra expuestos a las inclemencias; nutriéndose de cada avance en sus obras consecutivas.

Su experiencia y sensibilidad como ceramista evidencian un carácter propio que ha ido desarrollando a lo largo de su trayectoria. En comparación con otros arquitectos que han desarrollado una o dos obras en tierra cruda, su trayectoria, dilatada en el tiempo, avala un conocimiento exhaustivo del material. A lo largo de tres décadas de estudios y experimentaciones, con avances técnicos y mejoras que van de la mano con la complejidad formal, rearticula un lenguaje artesanal del tapial, adaptándolo a los estándares de arquitectura contemporánea y exponiendo todo el potencial sensorial de este material de construcción. "Este trabajo creativo "práctico" con la tierra y la arcilla está en el centro de su desarrollo: es a la vez profundamente emocional y profundamente técnico" ⁷.

En esta investigación se evidencia una progresión técnica plasmada en diferentes obras que abarca unos inicios más rudimentarios hasta la industrialización de una técnica.

Para poder analizar dicha evolución se han seleccionado obras ejecutadas, puesto que las propiedades y comportamientos de la tierra son necesarios de comprobar empíricamente. No consiste en ir analizando las obras individualmente, sino de identificarlas dentro de un discurso más amplio que manifiesta este proceso técnico evolutivo.

Divido esta trayectoria entre una arquitectura realizada *in situ* y aquella producto de un proceso industrializado prefabricado. En ambas se desarrolla el papel estructural de los muros de tierra en el edificio y la implicación de estos como técnicas de acondicionamiento, entre otras cosas. En estas dos trayectorias, que muchas veces confluyen temporalmente, hay una diferenciación muy clara de objetivos en sus inicios: a través del tapial *in situ* investiga el comportamiento estructural de los muros de tierra, con otras muchas implicaciones que ello conlleva. Sin embargo con los bloques prefabricados, además de todo lo necesario para llevar a cabo un nuevo método industrializado, desarrolla aspectos relacionados con el acondicionamiento climático del edificio.

A medida que avanza entre unas obras y otras, va creando un "bagage" de conocimientos e investigaciones que va aplicando en proyectos sucesivos. Ya no hay una escisión tan clara de objetivos entre estas dos trayectorias. Se nutre de su propia experiencia para lograr una síntesis de conocimientos que le van a permitir desarrollar algo inicialmente inconcebible: dotar a los bloques prefabricados de un papel estructural.

2.1. TAPIAL REALIZADO *IN SITU*

Las primeras obras que realiza Martin Rauch incorporan la técnica tradicional del tapial *in situ*, lo que le permite comprender y testear las cualidades desarrolladas en la primera parte del trabajo. Es un proceso que requiere una cuantitativa y cualitativa mano de obra para el proceso de compactación y que está reñido con los sistemas de industrialización actuales.

Antes de la inmersión en una experiencia práctica de arquitectura, realiza investigaciones y proyectos teóricos (Fig 52.) que no se llegan a construir ⁵. Sin embargo, la tierra es un material cuya construcción requiere de un importante papel sensorial, por lo que enseguida decide experimentar con ella físicamente en su región natal.

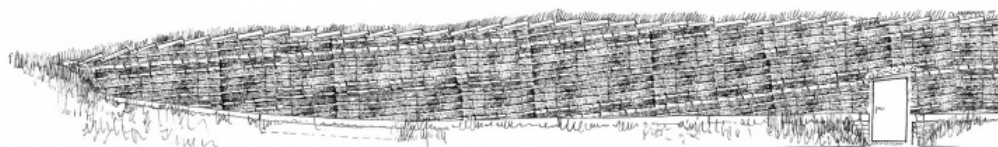
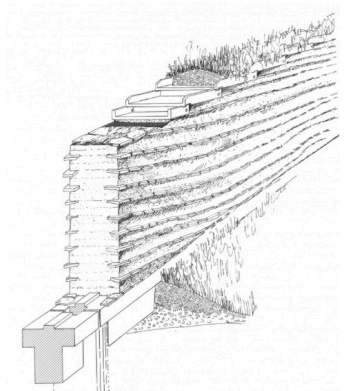
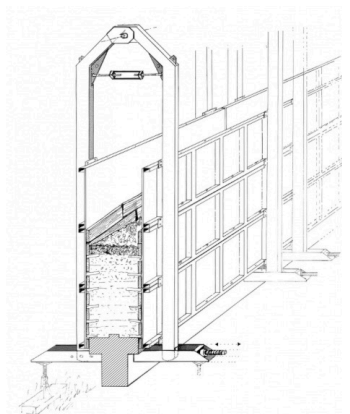


Fig 54, 55, 56. Primer premio de un concurso planteado por el departamento austriaco de construcción para la realización de unos muros acústicos para carreteras. No se lleva a cabo.

Martin Rauch evidencia las capacidades acústicas de este material poroso y de gran masa. Plantea una cubierta superior y la inclusión de bandas cerámicas que reduzcan la abrasión de un muro a la intemperie. Plantea una cimentación en otro material y la tapiera para llevarlo a cabo.

2.1.1. SIN FUNCIÓN ESTRUCTURAL: Cualificación del espacio y enfatización de las propiedades térmicas del tapial.

El tapial tiene la capacidad de resistir estructuralmente las cargas verticales de compresión. Sin embargo, no trabaja bien a flexión, torsión ni esfuerzos mixtos. A principios de la década de 1990, Martin Rauch comienza a poner en práctica la técnica del tapial sin asumir la función estructural del mismo. En una primera etapa, va a realizar muros en tapial como simple paramento autoportante. Este es el caso de su propio taller, denominado **Estudio Rauch** (Fig 58.) situado en Schlins, Austria. Construido entre 1990 y 1994, con el arquitecto Robert Felber. Se trata de un proyecto cuya vía principal es la experimentación.

Fig 57. Croquis del proyecto realizado por Robert Felber. Sistema estructural independiente del paramento exterior de tapial.

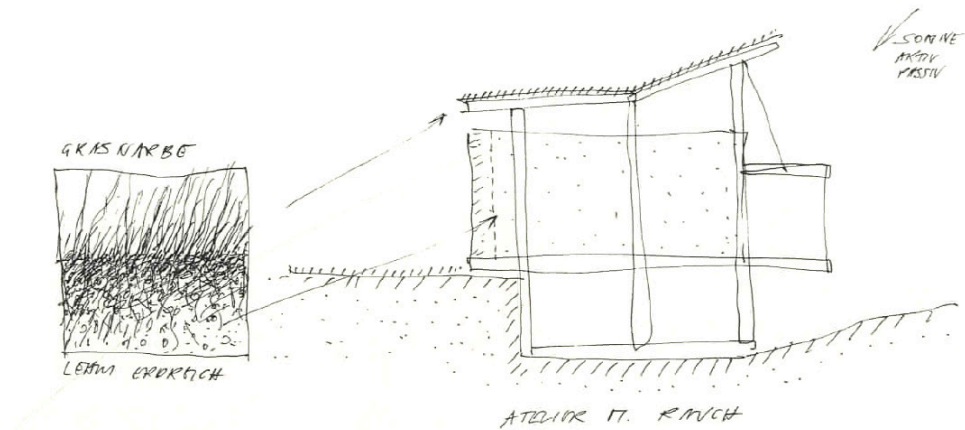


Fig 58. Estudio Rauch. Materialización de la fachada: muro en tapial, franja de adobes recubierto con esteras de caña como aislante y cubierta vegetal.



Se trata de un proyecto donde la técnica del tapial es utilizada para la ejecución de la envolvente del edificio sin asumir su condición portante (Fig 57, 59, 60, 61.), lo que conlleva la realización de una estructura independiente ligera de pilares metálicos que sustentan una cubierta de madera coronada con hierba a modo de cubierta vegetal.

Los muros autoportantes aparecen vistos en sus dos caras, fachada e interior. Sus dimensiones son de 4 m altura x 55 cm de espesor en tres de las cuatro fachadas del edificio, fabricados con el material proveniente de la propia excavación del terreno.

Con estos muros de tapial, parece ser que Martin Rauch todavía no se enfrenta a explorar el encuentro entre muro y cubierta, por lo que la solución adoptada es hacer que no lleguen a tocar la cubierta, generando una franja intermedia resuelta con ladrillos de adobe en la cara interna y esteras de madera, a modo de aislante, en el exterior.

En la sociedad actual, la erosión (Fig 62.) está considerada como un factor negativo contra el cual hay que luchar. Rauch, sin embargo, acepta este proceso natural y proyecta a partir de él, convirtiéndolo de "un negativo comunmente aceptado a un positivo enfático" ⁷. Habla de una erosión controlada mediante la elaboración del detalle constructivo. Una de las soluciones que desarrolla y que vemos en el Estudio Rauch, es la introducción de franjas cerámicas horizontales en la fachada del muro en tapial (Fig 63, 64.). Esta técnica evoca los estratos de la tierra y da lugar a un aparente juego de luces y sombras así como la ocasión del crecimiento de plantas trepadoras³. Otra técnica que explicaremos más adelante es la introducción de franjas horizontales de mortero de toba volcánica y cal (*).

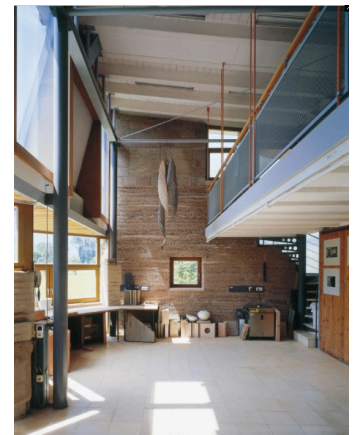


Fig 59. Interior del Estudio. Estructura de pilares metálicos. Tapial como paramento exterior.

(*) Cuando se producen fuertes lluvias, estas soluciones frenan la velocidad de abrasión y de este modo la erosión. La superficie externa del muro consta de grano fino que se va a eliminar al principio de manera más rápida, sin embargo luego la erosión va a ser más lenta al ser una superficie más áspera en la que la roca queda expuesta. "La grava descubierta estabiliza la pared" ⁷. La tierra entre las rocas está hundida y cuando se moja se expande de tal modo que no deja ser penetrada por el agua. (Fig 62, 63).

Fig 63. Izquierda. Franjas cerámicas para el control de la erosión. Dispuestas aproximadamente entre 40 y 60cm de separación.

Fig 64. Derecha. Control de la erosión en el Estudio Rauch.

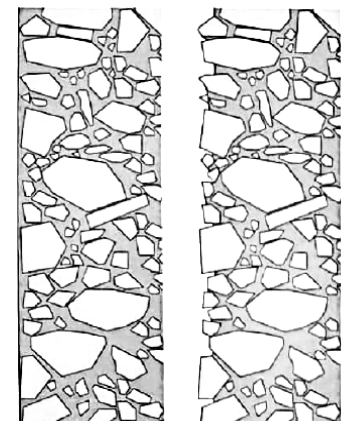
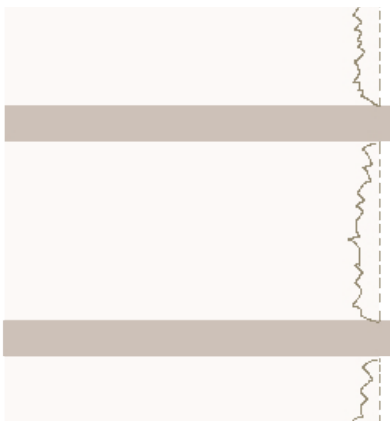


Fig 62. Erosión en el muro por abrasión. La superficie externa se elimina dando lugar a una superficie áspera de más difícil erosión.

⁶ Otto Kapfinger & Martin Rauch, *Rammed Earth*. (Birhäuser, Basel, 2001). p. 83

Fig 65. Ventana del Estudio Rauch. Dintel apisonado con piezas de madera. La capa de tierra bajo el dintel esta sujeta mediante una cinta atada con cuerdas a la madera.

1. Placa cerámica.
2. Mortero de arcilla.
3. Refuerzo mortero de toba y cal.
4. Dintel con piezas de madera.

Fig 60, 61. Planta y sección. Estudio Rauch.

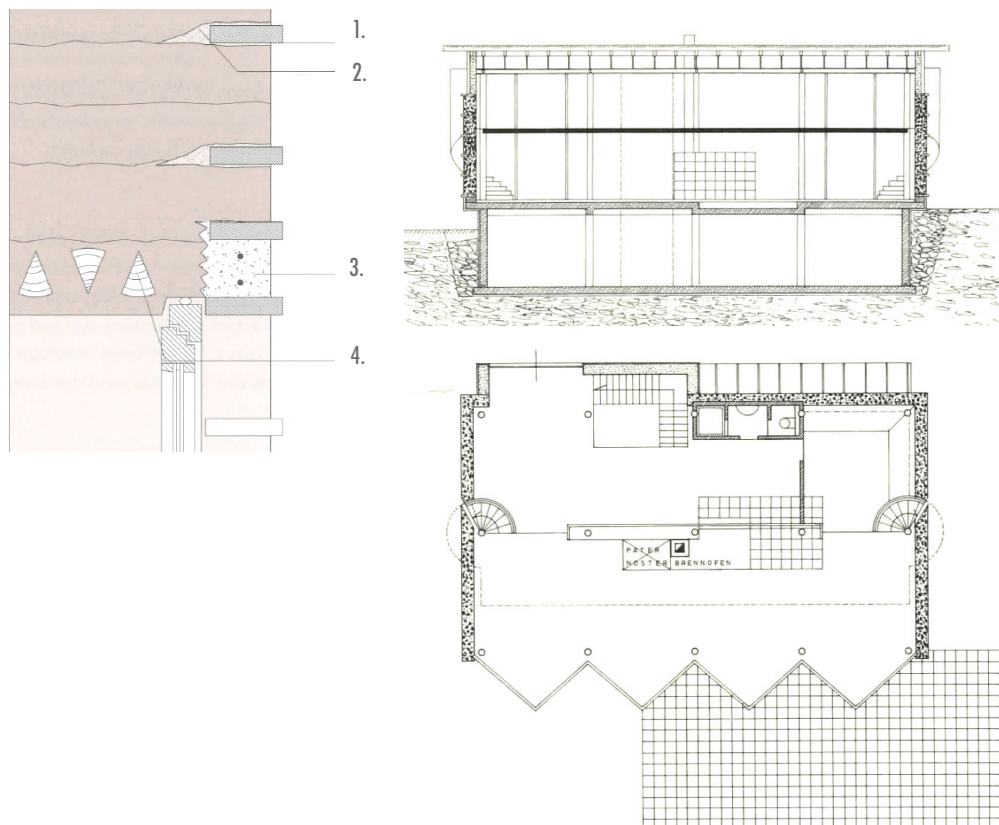


Fig 66. Estructura de vidrio y madera, Estudio Rauch.

⁷ Otto Kapfinger & Marko Sauer, Martin Rauch, *Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth* (2015). p. 70

La ejecución de los primeros muros conlleva la resolución de puntos singulares como la abertura de huecos, que suponen un alto grado de planificación. "Diseñar con tierra apisonada implica posicionar las aberturas de manera inteligente y asociarse con el material en el proceso de construcción"⁷. Aquí resuelve el dintel mediante elementos de madera embebidos en la tierra (Fig 65.).

En la fachada norte, una parte del tapial se reviste con piezas cerámicas cocidas realizadas en taller. Se utilizan las mismas para cubrir el solado y algunas paredes interiores. Se muestra, de esta manera, el potencial tanto de la tierra cruda como del material cocido, en combinación con otros materiales.

Este primer proyecto permite a Martin Rauch explorar acerca de la inercia térmica de la tierra. Una estructura de vidrio y madera (Fig 66.) orientada a sur abre el edificio al sol para que el interior se caliente. Esto genera por un lado la abertura de un edificio de muros monolíticos, pero por otro lado, el mantenimiento de esta energía sen el interior gracias a la masa térmica del material.

Martin Rauch extrae de esto último diversos conocimientos que aplica coetáneamente al proyecto de un muro para el edificio del **Hospital Feldkirch** (Fig 67, 72, 73.). Se trata de un gran muro en tapial construido entre 1992 y 1993 por el equipo de Rauch.

En este proyecto la tierra cruda aparece en forma de un muro interior de 6m de altura y 35cm de espesor que recorre un vestíbulo de 180 m de longitud, construido con el material de la propia de la excavación. Realizado en tongadas, compactadas neumáticamente, de entre 8 y 12cm. Como en el proyecto nombrado anteriormente, el tapial no realiza ningún esfuerzo estructural, es un muro adosado a otro de hormigón armado y que no llega a tocar con la cubierta, como pasaba también en el ejemplo anterior (Fig 68, 69, 70, 71.).

Martin Rauch tiene la oportunidad de trabajar la expresividad del muro a través de texturas y colores (Fig 72.), ahora en un muro interior, por lo que estas no son resultado directo de un proceso para frenar la erosión como lo eran anteriormente. Aquí desarrolla la materialidad de la tierra para dotar de carácter e identidad al espacio.

La función principal de esta construcción en tierra, además de la cualificación de un espacio, es la de actuar como regulador térmico en el vestíbulo del hospital. Este proyecto será la oportunidad para dar continuidad a las exploraciones del muro como regulador térmico gracias a su inercia térmica ya indicadas en su propio estudio.



Fig 72. Exploración en la textura del tapial. Contraste con el muro de hormigón en segundo plano.



Fig 67. Hospital LFH Feldkirch. Rendijas de ventilación en su parte inferior.

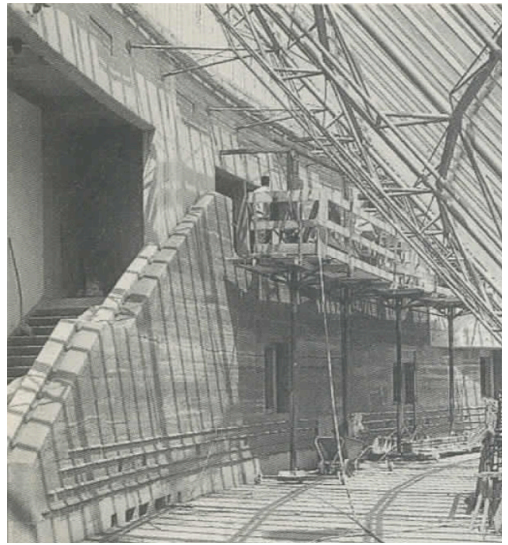
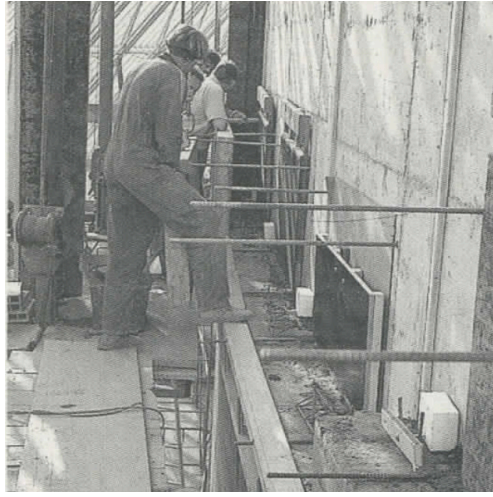
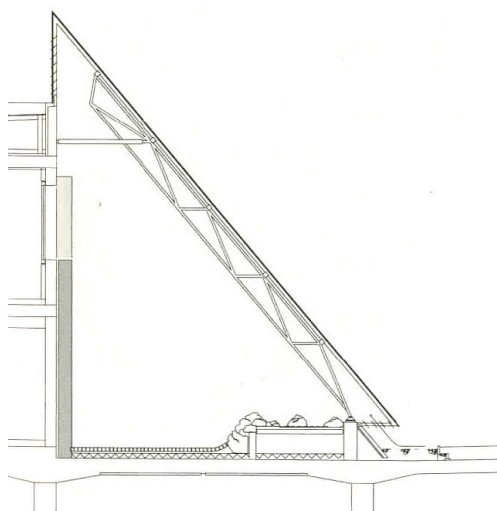


Fig 68, 69, 70, 71. Proceso de construcción del tapial adosado a un muro de hormigón. Es necesario que pueda estar dentro de la tapiera una persona con un apisonador neumático, por lo que el encofrado se realiza por fases en altura dependiendo de esto.

Este sistema de acondicionamiento funciona en combinación con una gran cristalera a modo de invernadero en invierno, aprovechando la inercia térmica del muro como acumulador de calor. En verano, el calor excesivo se mitiga con sistemas de ventilación y persianas, además el aire caliente de la parte superior del vestíbulo se cuela por las aperturas entre el muro de tierra y el de hormigón e inmediatamente, por contacto con el segundo, la temperatura del aire baja, descendiendo casi hasta el solado donde se sitúan unas rejillas de ventilación que permiten la salida de aire más frío⁶. Se percibe un progreso en cuanto a las técnicas de acondicionamiento ligado a la propia materialidad del muro.

⁶ Otto Kapfinger & Martin Rauch, *Rammed Earth*. (Birkhäuser, Basel, 2001).

Fig 73. Sección explicativa de la situación del muro en tapial como acondicionador térmico en el Hospital LKH.



La utilización de esta estrategia será llevada a cabo cinco años más tarde (1998) en la construcción de otro otro gran muro en tapial en el **Centro de Conferencias Alpbach** (Fig 74.). En él, un muro interior adosado a una estructura de hormigón hace a la vez de regulador térmico y acústico gracia a la porosidad del material ⁶.

⁶ Otto Kapfinger & Martin Rauch, Rammed Earth. (Birhäuser, Basel, 2001).



Fig 74. Centro de Conferencias Alpbach. Austria.

2.1.2. TAPIAL CON FUNCIÓN ESTRUCTURAL: Construcción y expresividad material.

Martin Rauch comienza a explorar la capacidad portante del sistema de tapial *in situ* desarrollando proyectos en paralelo a los explicados anteriormente.

El primer proyecto de esta investigación es una capilla conmemorativa del décimo aniversario de la caída del muro de Berlín, **la Capilla de la Reconciliación**, (Fig 76, 96.) construida en Berlín entre los años 1990 y 2000, con los arquitectos Rudolf Reitermann y Peter Sassenroth. Es el primer proyecto realizado en la técnica del tapial desde hacía unos cien años en Alemania y la primera estructura de este tipo para el uso de una iglesia en la ciudad berlinesa. Con una estrategia de construir sobre lo construido, genera una plaza pública sobre el trazado de la antigua iglesia, donde se sitúa la capilla. En el interior de esta se pueden ver los cimientos de la antigua construcción (Fig 75.) que fue demolida en 1985.

Dos anillos de diferente materialidad con sus ejes orientados en distintas direcciones configuran la planta de la capilla (Fig 78, 79.). El interior esta construido con la técnica del tapial, un muro de 7m de altura, 60cm de espesor y franjas horizontales de compactación cada 8cm. La tierra empleada se adquiere de las inmediaciones de la ciudad y se mezcla con pequeñas piezas de los escombros de la antigua edificación (Fig 77.), a modo de conmemorativo⁶.



Fig 75. La antigua iglesia había sido inaccesible desde 1961 cuando la ciudad se dividió, hasta 1985 que fue derrumbada.

⁶ Otto Kapfinger & Martin Rauch, *Rammed Earth*. (Birkhäuser, Basel, 2001).

Fig 76. Imagen exterior. Iluminación del muro de tapial filtrada entre la estructura de madera.



Fig 77. Muro en tapial: reminiscencias de la antigua iglesia.



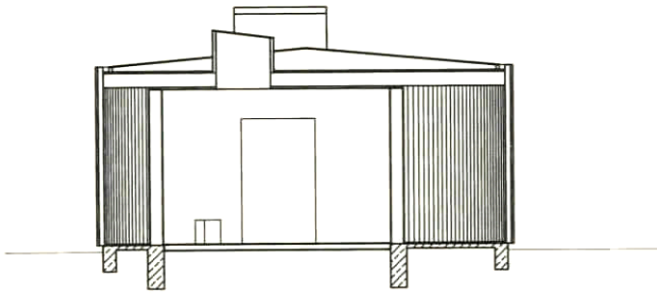


Fig 78. Sección Capilla de la Reconciliación. Estructura de muros en tapial y pilares de madera recibiendo una cubierta ligera de madera con dos lucernarios.

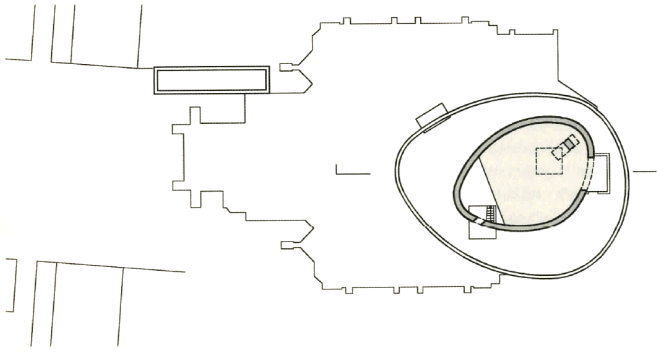


Fig 79. Planta Capilla de la Reconciliación. La planta de la antigua iglesia ahora es una plaza, en la zona del coro es donde se construye yergue la construcción actual.



Fig 96. Deambulatorio preambulo del espacio sacro. Contraste entre la ligereza de las lamas de madera en el corredor y el muro masivo sin aberturas de tapial del espacio de culto.

Al construir la capilla sobre unos antiguos cimientos no fue necesario más que la construcción de una viga de amarre de hormigón armado ovalada que protege al muro de tierra compactada de humedades en su huella. El muro en tapial se construye *in situ* (Fig 80- 88.) mediante compactación mecánica y en él se introducen varillas de acero corrugado a modo de refuerzo "para contrarrestar los esfuerzos a tracción del muro" ¹⁹ (Fig 90.), de este modo, se consigue levantar el muro sin que se produzca fisura alguna.



Fig 90. Refuerzos en el interior del muro.



Fig 91. Estructura de pilares de madera.



Fig 92. Imágen interior. Muro en tapial y solado de tierra compactada.



Fig 93. Estructura de vigas de madera en cubierta.

En la parte superior del muro y como solución para el dintel de la puerta (Fig 94, 95.), se introduce una viga de coronación de H.A embebida en el muro, lo que a su vez facilita la unión con el sistema de vigas de madera de la cubierta (Fig 91, 93.). El muro en tapial, aún a la intemperie, está protegido por esta gran cubierta de madera, por lo que no sufre el impacto directo de la lluvia, por eso no aparecen piezas cerámicas horizontales ni otras soluciones como en anteriores proyectos. Sin embargo si que va a estar expuesto al impacto del viento. La forma ovalada, al no tener esquinas, le va a ayudar a sufrir menos erosión.

El interés por extender la misma materialidad al interior de la capilla lleva a Martin Rauch a ejecutar el solado en tierra cruda compactada con un tratamiento de cera natural (Fig 92.). Las figuras prismáticas adosadas al ábside, así como las puertas de madera de roble, se revisten también con arcilla y se pulen con cera y caseína, dotando al conjunto de una homogeneidad.

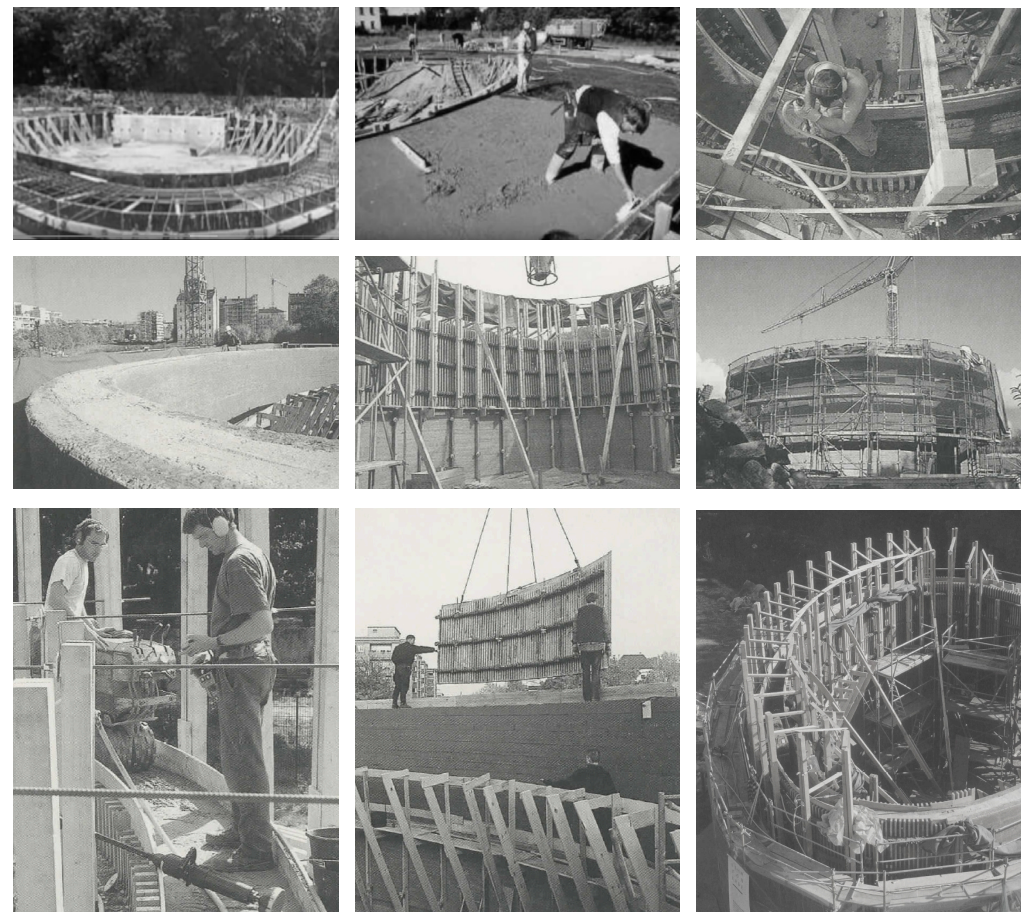


Fig 80- 88. Imágenes de obra de la Capilla de la Reconciliación.

Fig 80- 81. Construcción viga de amarre ovalada sobre antiguos cimientos. Protege al muro de humedades.

Fig 82- 88. Encofrado con forma ovalada y construcción de fases en altura mediante compactador mecánico.

El anillo exterior a esta estructura central se construye con una piel de lamas y pilares de madera que funciona de forma mixta en el sistema estructural del conjunto. En adición a la capacidad portante del muro de tierra, ambas estructuras sustentan la cubierta de madera. Vemos un gran avance técnico, Martin Rauch decide usar la tierra como elemento estructural, aunque todavía en combinación con una estructura de otro material y sustentando un elemento ligero, una cubierta de madera. Estamos ante un punto de inflexión en la carrera del constructor, además de comenzar a explorar la potencialidad estructural del material, lo hace en una obra de gran embergadura.

Cabe destacar que en este proyecto de capilla que "los estándares de seguridad estructural en la construcción, fueron siete veces mayores que para los edificios convencionales de la época" ⁶ debido a la desconfianza y la escasa experiencia en el uso del tapial como elemento estructural.

⁶ Otto Kapfinger & Martin Rauch, Rammed Earth. (Birhäuser, Basel, 2001). p.83

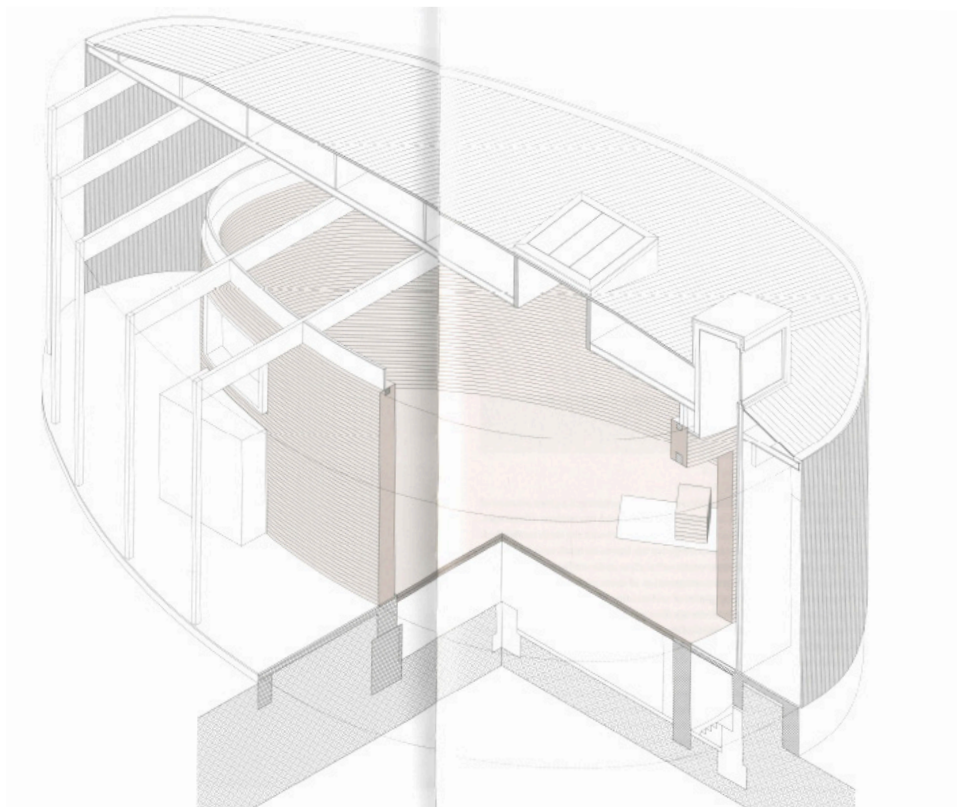


Fig 89. Axonometría constructiva, Capilla de la Reconciliación.

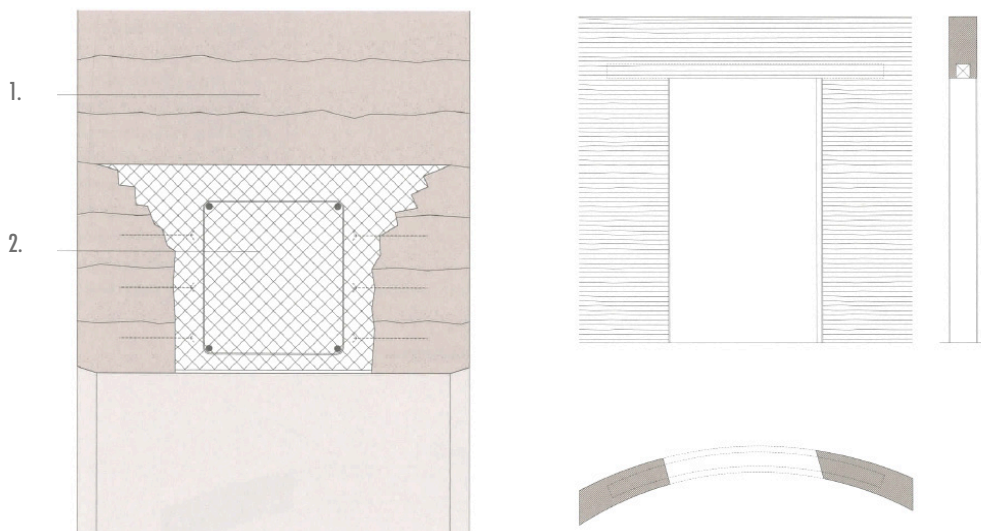


Fig 94, 95. Dintel embebido con forma de arco realizado en H.A. Permanece oculto en ambas caras del muro. En su parte inferior la viga está cubierta por una capa de tierra.

1. Muro en tapial de espesor 60cm.
2. Viga de refuerzo de mortero de toba volcánica y cal. 30 x 32 cm

Gracias a la configuración de los dos anillos de diferente materialidad, el proyecto responde satisfactoriamente a las necesidades térmicas por lo que no es necesario ningún sistema de acondicionamiento térmico.

Martin Rauch se centra con la Capilla de la Reconciliación en el papel estructural de la tierra y los aspectos que esto engloba (Fig 89.), mientras tanto las investigaciones de aunar instalaciones y tapial se desarrollan en paralelo con otros proyectos.

La experiencia constructiva de esta capilla sirve para llevar a cabo proyectos donde la capacidad portante del tapial empieza a tener mayor protagonismo. Este es el caso de la **Casa Mathies** (Fig 98, 99.). Construida en Rankwell, Austria entre 1993 y 1996 con el arquitecto Robert Felber, con el que ya había compartido otro proyecto de tierra cruda: el Estudio Rauch anteriormente comentado. Esta casa es fruto de años de investigación e innovaciones *in situ*.

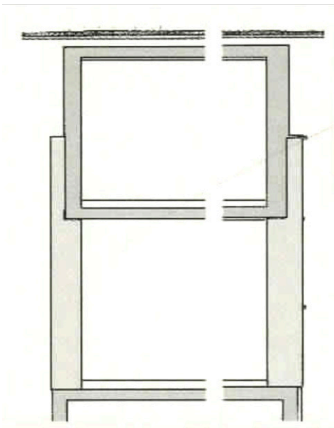


Fig 97. Esquema estructural Casa M.



Fig 98. Casa M en muros de tapial. Carpinterías de madera en consonancia con el graje y el almacén. Constraste de la casa realizada en estratos horizontales con la fachada de madera vertical del garaje.



Fig 99. Imagen exterior, terraza Casa Mathies. Bandas alternas de mortero y arcilla para el control de la erosión.

Se trata de la ampliación de una construcción existente de garaje y almacén realizada en madera (Fig 100.). La estructura está constituida por unos muros en tapial de 63cm de espesor realizados con el propio material de la excavación y la adhesión de virutas de ladrillo en la mezcla ⁷. Estos muros de carga, apoyados sobre unos muros de contención del sótano de hormigón armado, asumen la función estructural de la casa en planta baja, sostienen el peso del forjado y la escalera y sobre ellos se eleva una subestructura de madera cubierta de arcilla a modo de relleno que resuelve el encuentro de la segunda planta con la cubierta (Fig 97.). De nuevo tenemos una estructura mixta, pero esta vez se eleva desde el propio tapial, no desde el suelo como pasa en el Estudio Rauch o en la Capilla de la Reconciliación, lo que supone un paso más como avance del papel estructural del muro de tierra compactada (Fig 101- 105.).

⁷ Otto Kapfinger & Marko Sauer, Martin Rauch, *Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth* (2015).

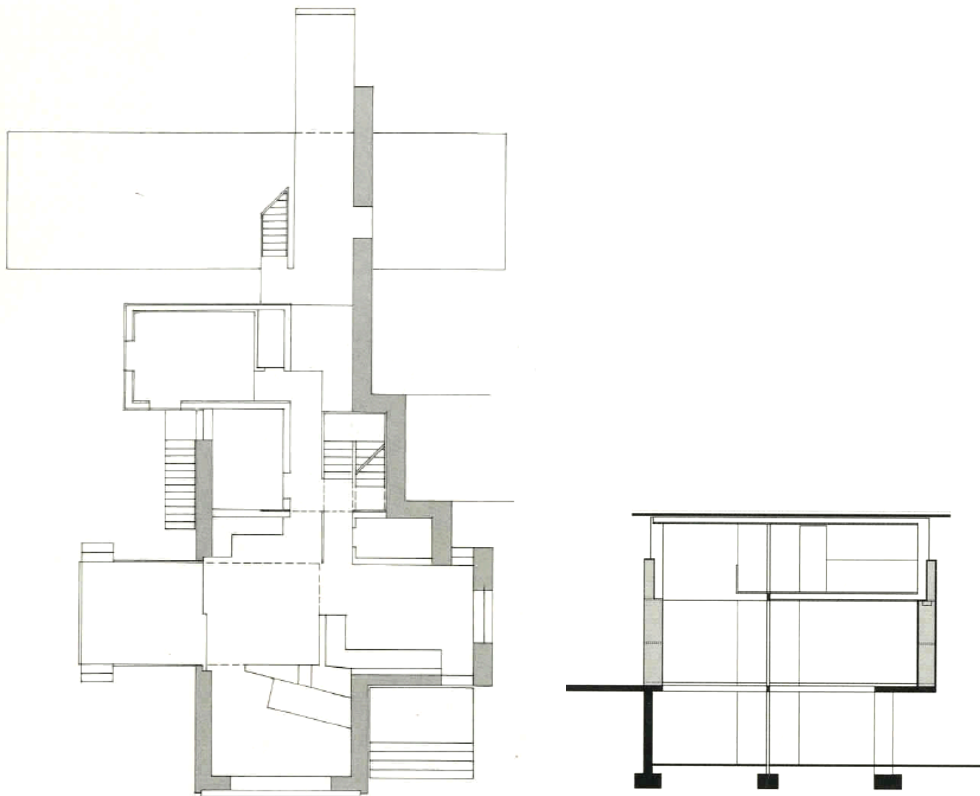


Figura 100. Planos de planta y sección Casa M.

Fig 101. Excavación.

Fig 102. Construcción muro en tapial con encofrado de tabillas de madera,

Fig 103. Colocación de esteras de paja como aislante en subestructura de madera.

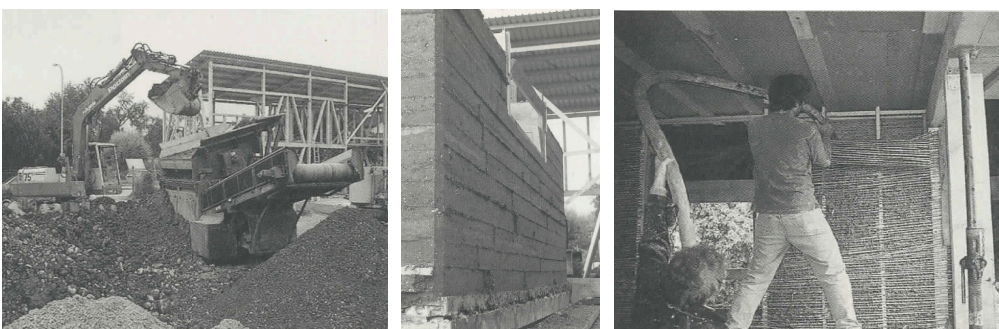


Fig 104. Tapial visto en el interior.

(*) Una segunda modalidad en este proyecto explorada para controlar la erosión es la introducción de bandas de mortero de toba y cal. Se sitúan a ras de muro en u superficie exterior. De manera similar a las bandas cerámicas, se colocan normalmente cada tres o cuatro tongadas, unos 25-30 cm, con la función de disminuir la velocidad del agua cuando llueve. Con el paso del tiempo la capa superficial de tierra se eliminará y estas franjas de mortero cobrarán más importancia plástica, como si emergiera la ornamentación del propio muro con el envejecimiento del mismo ⁷.

⁷ Otto Kapfinger & Marko Sauer, Martin Rauch, *Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth* (2015).

Figura 105. Erosión controlada mediante bandas de mortero de toba volcánica y cal. Muestra del paso del tiempo.

Otra vía de investigación aquí desarrollada es el control de la erosión del propio tapial. Además de la existencia de bandas cerámicas horizontales sobresalientes del muro para frenar la velocidad de la lluvia explicado anteriormente (Fig 61-64.), se alternan, en el muro, bandas horizontales de mortero de toba volcánica y cal(*) con el mismo proposito pero que dotan al muro de otra expresividad (Fig 105.).

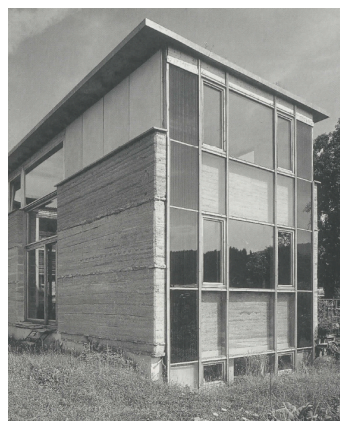
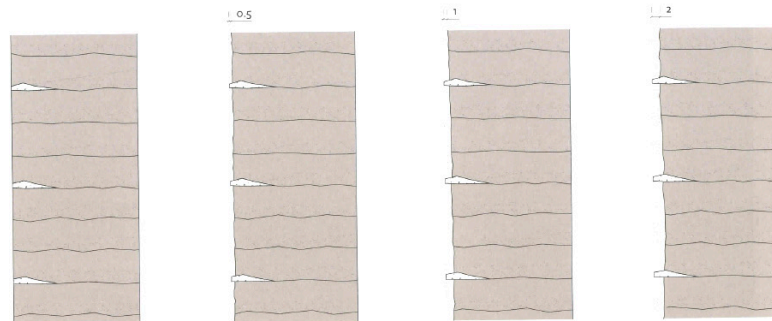
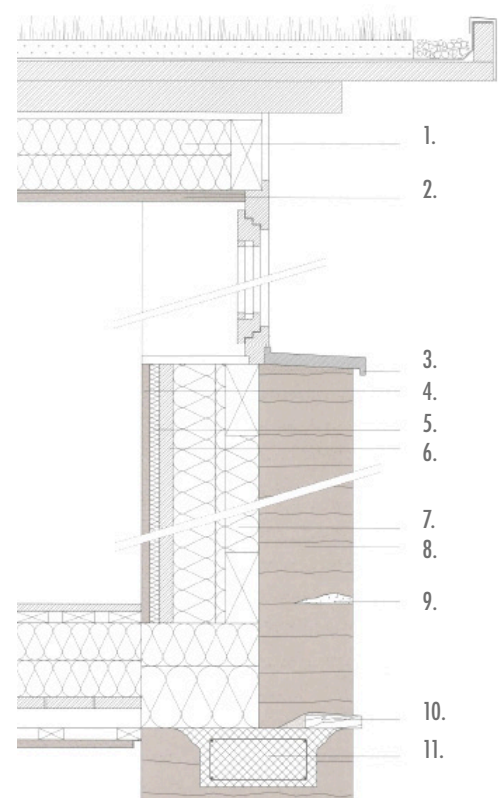
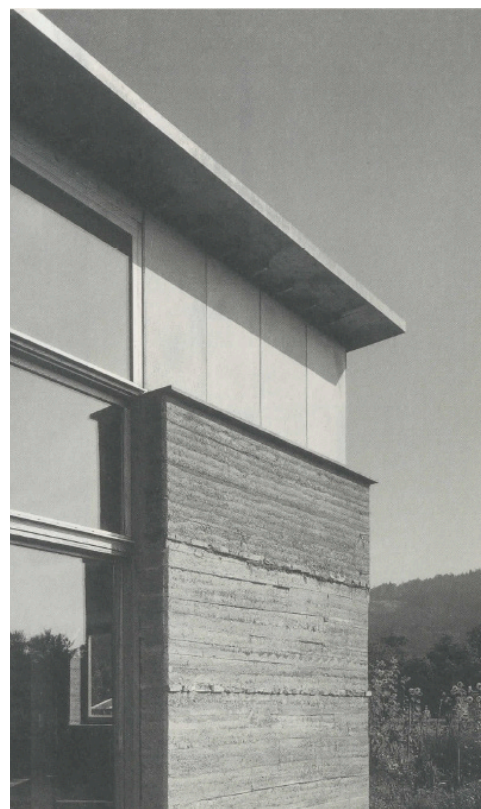


Fig 107. Muro Trombé en fachada sur.

Figura 106. Fachada este. Bandas de erosión combinadas: cerámicas y de mortero de toba y cal.

Fig 108. Detalle constructivo, unión muro en tapial con forjado y subestructura de madera.

1. Aislamiento de corcho triturado 18cm.
2. Placa de tierra con enlucido de arcilla.
3. Baldosa cerámica.
4. Enlucido de arcilla 2cm.
5. Aislamiento de caña 3cm..
6. Subestructura de madera 4cm
7. Aislamiento de virutas de madera y tierra 22cm.
8. Banda de mortero de toba volcánica y cal para control de erosión.
9. Banda de piedra para control de erosión.
10. Viga de atado 30 x 15cm.



La fachada norte el muro en tapial se extiende más allá de la casa para marcar el acceso. En cambio, la fachada sur se utiliza a modo de muro Trombé para acondicionar climáticamente la vivienda. Una amplia cristalera cubre esta fachada conformada por colectores solares, muros en tapial y entradas de luz (Fig 107.). Martin Rauch está relacionando los conocimientos aprehendidos en el proyecto del hospital Feldkirch de como potenciar en tu favor la inercia térmica del muro de tierra.

Esta exploración de la función estructural adherente al paramento vertical exterior, junto con los conocimientos aprendidos en la Capilla de la Reconciliación de una estructura mixta de tapial y madera se plasman en proyectos de vivienda como el el caso de la **Casa R.**, del año 1997, situada en Hard, Austria.

Martin Rauch colabora con el arquitecto Hermann Kaufmann en la construcción de esta vivienda. Diseña y construye un muro en tapial interior que funciona de elemento central de la vivienda (Fig 111.). Este muro está asociado al núcleo de comunicaciones y posee la función de rigidizar la estructura ligera prefabricada de madera del resto de la construcción.

Consecuente con la buena práctica de la construcción, en dicho proyecto se ejecuta primero la construcción húmeda (Fig 110.) (el tapial) y posteriormente la construcción seca, una estructura livinana de componentes prefabricados de madera alrededor. Los elementos van apoyando sobre el primero, el elemento masivo y central.

La realización de muros en tapial en el interior de viviendas va a ser un denominador común en la obra de Martin Rauch, sin embargo, como veremos más adelante, estos van a estar destinados más a la integración de instalaciones, como veíamos en el Hospital LKH que a una explotación de su condición de muro de carga, además de un papel estético-sensorial (Fig 112.).

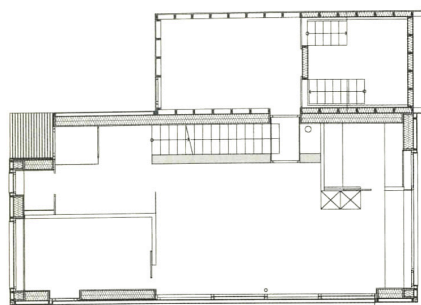


Fig 111. Planta de la Casa R.
Tapial como elemento único central.

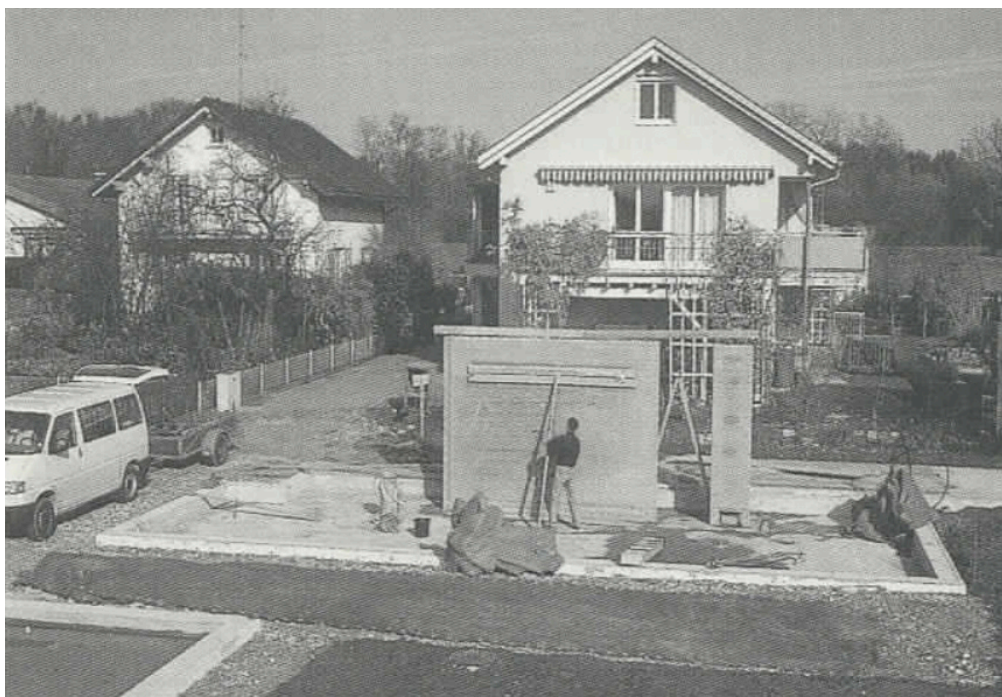


Fig 110. Construcción "in situ" del muro en tapial sobre la losa de H.A.



Fig 112. Vista desde el porche exterior.
Espacio interior agradable.

Las experiencias llevadas a cabo en os proyectos anteriores le permiten a Martin Rauch llevar a cabo un proyecto de cierta embergadura, un **Jardín Zoológico** (Fig 114, 115.) situado en Basilea, Suiza, obra del arquitecto Peter Stiener, construido entre 1998 y 1999.

Es un edificio que consta de una serie de muros que se distribuyen alrededor de un espacio central con una disposición en planta de gran expresividad (Fig 116.). Se trata de una estructura mixta de muros de carga en tapial y una estructura vigas y pilares de hormigón armado. Los muros de tierra compactada poseen un espesor de 70cm y se sitúan sobre un zócalo de hormigón que se elevan por encima del terreno para proteger de la lluvia al tapial.



Fig 113. Confort de los animales, muro como elemento ratural.

Tal y como en la Casa M. los muros de tapial son exteriores, expuestos a las inclemencias y dotados de un papel estructural fundamental. Sin embargo difieren en varios aspectos: el primero es la materialidad de esta cubierta. En este proyecto los muros ya no sujetan una cubierta ligera como podían hacerlo en el caso de la Capilla de la Reconciliación o las Casas M. y R. Aquí sustentan una cubierta cuya estructura de hormigón armado (Fig 115, 117.) dista mucho de las cargas gravitacionales con las que había trabajado anteriormente.

Fig 114. Imágen exterior zoológico de Basilea.



Los muros de tapial se situúan en una disposición de piezas autónomas separadas por grandes vidrios que cubren toda la altura (3,5m) (Fig 119, 120, 121.). Se construyen refuerzos auxiliares de mortero de toba volcánica y cal con la misión de soportar estas grandes ventanas, reforzar los muros y sustentar el elemento masivo de cubrimiento (Fig 117, 118.).

Por encima de estos muros y con el apoyo de pilares de hormigón visto, se eleva la cubierta de hormigón armado, solo visible desde el interior. En el exterior, en cambio, solo percibimos una chapa metálica que sobresale del canto del muro para disminuir la erosión(*) así como también aparecen bandas horizontales de mortero de toba y cal con este fin⁷.

(*) El elemento que desde las construcciones más antiguas ha conseguido frenar la erosión y proteger los muros de tierra es una buena cubierta, además de un buen zócalo. Como hemos comentado anteriormente, Martin Rauch consigue realizar cubiertas planas y sin voladizo mediante la adición de bandas horizontales en el muro, ya sean cerámicas o de mortero de toba y cal.

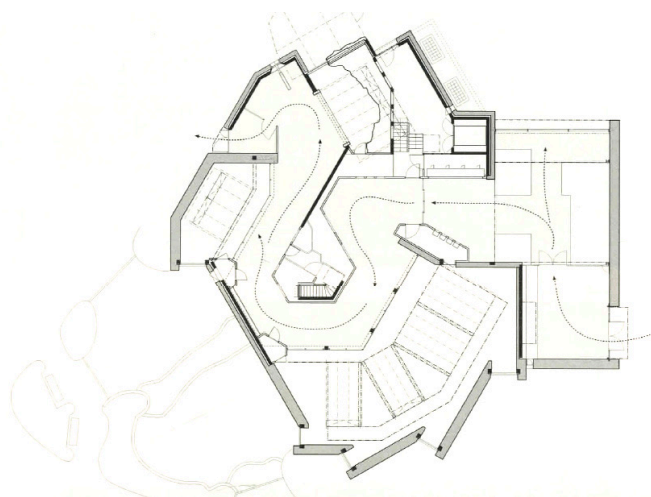


Fig 116. Planta zoológico.

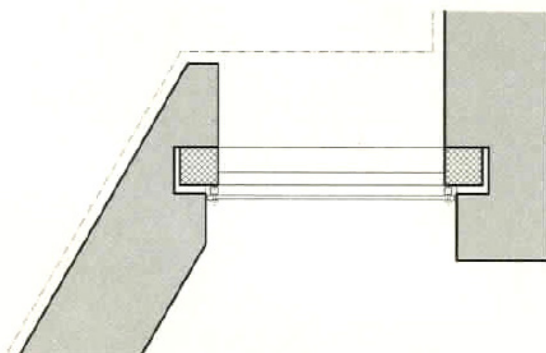


Fig 118. Carpinterías metálicas embebidas en el muro. Refuerzo de toba y cal actuando como premarco.

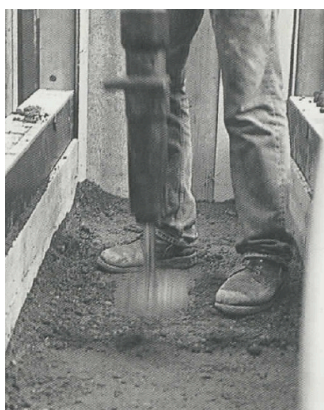


Fig 119, 120, 121. Construcción de los muros en tapial. Vertido de la tierra. Compactación mecánica. Encofrado en fases por alturas.



Fig 115. Interior Zoológico de Basilea. Tapial como un elemento natural más del zoo. Cubierta masiva de hormigón.

A diferencia de otros proyectos, no existen requerimientos específicos de las instalaciones de acondicionamiento interior, debido a que el proyecto se sitúa en el exterior. Sin embargo la materialidad de los muros de tierra y la aportación de luz dispuesta entre estos genera una atmósfera acorde con el fin último al que se destina, el material no es ajeno al mundo natural/animal (Fig 113.).

El encuentro entre el cerramiento exterior de tapial y la cubierta ha sido objeto de estudio y evolución en la trayectoria de Martin Rauch. En anteriores proyectos como la Casa M, este se evitaba desarrollando una subestructura intermedia. Aquí, sin embargo, se propone una respuesta en la que el muro de tapia forma una continuidad. Llega hasta la altura del forjado de la cubierta, donde está se apoya sobre la cara interna del muro, quedando libre parte del tapial que sube haciendo de parapeto (Fig 122.). Como resultado se obtiene una solución muy limpia donde desde el exterior se ve exclusivamente la colmatación del muro en una fina chapa. Este detalle podremos apreciarlo después en diversos proyectos como la Capilla de Rest, en Batschuns, Austria (Fig 123, 124.).



Fig 122. Vista de entrada al zoo. Chapa metálica en voladizo sobre cubierta de hormigón para frenar la erosión.

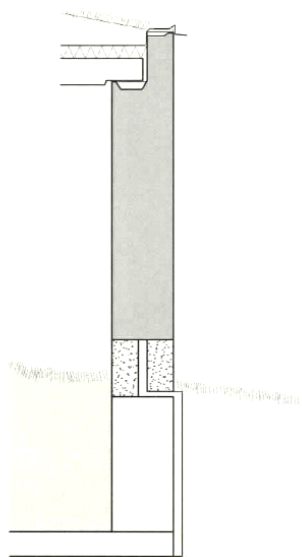
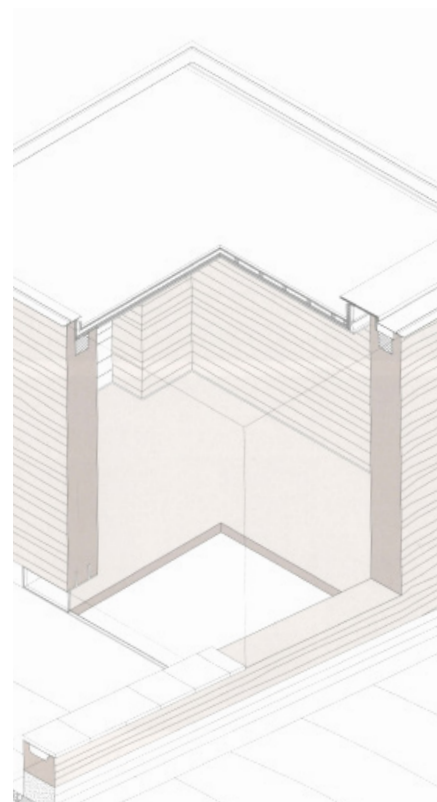


Fig 117. Encuentro entre muro y cubierta Zoológico en Basilea.



Fig 123. Izquierda. Capilla de Rest en Batschuns. Imágen exterior.

Fig 124. Derecha. Axonometría constructiva. Encuentro muro de carga y cubierta. Capilla de Rest.



Tras una década experimentando con la tierra como material de construcción, Martin Rauch realiza un proyecto donde los muros asumen la totalidad de su condición estructural prescindiendo de elementos estructurales complementarios. Este es el caso de los **Edificios Auxiliares para Instalaciones Deportivas en Sihlhölzli**, situado en Zúrich, Suiza y construido en 2001-2002 con el arquitecto Roger Boltshauser.

Consta de tres edificios de instalaciones deportivas, un mirador (Fig 125, 129.) y dos almacenes (Fig 126, 127, 128.). Los tres están contruidos bajo el mismo principio estructural y desarrollan las mismas soluciones constructivas.



Fig 126. Exterior almacén norte.



Fig 127. Interior almacén norte.



Fig 128. Exterior almacén sur.

Fig 125. Imágen exterior. Mirador para jueces en Sihlhölzli.

Los muros de tapial, de 40 cm de espesor, actúan como muros de carga y sustentan el peso de cubierta y forjado intermedio. La losa de hormigón armado apoya directamente sobre estos quedando su canto visto en la fachada (Fig 130.). El peso de cubierta y forjado está únicamente sustentado por los muros de tapial, es decir, no usa una estructura mixta en el sentido vertical de las fuerzas. Esto es algo que ya había comenzado a explorar en el proyecto de la Casa Mathies, asumiendo el peso del forjado de la planta primera, sin embargo para la resolución del encuentro entre el tapial y la cubierta se situadaba una estructura auxiliar de madera.

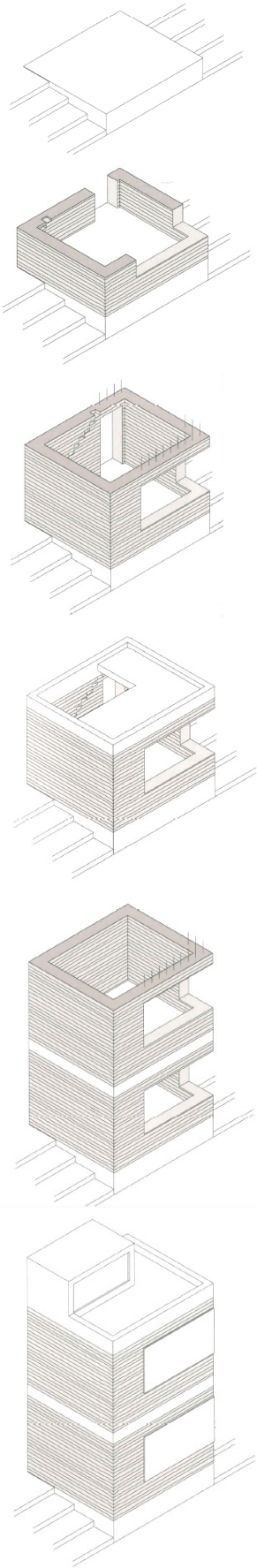
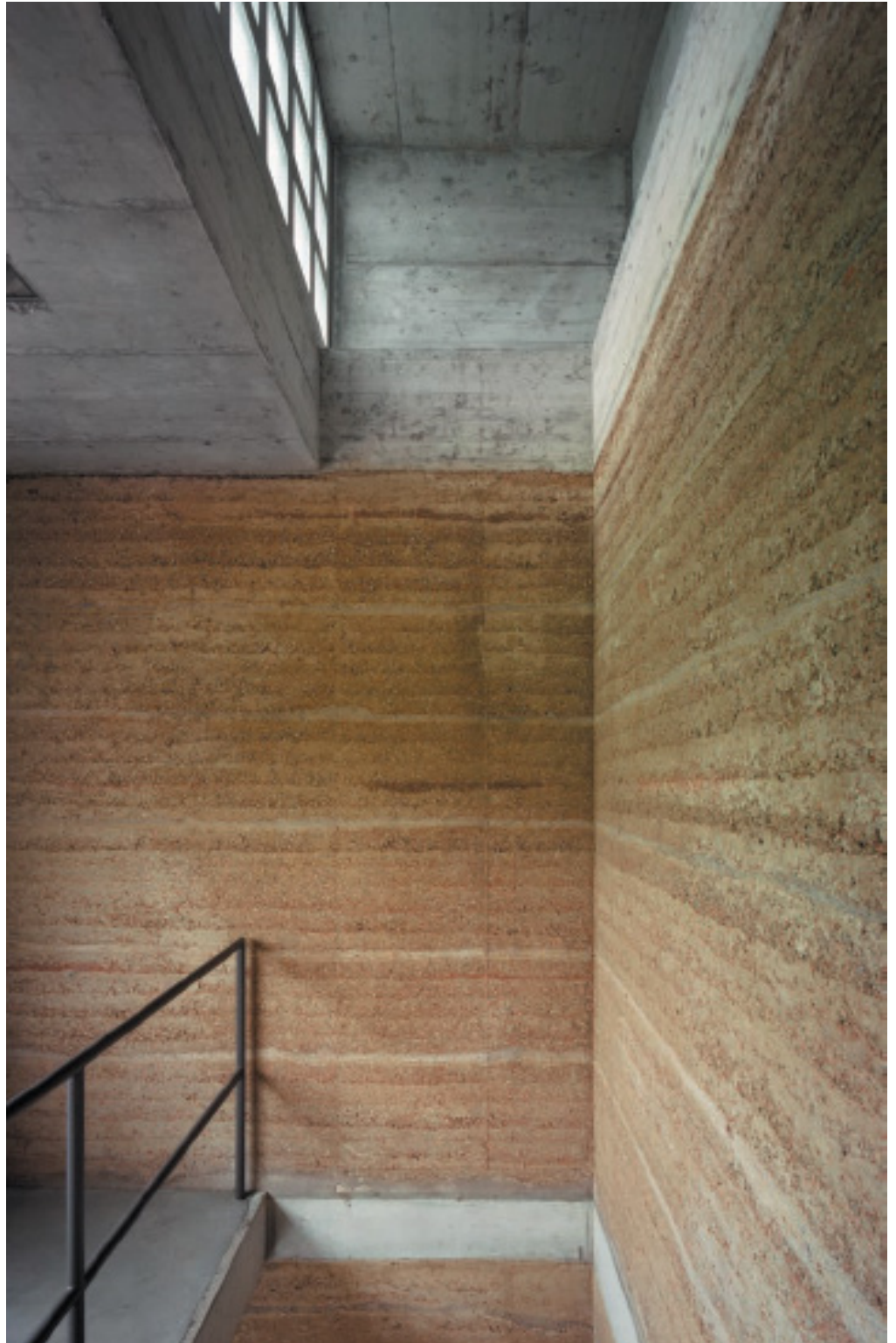


Fig 130. Axonómico constructivo.

Fig 129. Imágen interior. Mirador para jueces en el complejo deportivo de Sihlhölzli, Zúrich.



En el proyecto se asume la junta horizontal de las tongadas de compactación de tapial como huella del proceso constructivo. De la misma manera se debe resolver la junta entre los paramentos verticales de tapial y los elementos horizontales de hormigón (Fig 131.). Este punto crítico, de discontinuidad material, se resuelve mediante una junta de mortero de toba volcánica y cal a modo de transición rugosa entre los elementos de muro y cubierta. La experiencia temporal ha demostrado no ser demasiado eficaz, en lugar de ello tendrían que haber realizado un voladizo que permitiera el goteo ⁷. Aparecen bandas horizontales del mismo material como control de erosión a lo largo de toda la fachada.

⁷ Otto Kapfinger & Marko Sauer, Martin Rauch, *Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth* (2015).

Al tratarse de un programa con un uso puntual, edificios de instalaciones deportivas sin climatización ni aislamiento térmico (Fig 132.), las exigencias térmicas son mínimas. Los elementos estructurales horizontales se muestran con sinceridad en el exterior y el puente térmico está permitido. Aún así gracias a las bondades térmicas de la tierra, no hace demasiado frío en invierno ni calor ne verano. Este puente térmico se resuelve en el siguiente edificio a analizar, la propia casa del constructor.

Otro punto crítico que Martin Rauch investiga es la resolución del dintel en los muros de tapial (Fig 133.). En este proyecto se resuelve de manera sencilla y eficaz. En los huecos de ventana se resuelve mediante un refuerzo de armado de acero que cuelga de la losa y que permite distribuir el peso de la tierra que contiene el dintel al elemento estructural horizontal de hormigón.

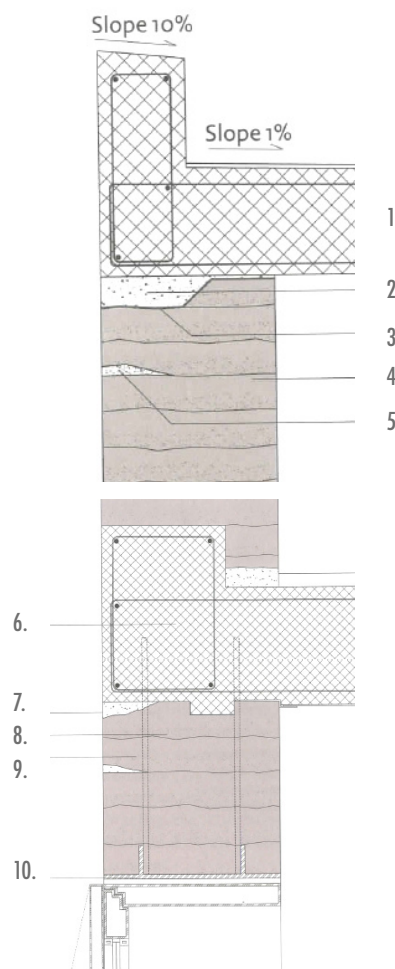
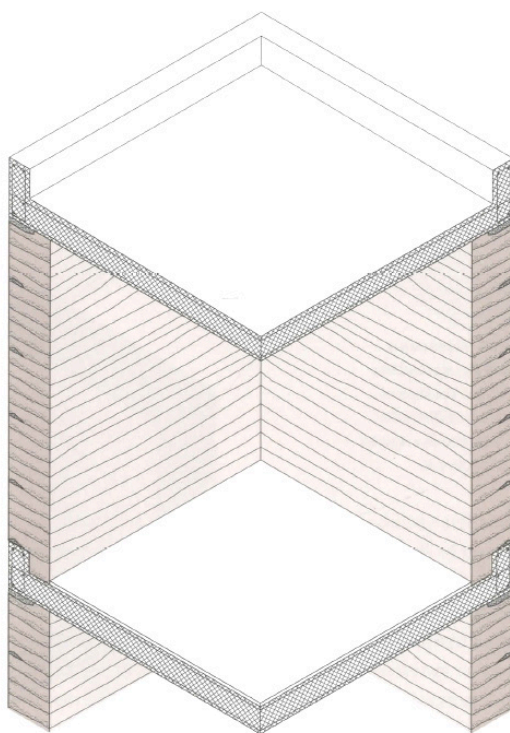


Fig 132. Sección axonométrica. Apoyo directo de la losa sobre el muro de tapial.

Fig 131. Detalle constructivo. Encuentro tapial con losa de hormigón armado de cubierta. Refuerzo de mortero de toba y cal como elemento de transición.

1. Losa de hormigón armado 25cm.
2. Junta rugosa, mortero de toba volcánica y cal.
3. Impermeabilización bituminosa 0,5cm.
- 4, 8. Muro en tapial espesor 40cm.
- 5, 7. Banda de mortero de toba y cal, control de erosión.
6. Losa de hormigón armado con viga vertical de coronación 27/40cm.
9. Dintel suspendido.
10. Placa metálica.

Fig 133. Solución constructiva del dintel de la ventana. El peso de los dinteles está soportado por la losa de hormigón gracias a unos refuerzos metálicos soldados a una chapa metálica que queda vista en su parte inferior. Carpintería metálica.

⁷ Otto Kapfinger & Marko Sauer, Martin Rauch, *Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth* (2015). p. 9

⁸ Roger Boltshauser & Martin Rauch, *THE RAUCH HOUSE | A Model of Advanced Clay Architecture* (Basel, 2010). p. 112-113

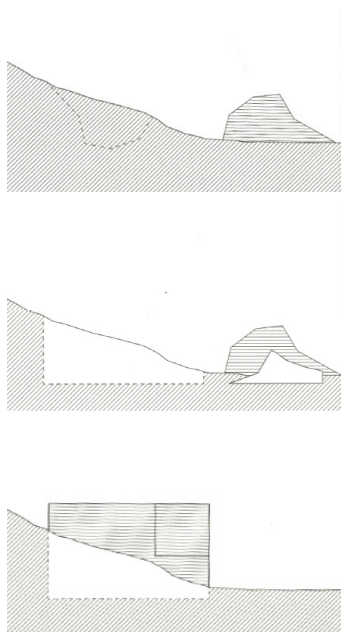


Fig 136. Esquema concepción de la casa.



Fig 135. La Casa Rauch surge del terreno para orientar sus miradas al paisaje.

La máxima expresión de las bondades y posibilidades constructivas, ecológicas y formales del tapial *in situ* quedan de manifiesto en la propia casa del constructor, la **Casa Rauch** (Fig 134, 135.) en Schlins, Austria, construida entre 2005 y 2008 con el arquitecto Roger Boltshauser, con el que ya había compartido proyectos anteriores. La vivienda se utiliza como un campo de experimentación total.

Este proyecto se define formalmente como una pieza que surge de la excavación del terreno (Fig 136.). "La mano de obra arcaica, directa y el lenguaje arquitectónico claro resultaron en una casa que se combina extremadamente bien con el paisaje"⁷. Es la obra de arte total, una síntesis de los conocimientos y experiencias aprendidos hasta entonces y materializados en una obra arquitectónica, que además de cumplir la función de casa y estudio, es una investigación en sí misma que se lleva a cabo con una madurez técnica y una calidad formal indiscutibles.

Martin Rauch define este proyecto de la siguiente manera: "Este proyecto es una expresión concreta de una posibilidad casi inconcebible: la posibilidad no solo de compensar la división del trabajo, el conocimiento y la fortuna material en la arquitectura, una compartimentación que domina nuestro mundo especializado de alta tecnología, sino también hacer, por lo tanto, utilizando el nivel más bajo de entropía imaginable para satisfacer nuestros requisitos para construir, vivir y vivir adecuadamente, proporcionando un paradigma globalmente relevante en el proceso"⁸.



Fig 134. Fachada sur Casa Rauch.

Rauch tiene el control sobre cada elemento que proyecta y enfatiza con ello las múltiples propiedades físicas y sensibles del material. La vivienda se distribuye en altura en tres plantas (Fig 137, 138, 139.). En ellas se puede ir apreciando una progresión en el refinamiento de la técnica, ligado a la privacidad del espacio que acoge.

En la planta baja (Fig 140.) (que acoge la entrada, el garaje, una habitación con baño y zonas de almacenamiento) los muros de tapial quedan vistos tanto en el interior como en el exterior. Mestran la estratificación horizontal de las capas de tierra compactada. En esta planta baja los suelos aparecen enlucidos en cal, los techos realizados con piezas cerámicas cocidas dispuestas en zig-zag y se muestra la roca natural del terreno a modo de cueva excavada.

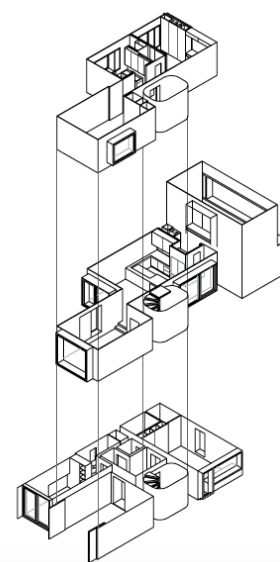
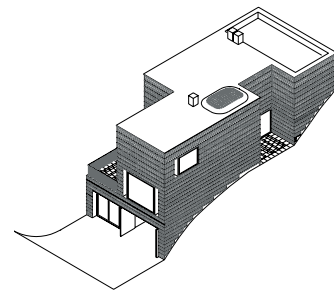


Fig 139. Axonometría volumétrica Casa Rauch.

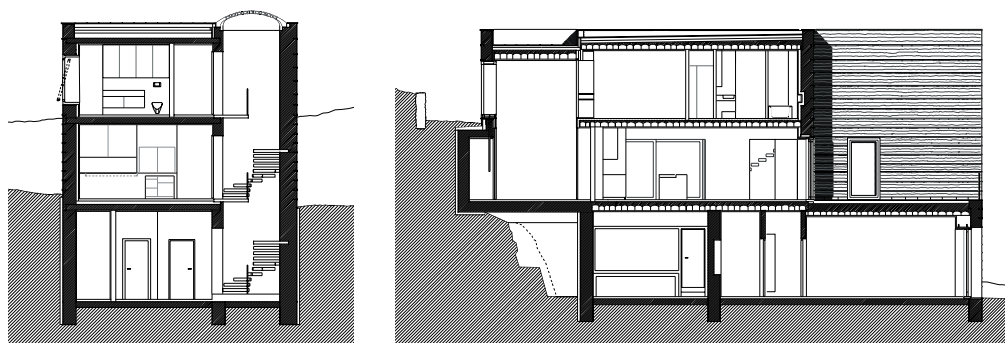
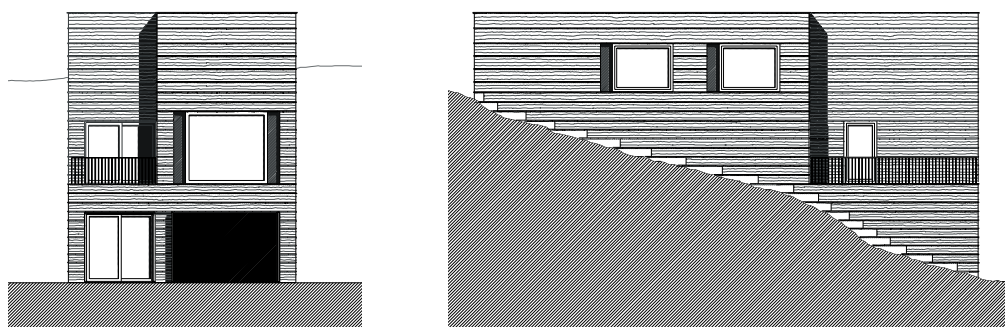


Fig 138. Alzados y secciones Casa Rauch.



Fig 137. Planta baja, primera y segunda Casa Rauch.

En las plantas primera (Fig 141, 142.) (con las zonas de estar, cocina, terraza y estudio) y segunda (los dormitorios y baño) se puede apreciar un progresivo refinamiento de la técnica. Los muros en tapial, que acogen un sistema de pared radiante, se enlucen finamente con estuco de acrillas blancas. Los suelos están encerados, los elementos de madera como las puertas se cubren con una mezcla de arcilla y caseína, se crean superficies de arcilla negra cocida para lavabos y mobiliario junto con la elaboración de azulejos esmaltados mediante la técnica Raku (*) que aportan luz y contrastes con la masividad de la tierra. Los únicos elementos en madera vista son las carpinterías de las ventanas ⁸.



Fig 140. Planta baja, Carpinterías con vidrio fijo y puerta de madera vista, tapial sin revestir como de muro de contención, techo con piezas cerámicas cocidas en forma de zig-zag, solado enlucido en cal.



Fig 141. Planta primera. Zona de estar. Alféizar de la ventana como asiento para observar el paisaje y situado a la altura de la cocina, siendo el salón más grande en altura, Carpinterías en madera con una imprimación de caseína, aceite de linaza y cera de carnauba, como otras superficies de puertas y mobiliario. Superficie resultante dura y fácil de limpiar.



Fig 142. Planta primera. Terraza- mirador. Piezas cerámicas cocidas como solución del solado. Muro en tapial exterior con bandas cerámicas para el control de la erosión.

La estructura consta de unos muros de tapial de 45 cm de espesor⁸ como elemento estructural principal, realizados con un 85% del material obtenido de la propia excavación. Estos muros de tapial funcionan a la vez como paramento exterior y estructura de una construcción de tres plantas (Fig 143, 144, 145.). Como protección contra el agua en su parte inferior, los cimientos se realizan con un hormigón C 15 bajo en cemento.

⁸ Roger Boltshauser & Martin Rauch, THE RAUCH HOUSE | A Model of Advanced Clay Architecture (Basel, 2010).

Forjados y cubierta, con diferentes soluciones constructivas(*) (Fig 146, 147, 148.), apoyan directamente sobre estos muros, con la ayuda de un zúncho de coronación, el puente térmico se soluciona con la continuidad en fachada del tapial (en cotraposición con lo proyectado en las instalaciones deportivas de Zúrich) (Fig 149- 156,). La experiencia de años de práctica se implementa poniendo de manifiesto la seguridad estructural en construcciones de tierra como un material puro sin necesidad de aditivos artificiales.

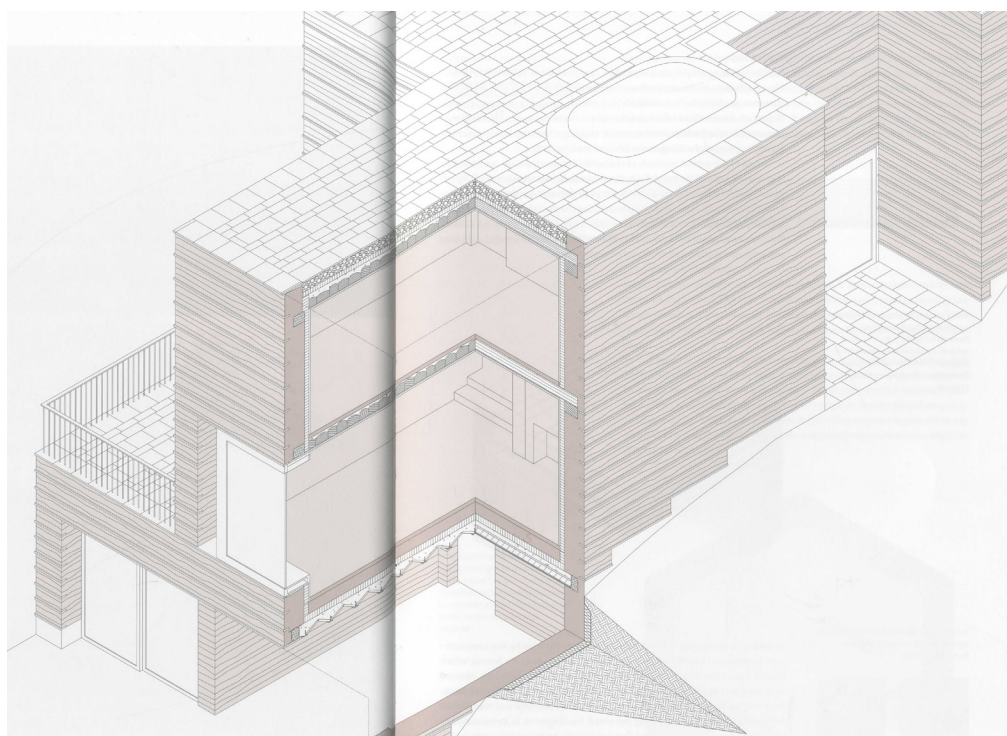


Fig 143. Axonometría seccionada Casa Rauch. El tapial en contacto con el terreno posee un aislamiento exterior de espuma de vidrio y una lámina bituminosa y el tapial queda visto en su parte interior. En plantas superiores las paredes se aíslan en el interior con dos capas de esteras de caña, excepto el hueco de la escalera sin aislar que posee un espesor continuo de 65cm.



Fig 146. Sistema tradicional Doppelbaumbalken.

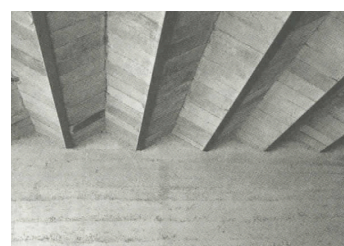


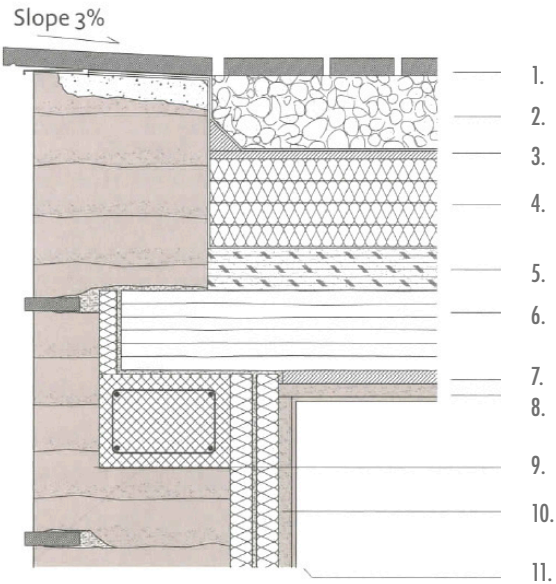
Fig 147, 148. Construcción techo planta baja con piezas cerámicas.

(*) Martin Rauch emplea en los forjados de planta segunda y de cubierta el sistema tradicional de vigas de madera Doppelbaumbalken. Consiste en la colocación paralela sobre las viga de coronación, de troncos de madera secados al aire y cortados en tres de sus lados mecánicamente. Gracias a la buena combinación higrométrica de la tierra y la madera vamos a evitar deformaciones en esta última (la tierra va a absorber la humedad de la madera), haciendo de este sistema masivo una buena solución de forjado. En su parte inferior, la madera no va a quedar vista, va a estar cubierta por placas de arcilla y yeso; en su parte superior, una mezcla de corcho, serrín, tierra y cal van a hacer de base para un suelo proyectado en tierra compactada (Fig 146.).

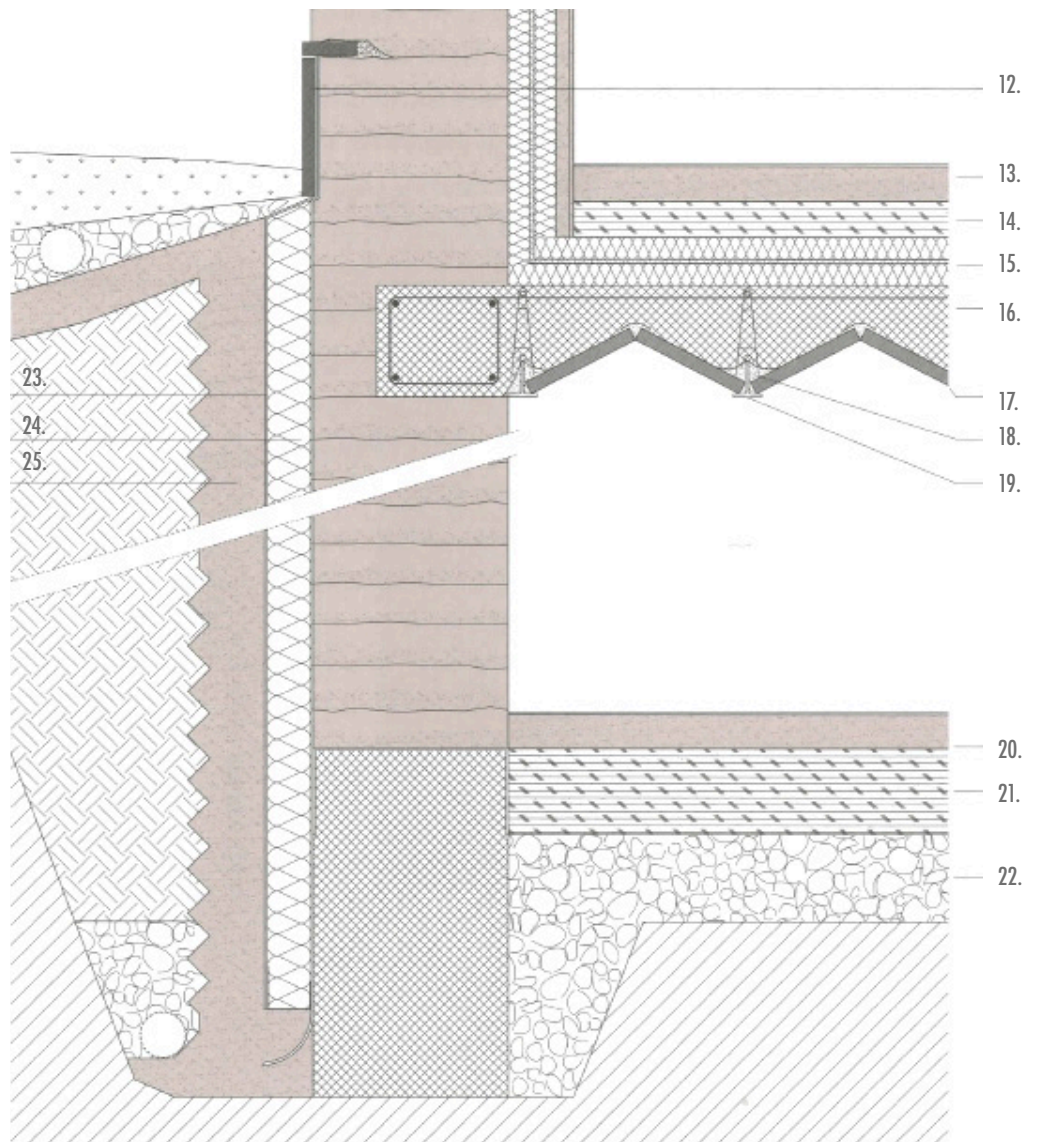
El forjado de la planta primera (techo de planta baja) (Fig 147, 148.) se realiza mediante piezas cerámicas caravista en su parte inferior (también utilizadas en fachada). Con unas dimensiones de 25 x 12 x 2,5 cm se colocan en zigzag sobre unas vigas metálicas en forma de T (60 x 60 x 6 mm)⁸. La propia cerámica actúa como encofrado perdido que se rellena de la misma mezcla de virutas de corcho y se le da un acabado superior similar.

Fig 144. Detalle constructivo, Unión de paramento exterior y cubierta. Forjado de troncos de madera realizado en la técnica Dippelbaumbalken. Chapa metálica como goterón: corrección de la solución no adecuada en las instalaciones deportivas de Zúrich.

Fig 145. Detalle constructivo, Muro de contención con aislamiento exterior de 10 cm de espuma de vidrio. Muro planta baja con aislamiento interior y calefacción radiante. Forjado planta primera con piezas cerámicas y vigas de acero en T.



1. Placas cerámicas de 4cm cocidas a fuego lento como cubrimiento.
2. Relleno de roca volcánica triturada 17cm.
3. Panel OSB 2,5 cm con impermeabilización bituminosa.
4. Aislamiento con esteras de caña 20cm.
5. Formación de pendiente con mortero de corcho granulado, tierra y toba volcánica 10cm.
6. Forjado de vigas de madera, sistema "Dippelbaum" 18 cm.
7. Tablero de madera cubriendo las vigas de madera 3cm.
8. Panel de arcilla con enlucido de arcilla 3+1cm.
9. Muro de tapial espesor 45cm.
10. Aislamiento esteras de caña 2x5cm
11. Revestimiento de arcilla con enlucido de arcilla 3+1cm.
12. Baldosas cerámicas cocidas a baja temperatura.
- 13, 20. Solado de tierra compactada 8cm.
14. Mezcla de corcho, toba volcánica y cal 8cm.
15. Aislamiento de esteras de caña 2x5cm.
16. Mortero de toba volcánica y cal reforzado, 25cm.
17. Ladrillos cerámicos cocidas a baja temperatura.
18. Mortero de cal.
19. Viga de acero en T 60/60.
21. Mezcla de corcho, toba volcánica y cal 20cm.
22. Relleno de espuma de vidrio 20cm.
23. Impermeabilización bituminosa.
24. Aislamiento de espuma de vidrio.
25. Tierra arcillosa.



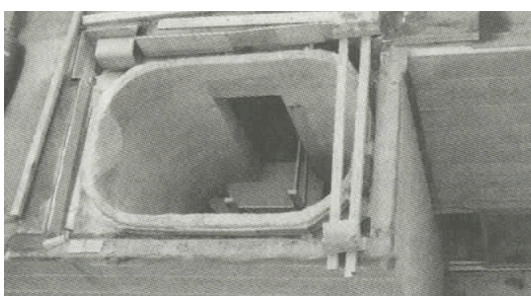
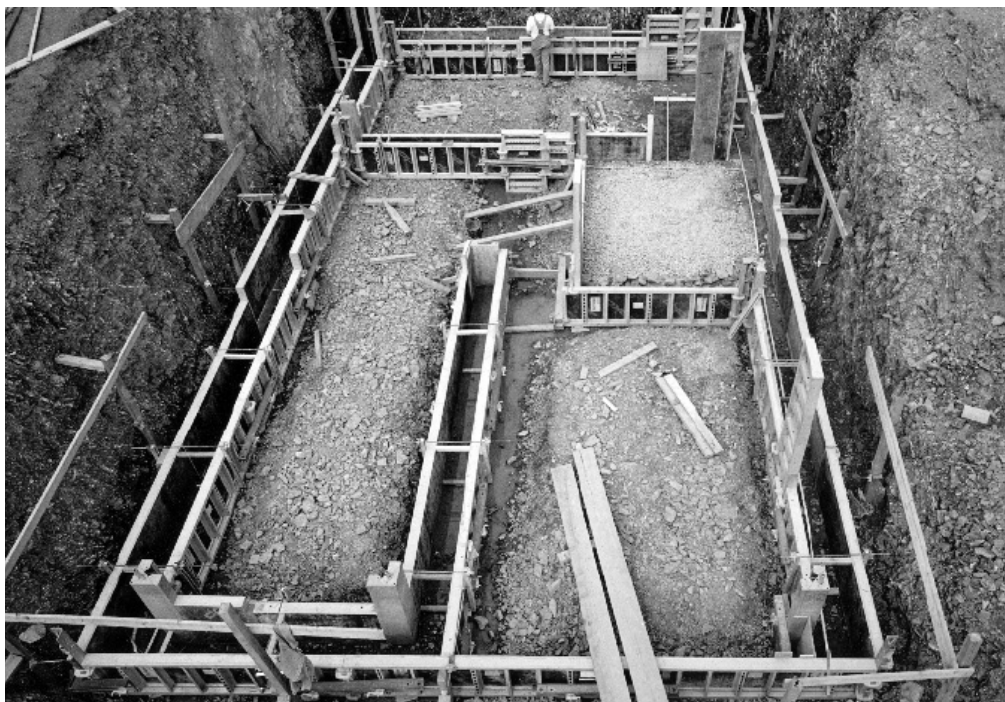


Fig 149- 155. Construcción "in situ"
Casa Rauch. Cimentación, encofrados,
compactación del tapial mediante martillo
neumático, elevación muros planta baja,
premarcos de puertas, andamiaje y
construcción de plantas primera y segunda.
Tapial más ancho en del hueco de la
escalera.

⁸ Roger Boltshauser & Martin Rauch, THE RAUCH HOUSE | A Model of Advanced Clay Architecture (Basel, 2010).

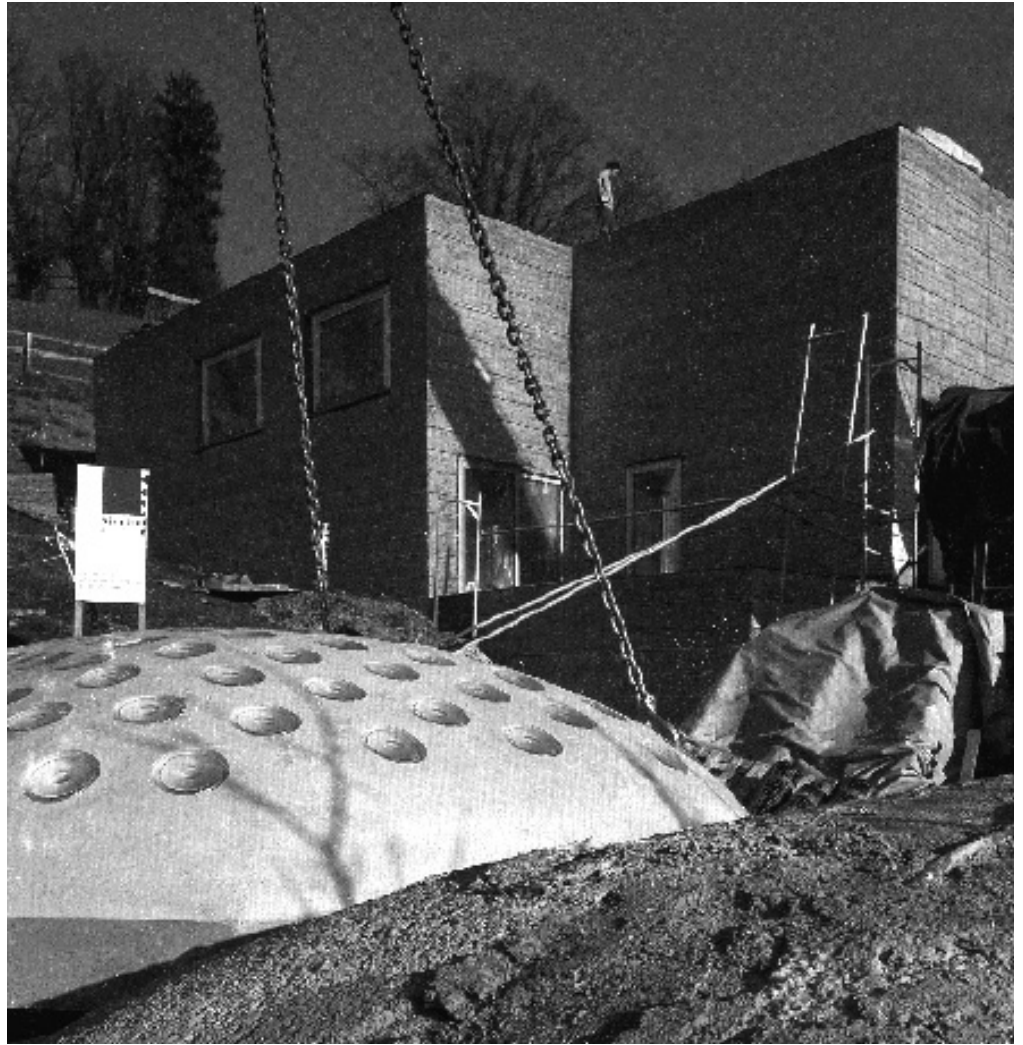
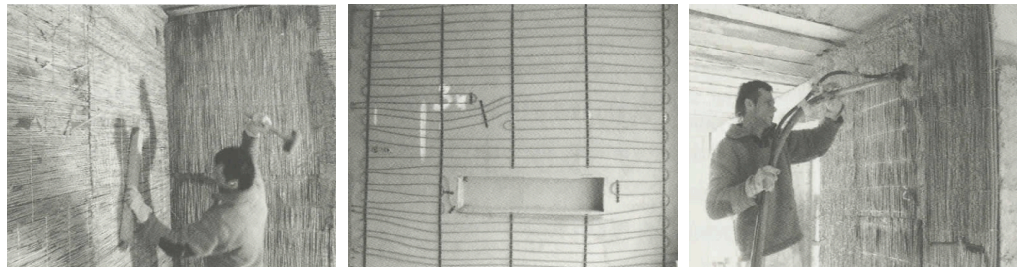


Fig 156. Colocación de la cúpula de hormigón enlucida en arcilla en su interior. Cubrición de la escalera.

Fig 157. Esteras de paja como aislante adosado al tapial en su cara interna,

Fig 158. Tubos flexibles de calefacción radiante.

Fig 159. Capa de arcilla blanca y arena de cuarzo como enlucido final sobre tela de lino.



Como ya hemos apreciado en proyectos anteriores, aquí opta por la inclusión de bandas horizontales cerámicas (Fig 160.) como control de la erosión. Se realizan de forma artesanal, lo que garantiza la propia identidad de cada pieza, dotando a la fachada de un fuerte carácter. Es curioso mencionar cómo además éstas no llevan un ritmo constante, sino que manipulan la percepción del viandante, la separación entre ellas crece desde el centro a los extremos superior e inferior dando una mayor sensación de altura. Al tratarse de un material natural expuesto a las inclemencias, Martin Rauch está aceptando el paso del tiempo como un proceso más de construcción.



Fig 160. Control de erosión con piezas cerámicas. Ritmo creciente en su parte superior.

Se produce una exaltación de la tierra como material de construcción en todos los elementos, ya sea en forma de tapial conformando los muros o la chimenea (Fig 161.), como tierra cocida en piezas cerámicas para controlar la erosión realizados a mano, o en baldosas dispuestas en paredes y suelos de zonas húmedas diseñadas por su hijo y mujer (Fig 162.). La tierra también se emplea como acabados en suelos y paredes, con mezclas de caseína, cera y otros elementos naturales. O en forjados, escaleras (Fig 163.) e incluso mobiliario de baño como las cuencas de los lavabos.



Fig 161. Chimenea en tapial Casa Rauch.

⁸ Roger Boltshauser & Martin Rauch, THE RAUCH HOUSE | A Model of Advanced Clay Architecture (Basel, 2010).

Rauch rechaza el uso de cemento excepto en lugares puntuales, lo que aunque dificulte la construcción fomenta la capacidad de reciclaje de la tierra y reduce la energía en la fabricación de materiales al mismo tiempo que respeta su característica principal de permeabilidad. En su lugar lo reemplaza por mortero de toba y cal, que por sus características de absorber los esfuerzos trabaja muy bien en consonancia con la tierra. Es algo que ya había utilizado en los muros de otros proyectos, sin embargo aquí lo lleva a su máxima expresión en vigas de atado y forjados.

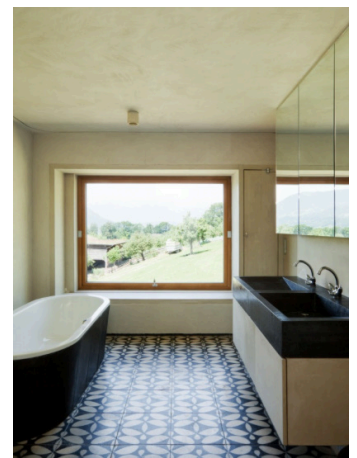


Fig 162. Interior Casa Rauch. Baño en planta segunda. Techo y paredes con estuco de en arcilla blanca. Piezas cerámicas cocidas en lavabo, bañera y como acabado de solado. Carpintería vista en madera. Aberturas laterales en la ventana. Baldosas con complejidades formales diseñadas previamente por ordenador. Esmaltadas con la técnica Raku (*).

(*). Técnica del Raku: tradicional de Japón para artículos de té y miniaturas, considerados objetos de arte. Consiste en una técnica de cocción de la cerámica a una temperatura de 1000 °C cubierta de serrín.

Para intentar sacar el máximo partido a los revestimientos de tapial y debido a una exigente normativa térmica, Martin Rauch crea un sistema de envolvente radiante en el interior de la estructura de tapial (Fig 157, 158, 159.). Desde un horno de pellets, unas células fotovoltaicas y la cocina central, la energía se transmite a unos conductos que circulan por las paredes. Estos están situados encima de unas esteras de paja que funcionan de aislamiento y cubiertos por un tejido de lino y una capa de enlucido de arcilla y arena de cuarzo ⁸. Se incluyen las instalaciones en la elaboración de estos muros, aunque en una capa interna no realizada en tapial sino como revestimiento.

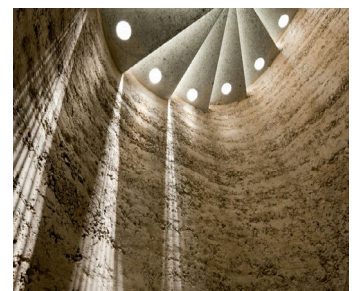


Fig 163. Escaleras Casa Rauch. Losas de arcilla prensadas reforzadas con acero.

" Después de completar la capilla en Berlín y un gran edificio para el zoológico de Basilea, la casa y el taller de tres pisos que diseñó para sí mismo en Schlins, en colaboración con Roger Boltshauser, representaron una nueva síntesis de toda la experiencia que había acumulado hasta ese punto. Fue aquí donde la construcción moderna de la tierra finalmente pudo separarse de los clichés ecológicos ingenuos y avanzar hacia una madurez técnica y una claridad formal que, incluso unos pocos años antes, habría parecido inimaginable " ⁷.

⁷ Otto Kapfinger & Marko Sauer, Martin Rauch, Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth (2015). p. 7

2.2. TAPIAL EN BLOQUES PREFABRICADOS

⁷ Otto Kapfinger & Marko Sauer, Martin Rauch, *Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth* (2015).

El conocimiento de la técnica por parte de Martin Rauch basada en su dilatada experiencia le lleva a experimentar, paralelamente a la obra realizada *in situ*, con el sistema de bloques prefabricados en taller. Un nuevo paradigma que incluye la introducción de grandes innovaciones tecnológicas para la fabricación y el proceso de construcción de las piezas.

Las ventajas de estos son múltiples, aunque también poseen ciertas limitaciones. Representan un avance cualitativo y cuantitativo. Permiten una mejor coordinación en la fabricación y la producción, pudiendo cumplir con fechas establecidas independientemente del clima y las estaciones, son más eficaces en proyectos de gran embergadura por su sistematización y es más fácil la integración de instalaciones en este tipo de "tapial". Por otro lado, sus propiedades como muro de carga son aún objeto de estudio y las soluciones constructivas se complejizan por la división habitual del muro en elementos.

Las piezas fabricadas en taller se transportan a la obra y se manipulan utilizando medios auxiliares capaces de moverlas, como grúas. Sus dimensiones suelen venir impuestas por el máximo peso que estas pueden grúas pueden soportar (generalmente unas 5 toneladas ⁷), cuantas menos divisiones más rápido y económico es el montaje. Las piezas son catalogadas y numeradas para un correcto apilamiento en función de las líneas de compresión horizontales. Tras su colocación en obra, las juntas entre bloques se rellenan manualmente con el mismo material con la idea de conseguir lograr la homogeneidad del conjunto.

Si estos muros realizan la función de paramento exterior, la erosión se controla mediante bandas de mortero de toba y cal cada 40- 60 cm, más fáciles de elaborar y de transportar ⁷ que la introducción de piezas cerámicas, más acordes a una construcción artesanal *in situ*.

2.2.1. SIN FUNCIÓN ESTRUCTURAL: Desarrollo e integración de instalaciones.

Inicialmente no se explora la función como muros de carga en el sistema constructivo de bloques prefabricados de tapial. Sin embargo, se producen investigaciones acerca de la integración de instalaciones en los mismos.

El primer muro prefabricado realizado por el estudio Lehm Ton Erde se construye en 1997 y se sitúa en la **Casa L.** (Fig 164.), en Sublingen, Suiza, del arquitecto Theo Lüthi. Va a servir como catalizador del sistema prefabricado.

En principio iba a construirse "in situ" pero las inclemencias del mes de enero y unos horarios muy rígidos llevaron a la búsqueda de una solución en la que el muro construido en taller (Fig 166.) se instalaría con una grúa (Fig 167.) simultáneamente a la construcción en madera de la casa y así se llevo a cabo el primer muro prefabricado en tapial.

Se trata de un muro curvo de 4 toneladas realizado en un taller a 300km⁶. Su posición central organiza y cualifica el espacio (Fig 165.). Es muro de tapial prefabricado es autoportante, aunque no tiene ningún papel estructural. Es una simple pantalla divisora de espacios que no llega a tocar el forjado superior. Podríamos relacionarlo con los muros realizados "in situ" en el hospital LKH Felkrich que no poseían función estructural alguna (aunque no se incorpora en el muro ninguna aportación en materia de acondicionamiento climático) o contrariamente con la Casa R. donde también actuaba como elemento central.

⁶ Otto Kapfinger & Martin Rauch, Rammed Earth. (Birhäuser, Basel, 2001).

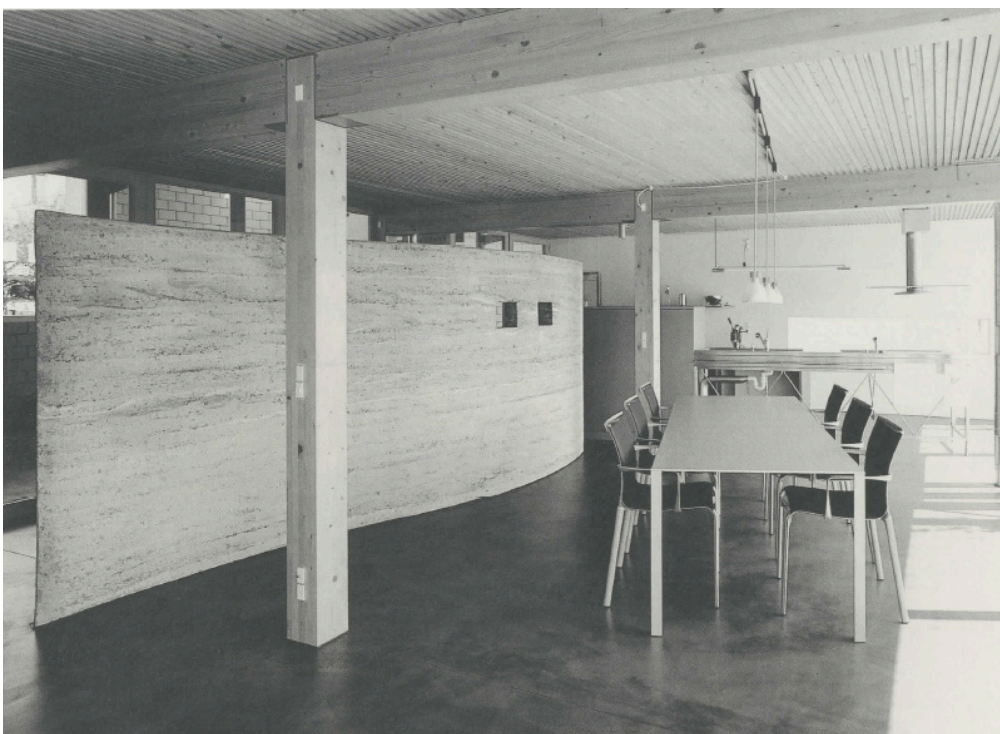


Fig 164. Pantalla separadora de espacios en tapial. Aberturas para mirar a través.

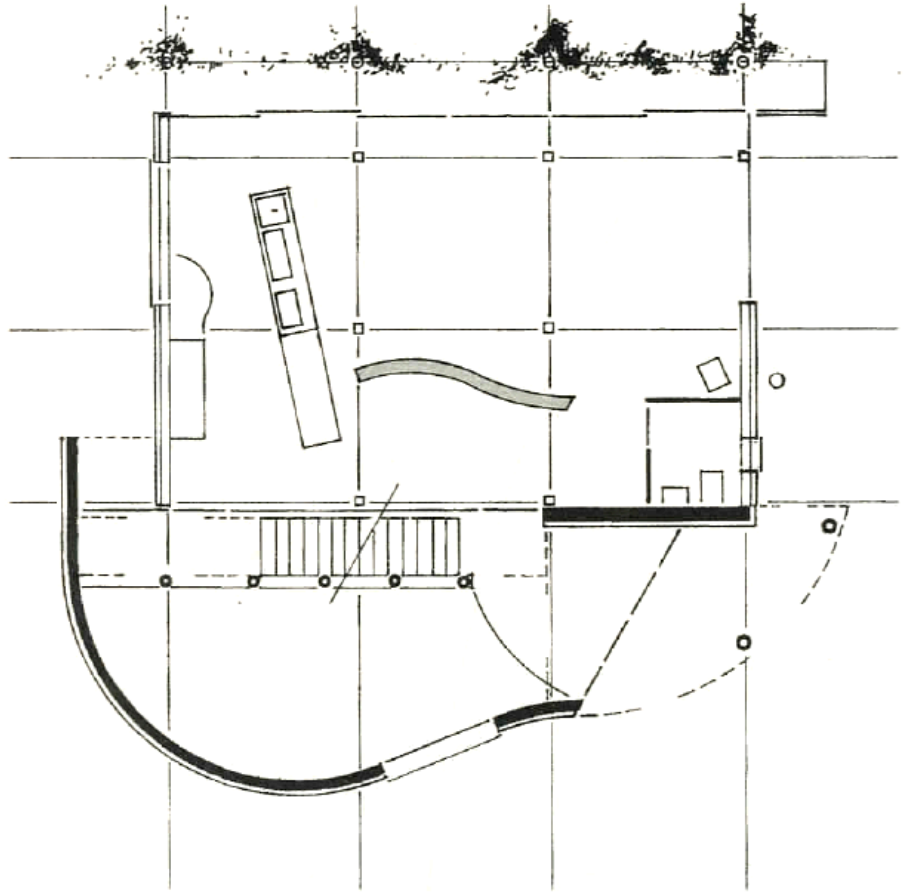
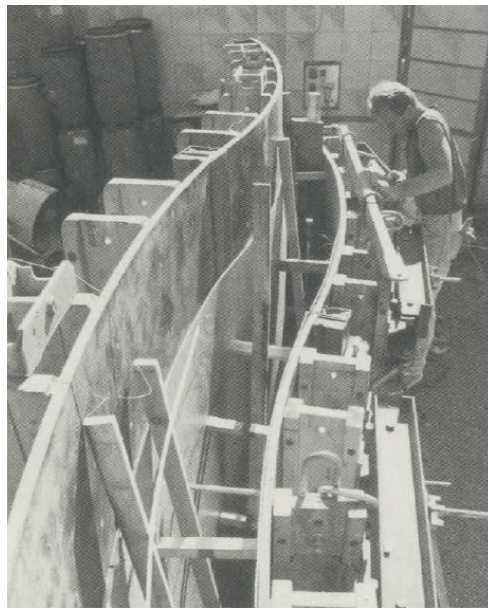


Fig 165. Planta Casa L. Estructura ligera de madera y elemento masivo central.

Fig 166. Encofrado en taller del primer elemento prefabricado. Muro curvo.

Fig 167. Transporte con grúa hasta la obra.



Esta construcción de tapial prefabricado se sigue desarrollando en sus inicios como elementos centrales de vivienda que cualifican el espacio. Sin embargo se va integrando en ellos sistemas de climatización como es sucede en el caso de la **Casa K.** (Fig 168, 169, 170.), del arquitecto situada en Nüzders, Austria, 1997.

Con ella la prefabricación se hace más popular. El muro de tierra adopta el papel de elemento central en la vivienda que adoptaba anteriormente. Además, Martin Rauch da un paso adelante en la evolución de esta técnica: crea aberturas para iluminación indirecta y se beneficia de las buenas propiedades de inercia térmica de la tierra y de su mala conducción del fuego para integrar la chimenea en la propia tapia. En la parte superior de este muro vemos unas rendijas de ventilación para que salga el aire caliente que asciende.

Es decir, se integra un elemento de calefacción en el muro y se aprovechan las cualidades de la tierra para potenciarlo.

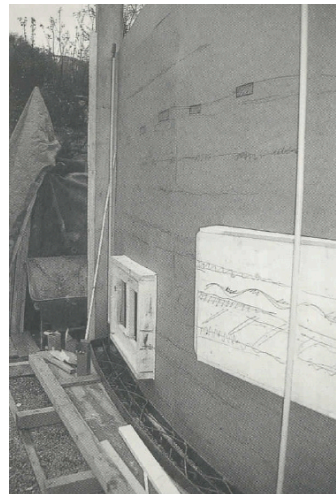


Fig 169. Desencofrado del tapial y transporte.

Fig 170. Refuerzo de aberturas para un adecuado transporte.

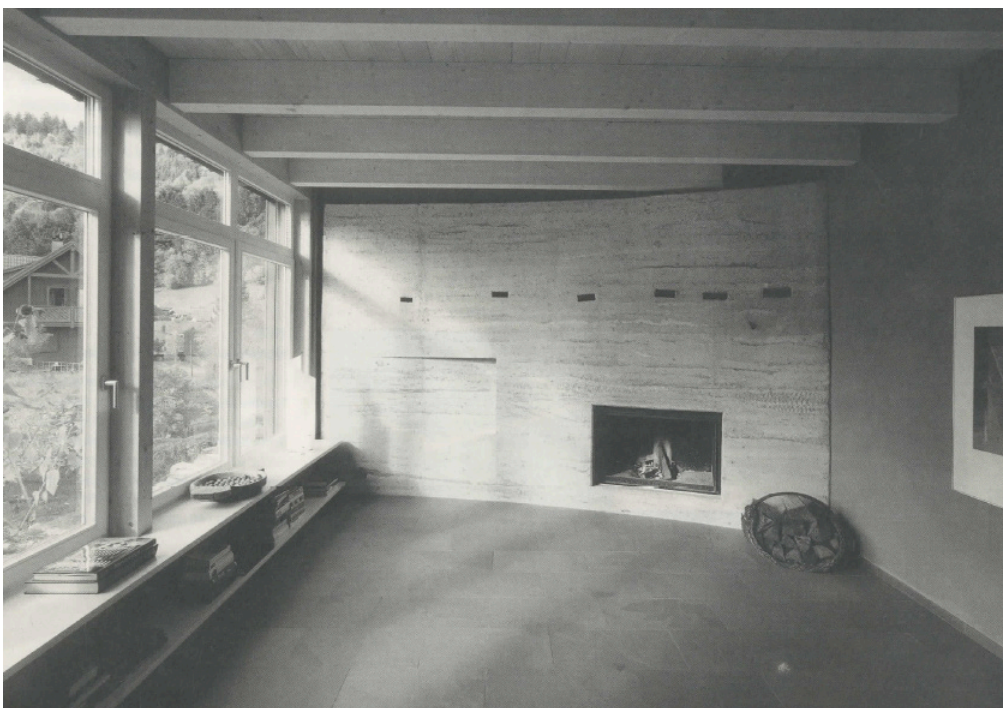


Fig 168. Casa K. Tapial como elemento central que integra la chimenea.

Veremos más adelante como este mismo modelo de elemento central de una vivienda que integra la calefacción se desarrolla en el año 2000 en la **Casa V.** (Fig 171, 172.), situada en Klaus, Austria. Proyecto de vivienda de Ernest Waible y Dornbirn A.

En este proyecto seis piezas de dimensiones: 1,7 x 0,4 x 1,3 m se sitúan en la parte central de la casa dividiendo las estancias principales y extendiéndose hasta la segunda planta.

El papel principal de este muro de piezas prefabricadas es el de gran chimenea de la casa. Perforado verticalmente posee una serie de conductos que reconducen el aire caliente de la chimenea por toda la casa. El mismo principio que la Casa K. estudiada anteriormente pero con mayor complejidad.

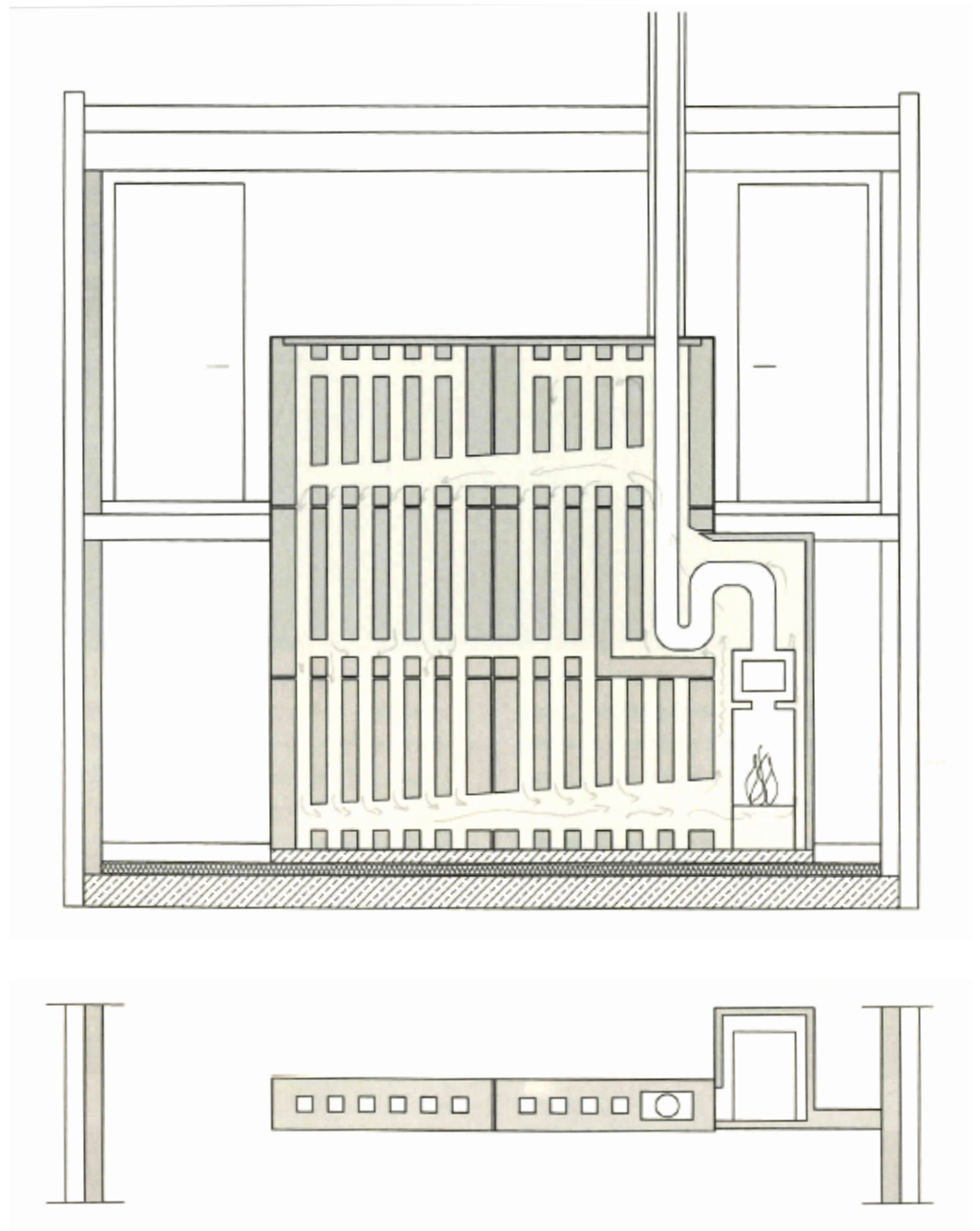


Fig 171, 172. Planta y sección. Tapial prefabricado con conductos de calefacción, abarca altura y media de la vivienda y funciona como gran radiador central.

Martin Rauch continúa mejorando la técnica de la prefabricación, supera el muro central en viviendas y lleva este mismo concepto a una escala mayor en el proyecto de **Pinting Plant Gugler** (Fig 173.) en Pielach, Austria, realizado en los años 1989-99 por los arquitectos Herbert Ablinger y Vedral&Partner. Finalista TerraAward en Construcción comercial.

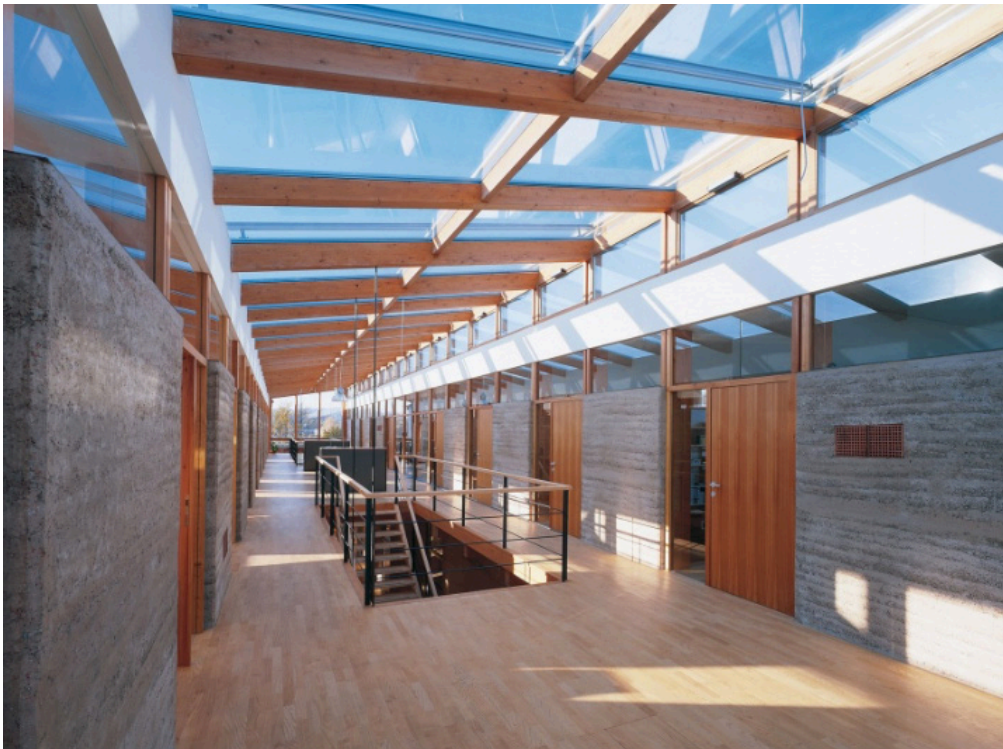


Fig 174. Atrio central de la empresa. Estructura de bloques de tapial con el sistema de aclimatación integrado .

En este proyecto de imprenta a escala comercial, 160 piezas de tapial prefabricado en taller de dimensiones 1,7 x 1,3 x 0,4 m (Fig 179.), se trasladan hasta la obra donde se ensamblan unas con otras entre una estructura de postes y vigas de madera (Fig 175, 176, 177, 178.). Forman el atrio central (Fig 174.), como lugar de reunión que conecta toda la empresa, uniendo en altura tres plantas; esto quiere decir que los bloques están situados en el interior del edificio, al igual que ocurría en las viviendas, actuando como paramento interior. Los bloques prefabricados son autoportantes y aunque el sentido vertical de las cargas la realizan los postes de madera, vemos claramente como el tapial prefabricado arriostra verticalmente la estructura, permitiendo una esbeltez mayor de estos postes.

Fig 173. Planta superior edificio Gugler. Rejillas de ventilación en tapial interior.

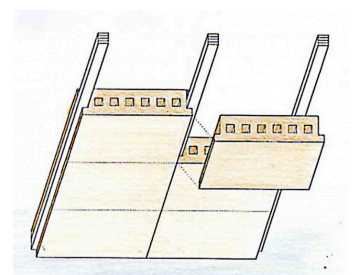


Fig 179. Sistema de unión pilares de madera y bloques prefabricados perforados.

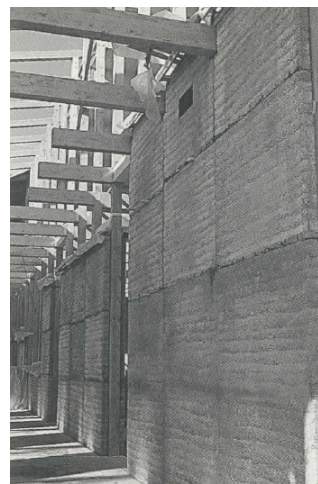
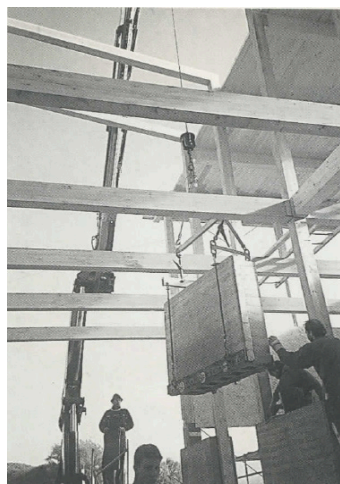
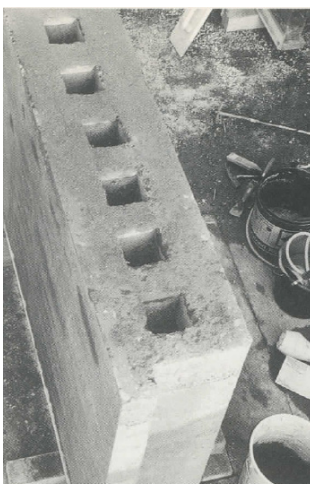


Fig 175, 176, 177, 178. Apilación, transporte, colocación de piezas prefabricadas y disimulado de juntas.

El Pozo canadiense es un sistema de aclimatación que funciona tanto en invierno como en verano de la siguiente manera: a través de unos sistemas que captan aire del exterior (generalmente proveniente de zonas arboladas) este pasa por unos conductos soterrados entre 2 y 5 metros hasta conducirlo al interior de la vivienda. Se puede inducir o no, un aporte calórico, pero la temperatura de la tierra a esas profundidades suele ser de entre 18 y 23 grados centígrados²³.

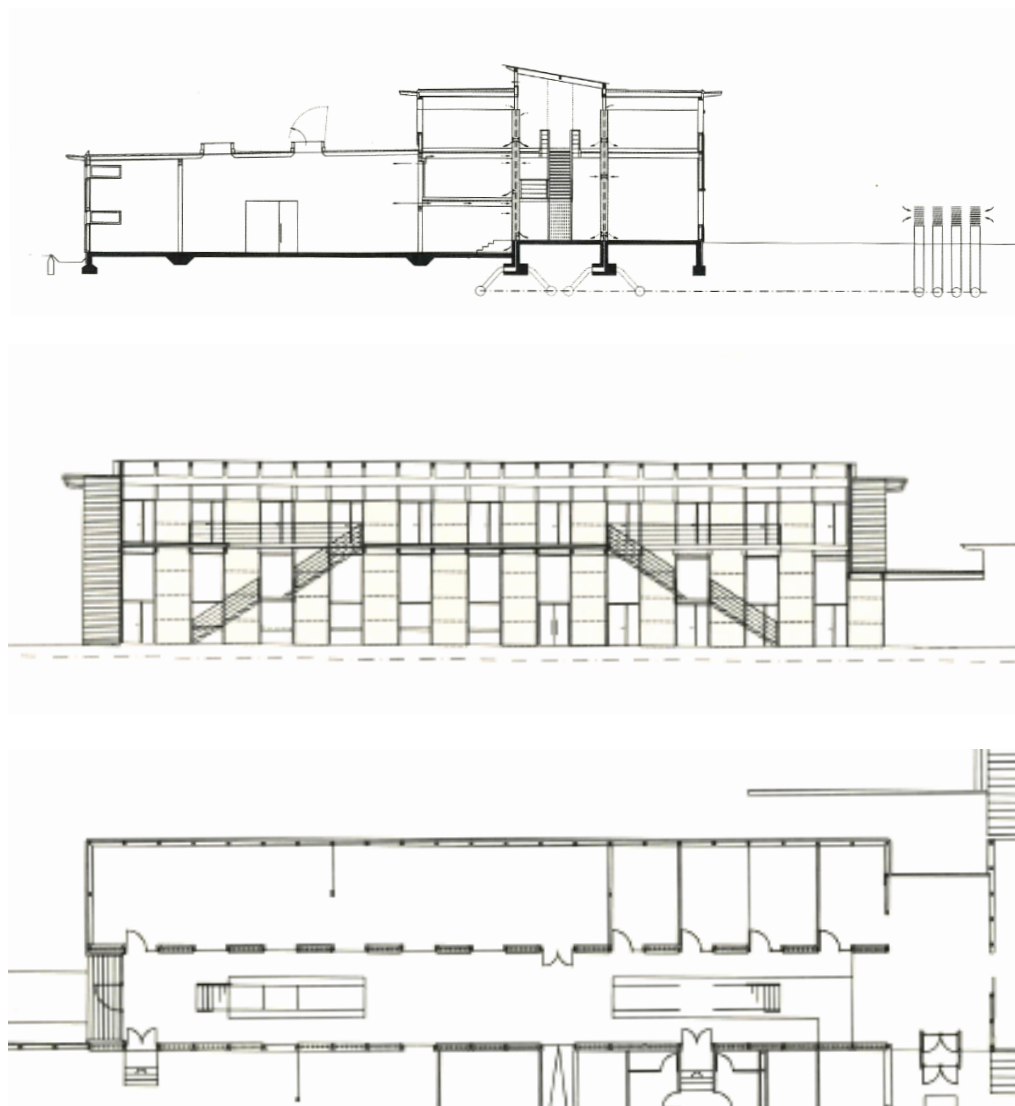
²³ <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/pozo-canadiense/>

Estos bloques de tierra prefabricados están perforados verticalmente formando unos conductos de ventilación. Esto, en combinación con el sistema de pozo canadiense²³ (*) que posee el edificio, permite la entrada de aire tanto en verano (aire más frío) como en invierno (con un pequeño aporte calórico) de una arbolada adyacente (Fig 180, 181, 182.). De este modo, el alto muro de tierra compactada hace la función de un gran radiador o aire acondicionado y posee unas rendijas por las que permite la circulación de este aire.

Martin Rauch consigue con este proyecto llevar el prefabricado a una escala no doméstica y a su vez integrar en él un sistema de calefacción con técnicas pasivas, que acombina a la perfección gracias a la abundante inercia térmica del muro en tapial.

Fig 18, 181, 182. Planta alzado y sección. Bloques únicamente dispuestos en el pasillo central de tres plantas.

Esquema en sección del funcionamiento del pozo canadiense en combinación con este sistema.



Más de una década de estudios en el taller Lehm-Ton-Erde son necesarios para conseguir utilizar estos bloques prefabricados como paramento exterior y conseguir abarcar la ola de innovación técnica requerida en proyectos de gran envergadura de arquitectos como Herzog & de Meuron o Snohetta.

Estas adaptaciones constructivas para dar solución a las demandas internacionales a gran escala quedan de manifiesto en el proyecto de **La Fábrica Ricola** (Fig 183.), de los arquitectos Herzog & de Meuron realizado en Laufen, Suiza, en 2012.

Los bloques prefabricados de tapial componen la envolvente de la fábrica de hierbas Ricola en Laufen. Se elaboran en taller en una nave de las inmediaciones, con la tierra procedente de canteras locales ²⁰ (Fig 184, 185.). Al tratarse de un sistema pionero de prefabricación, Martin Rauch además de asistir con sus conocimientos sobre construcción con tierra cruda, desarrolla la maquinaria necesaria (Fig 187, 188.) para la ejecución de los bloques, con el fin de controlar el resultado deseado y abaratar costes que hagan posible su ejecución. A lo largo de un encofrado (Fig 186.) de entre 50 y 80m de longitud que puede abarcar diversos espesores, un robot vierte la tierra y la compacta mecánicamente, disminuyendo el trabajo físico manual.

Después las piezas se cortan (Fig 189.) en función de las demandas del proyecto y del peso que soporta la grúa para el transporte (Fig 190, 191.) y la instalación (Fig 192, 193, .) en obra.

En el caso de Ricola estos bloques prefabricados, constituyen la envolvente de una gran estructura (Fig 196, 197, 199, 200) de pilares y vigas de hormigón armado. Como si de grandes sillares de piedra se tratara, con unas dimensiones de 4,35 x 1,35 x 0,45 m y un peso de 4 toneladas, componen una fachada autoportante ²⁰.

²⁰ Luis Fernández-Galiano, "Herzog & de Meuron 2013-2017", *AV Monografías 191-192*(2017).



Fig 183. Imágen exterior Fábrica Ricola en Laufen.

Fig 184. Izquierda. Experiencia sensorial con el material.



Fig 185. Derecha. Elaboración de la mezcla en taller.



Fig 186. Encofrado continuo.



Fig 187. Vertido y compactación mecánica de la tierra. Maquinaria desarrollada por Lehm- Ton Erde. Esto permite la creación de tapiales menos espesos pues no es necesario que quepa una persona dentro.

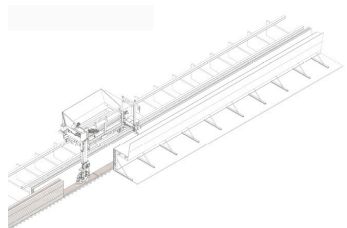


Fig 188. Dibujo de maquinaria de vertido y compactación de la tierra.



Fig 189. Derecha. Numeración y orden de piezas en taller según fabricación previa en el encofrado.

Fig 190. Transporte por railes de bloque prefabricado.



Los bloques prefabricados se arriostran horizontalmente a los pilares de hormigón mediante un cableado metálico embebido en las juntas horizontales entre cada hilada de piezas (Fig 194, 195.). En dirección vertical, sin embargo, el movimiento está permitido ²¹ para evitar grietas y anomalías por los cambios de volumen y el movimiento de la tierra. En las zonas de despacho, por criterios térmicos, fue necesaria la adición de una doble hoja de ladrillo con aislante térmico (Fig 198.).

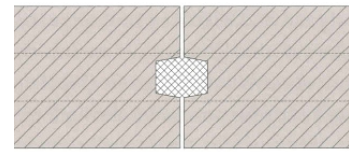
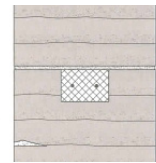


Fig 194. Resolución de juntas verticales con mortero de toba volcánica y cal. Juntas horizontales con mortero de arcilla sobre cableado embebido en mortero de toba y cal.



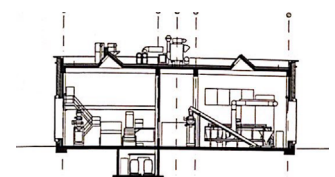
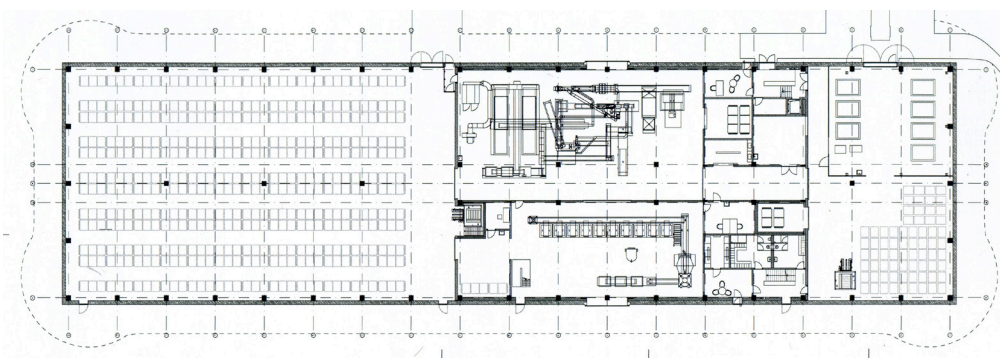
195. Arriostramiento horizontal con cables de acero.



Fig 191. Desarrollo de diversos sistemas para el transporte y la colocación de las piezas prefabricadas en obra. El tapial tiene muy baja resistencia a tracción por lo que es importante una buena sujeción de la pieza desde su parte inferior.

192. Izquierda. Martin Rauch: instalación de piezas.

Fig 193. Instalación de piezas prefabricadas sobre mortero de arcilla. Se fijan con su propio peso, se nivelan con cuñas de madera que luego se quitan y se arriostran horizontalmente con cables de acero.



199, 200. Planta y sección Fábrica Rícola en Laufen. Dimensiones totales de planta: 110 x 30m.

²⁰ Luis Fernández-Galiano, "Herzog & de Meuron 2013-2017", *AV Monografías 191-192* (2017), p. 160

²¹ Isis Pérez, Entrevista telefónica a Timur Ersen. España-Francia (agosto 2019).

"La energía y sostenibilidad no se tratan como temas técnicos auxiliares sino que se integran en la arquitectura y forman parte de los rasgos esenciales del proyecto como un todo"²⁰.

Gracias a la masa térmica y a la porosidad de esta envolvente, el edificio va tener un buen comportamiento energético: resultado de las características térmicas e higrométricas de la tierra, se van a dar las condiciones óptimas para el almacenamiento y procesado de las hierbas frescas de esta empresa. Se utiliza también el calor sobrante del centro de producción para favorecer este acondicionamiento climático.

Una gran homogeneidad en de este material poroso en la fachada se consigue mediante la adecuada numeración de las piezas cortadas en taller, para una posterior aplicación en obra en concordancia con este orden de ejecución, de tal manera que las tongadas y líneas de cal muestran la horizontalidad de las capas de tierra. Este efecto se refuerza y llega a su consecución gracias a la eliminación de las juntas como un elemento con entidad propia. Se retocan hasta conseguir una apariencia homogénea en toda la fachada²¹ (Fig 201, 202).

Fig 196, 197. Estructura de pilares prefabricados de hormigón.

Fig 198. Doble hoja de fábrica de ladrillo y aislante.

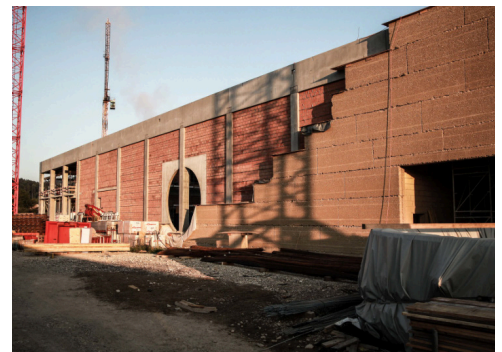




Fig 202. Mojado de la pared para conseguir una estructura homogénea.

Fig 201. Retoque manual de juntas.

²¹ Isis Pérez, Entrevista telefónica a Timur Ersen. España-Francia (agosto 2019).

En la entrevista que he tenido ocasión de realizar al arquitecto Timur Ersen ²¹, participante en la obra de este edificio durante ocho meses, su propio argumento basado en la experiencia personal confirma lo laborioso de este trabajo de rejuntado de las juntas, que casi podríamos denominar como un trabajo artesanal. Este retoque de juntas es necesario no solo para una homogeneidad visual, sino para que la pared actúe como un elemento único ante los problemas de erosión. Esta erosión se minimiza mediante la introducción de bandas horizontales de una mezcla de toba volcánica y cal cada ocho tongadas de compactación (Fig 203, 204).

La síntesis de bloques prefabricados y monolitismo nos lleva a plantearnos la sinceridad constructiva de este tipo de técnica (Fig 205, 206). En lugar de la apariencia de grandes sillares de tierra, con juntas apreciables, más bien parece una estratificación natural. La apariencia final conseguida podríamos decir que es similar a la del tapial elaborado *in situ*. Pero a diferencia de este sistema de construcción *in situ*, las juntas procedentes del proceso constructivo de los grandes bloques prefabricados no se asumen como tal, integrándolas en el diseño, sino que son disimuladas mediante un laborioso trabajo manual que contradice la propia técnica del prefabricado.



Fig 203, 204. Muro con y sin erosionar. 4 años de diferencia.

Fig 205. La colmatación del muro en la cubierta se realiza con un zuncho de coronación de mortero de toba volánica y cal y se impermeabiliza con una capa bituminosa.

Un sistema de cubierta tradicional puede ser instalado encima: aquí este consta de losas de H. A proyectadas in situ y cubiertas por una chapa ondulada que sobresale para ayudar a controlar la erosión.

206. El zócalo también se construye en hormigón. Sobreelevado del terreno, protege al muro del agua. Sobre este se elevan los bloques de tapial prefabricados.

1. Revestimiento de chapa ondulada.
2. Remate de hormigón sobre tapial.
3. Cubrimiento de piezas de montaje.
4. Mortero de toba volcánica y cal reforzado.
5. Canalón.
- 6, 13. Banda de mortero de toba y cal para control de erosión.
- 7, 12. Muro en tapial espesor 45cm.
- 8, 17. Aislante poliestireno expandido.
9. Pilar de hormigón armado 55cm.
10. Soporte de fricción fijo en fachada.
11. Perfil de acero inoxidable.
14. Capa de betún y mortero de arcilla.
15. Zócalo de hormigón con pigmento aislante.
16. Drenaje con grava.
18. Grava superficial.
19. Drenaje.
20. Hormigón de limpieza.

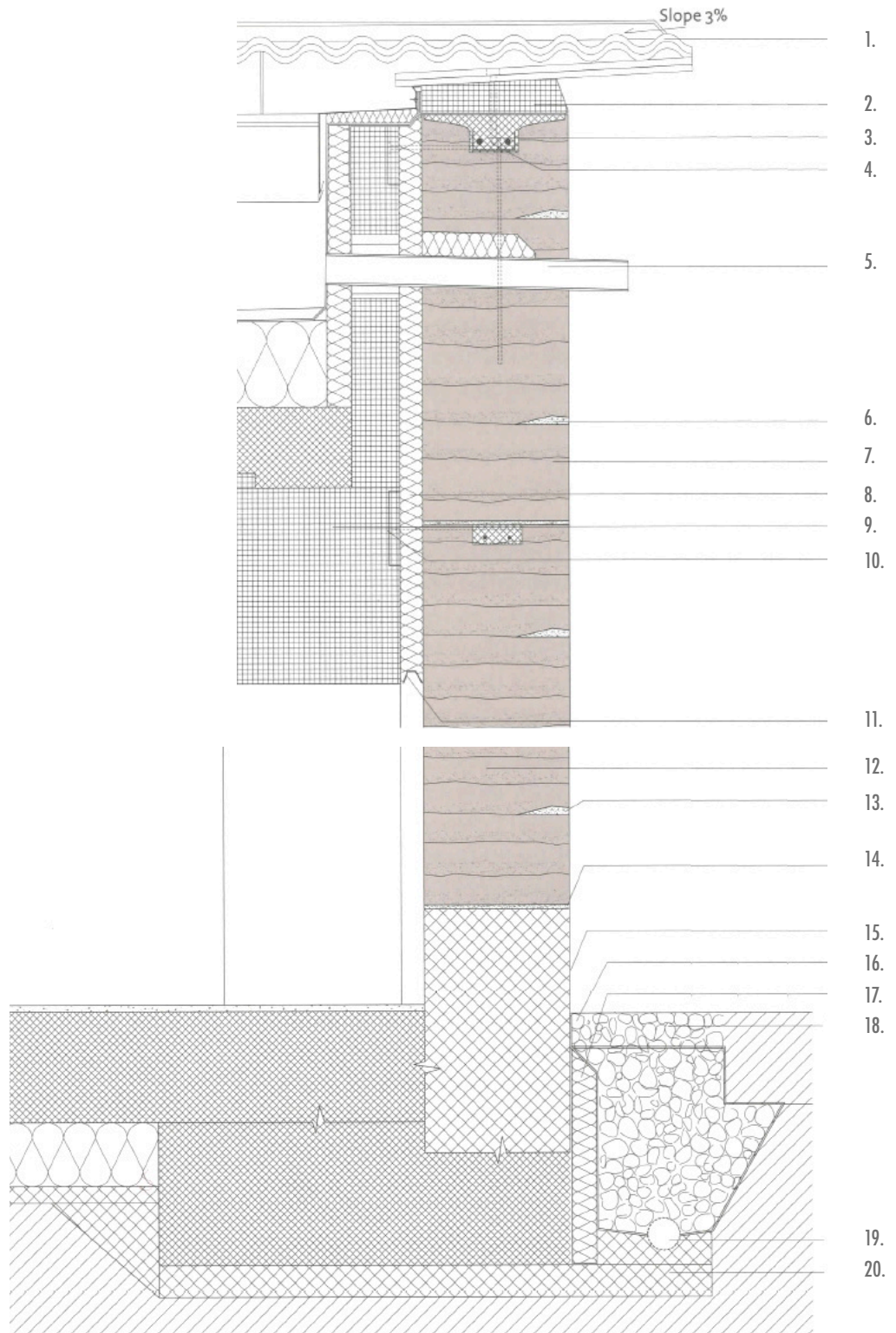
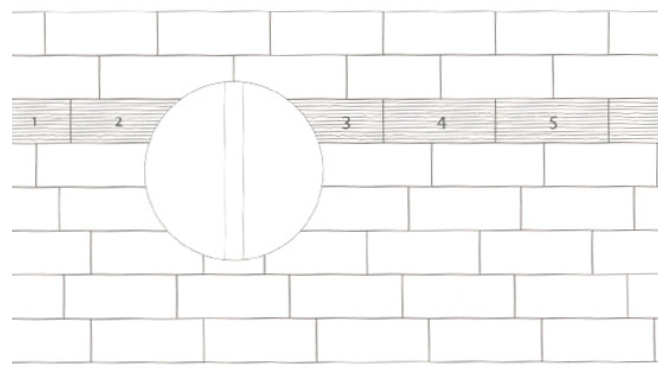


Fig 209. Planificación y diseño estructural de aberturas. La instalación de los bloques prefabricados se estipula mediante el orden de embestida en el encofrado, en el se tienen en cuenta la elaboración de piezas especiales.

Fig 207. Huevo circular de 8m de diámetro.



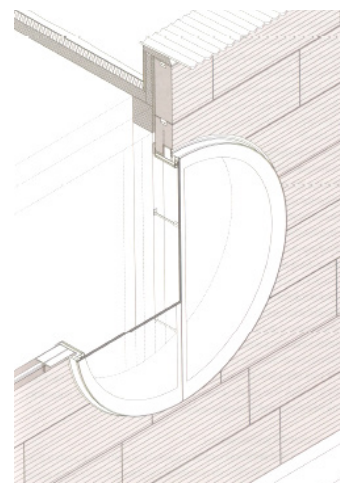


Fig 210. Axonometrica constructiva. No se necesita un refuerzo extra como dintel circular puesto que las fuerzas se distribuyen como en un arco de medio punto.

Fig 208. Construcción del premarco de la ventana. Sobresale del muro (unos 20cm) para evitar el goteo de la lluvia en el muro.

⁷ Otto Kapfinger & Marko Sauer, Martin Rauch, *Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth* (2015).

La gran expresividad del conjunto, muestra una sensación de monolitismo que solo se interrumpe en dos grandes ventanas circulares (Fig 207, 208, 209, 210.). El uso de elementos prefabricados permite una mayor libertad en la elaboración de los huecos de fachada, en comparación con el monolitismo que caracteriza las construcciones "in situ". Una planificación adecuada y la construcción en taller de las soluciones complejas del dintel permiten la integración de diferentes geometrías como es el caso de las ventanas redondas en Ricola o la construcción de fachadas totalmente permeables en la **Escuela Mezzana** (2012) (Fig 211.), Suiza, proyectada por Conte Pianetti Zanetta. Se construye paralelamente en el tiempo con la fábrica Ricola, también con bloques prefabricados.

A diferencia de la aparente masividad de la fábrica de hierbas, en esta escuela se percibe claramente cómo la tierra no tiene un papel estructural, sino que es un simple paramento exterior con buena inercia térmica ⁷. Con una fachada fraccionada por grandes ventanas en una construcción de doble hoja (tapial y fábrica de ladrillo) en una estructura de hormigón armado (Fig 212), el tapial pierde su esencia y parece estar utilizado como un simple revestimiento.

Martin Rauch sigue construyendo otros proyectos con el mismo principio estructural del uso del tapial prefabricado como simple paramento exterior. En ellos realiza diferentes soluciones en el encuentro del tapial con la cubierta (Fig 213) o en la abertura de huecos (Fig 214), como por ejemplo la creación de dinteles por apilamiento de piezas en el **Instituto Ornitológico Suizo de Sempach** (Fig 215) (2013-2014), del arquitecto mlzd Architekten, sin embargo el interés de la técnica de estas fachadas consta de los mismos principios estudiados anteriormente.

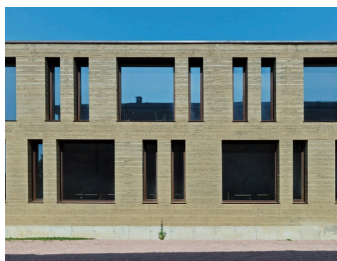


Fig 211. Fachada permeable, Agricultural School Mezzana.

Fig 212, 213. Detalle constructivo, Fachada de doble hoja. Solución del dintel en la abertura de huecos. Escuela Mezzana.

1. Chapa de acero cortém 0,3cm.
2. Aislamiento lana mineral 16cm.
3. Soporte de fricción fijado a la losa.
- 4, 12. Losa de hormigón armado 25cm.
- 5,9 . Banda de mortero de toba y cal
- 6, 10. Tapial prefabricado espesor 30cm.
7. Soporte de fricción fijado al muro de carga de fábrica.
8. Muro de carga de ladrillos, espesor 18cm.
11. Aislamiento lana mineral 14cm.
13. Dintel de hormigón armado 14x 16cm.

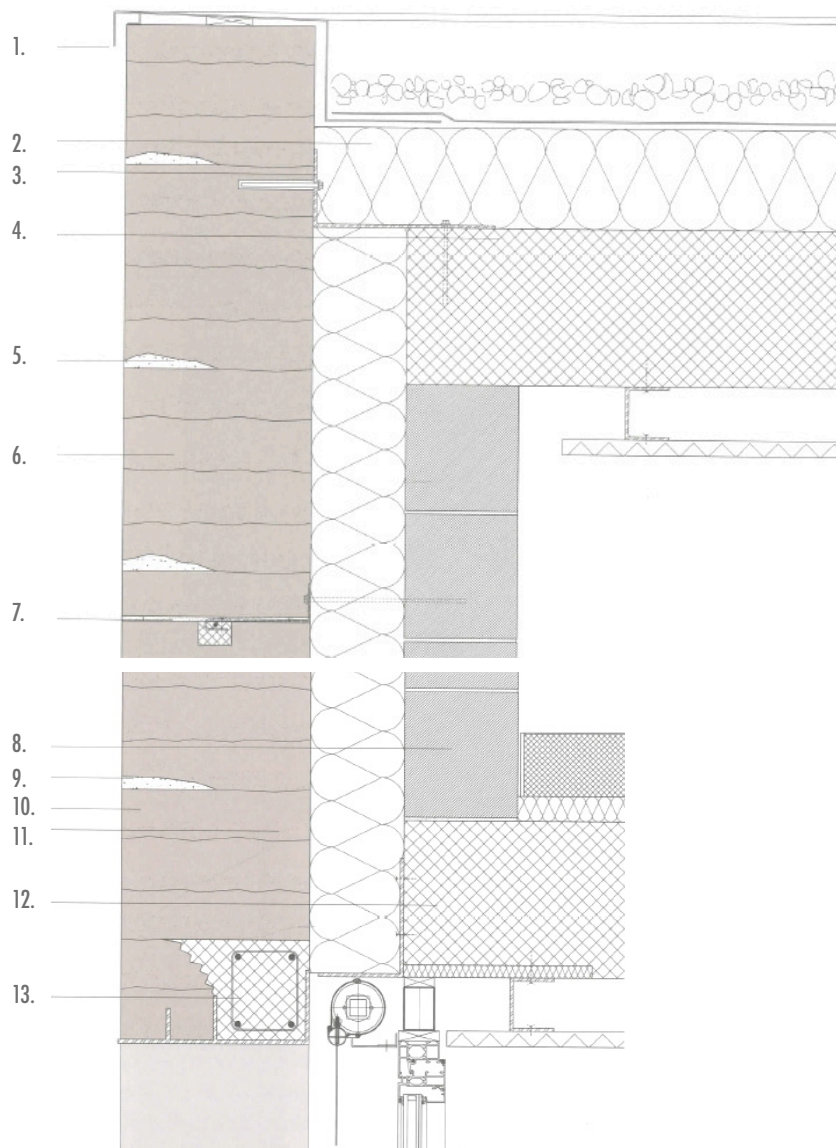
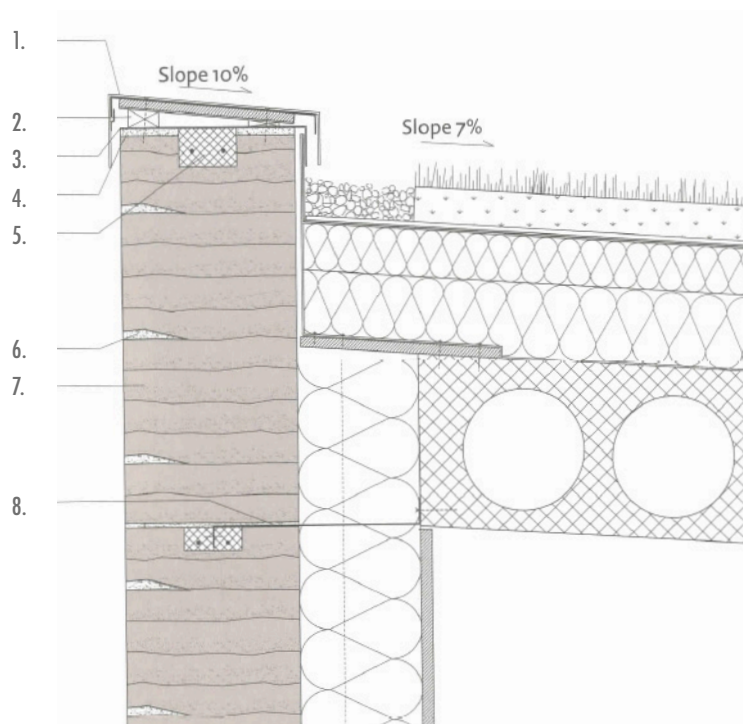


Fig 215. Centro Ornitológico en Sempach, Suiza.

Fig 214. Detalle constructivo. Encuentro entre tapial prefabricado y cubierta en el Centro Ornitológico de Sempach.

1. Chapa de acero cortém 0,3cm.
2. Subestructura de madera.
3. Impermeabilización bituminosa 0,5cm.
4. Capa de mortero de toba y cal, 2cm.
5. Viga de atado de mortero de toba y cal reforzado 15x10cm.
6. Banda horizontal de mortero de toba y cal para control de la erosión.
7. Tapial prefabricado espesor 45cm.
8. Soporte de fricción fijado a la estructura portante.



Martin Rauch potencia las cualidades térmicas del tapial prefabricado para hacer de este un Panel Sandwich por primera vez en el **Campus Alnatura**, (Fig 216, 229, 230.) en Darmstadt, Alemania, 2016 - 2017, proyectado arquitectónicamente por haas cook zemmrich | studio 2050. Es el edificio de oficinas con las fachadas de tapial más grande de Europa.

En una estructura de hormigón armado (Fig 218, 219.), germina una innovación técnica en materia de fachadas de la mano de Martin Rauch y Transsolar. Bloques prefabricados en tapial, de unas dimensiones de 3,5x 1m y 69 cm de espesor (Fig 220, 221.), se sitúan en las fachadas norte y sur a lo largo del edificio (Fig 222 - 225.). 11 bloques apilados en altura y unidos al forjado mediante un zúncho perimetral realizado en hormigón ligero, forman cada una de las 16 bandas que conforman una fachada de 12m de altura y 94m de largo en un edificio de tres plantas conectadas por escaleras, rampas y pasarelas²⁴.

Estos bloques prefabricados están compuestos (Fig 226.) por dos capas de tapial con aislamiento térmico 17 cm gravilla de espuma de vidrio (Fig 217.) en su interior. Así sus propiedades estéticas y técnicas quedan consrvadas en ambos lados. La tierra compactada procede de Westerwal, de la región Eifel y de tierra obtenida de la excavación de un túnel de la Estación de trenes de Stuttgart.

²⁴ transsolar.com/projects/alnatura-campus



Fig 217. Grava de espuma de vidrio como aislante interior.



Fig 216. Edificio de oficinas Campus Alnatura.

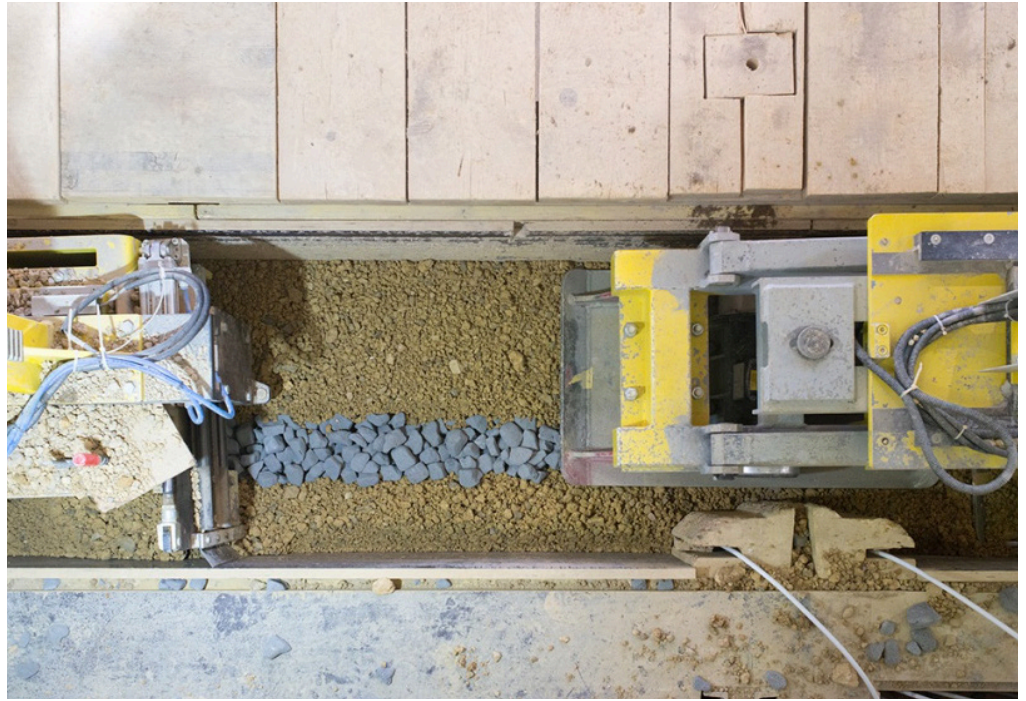


Fig 218, 219. Construcción inicial de la estructura de hormigón armado.

Fig 220, 221. Elaboración de piezas prefabricadas en taller.

Fig 222 - 225. Transporte y colocación de piezas en fachada.

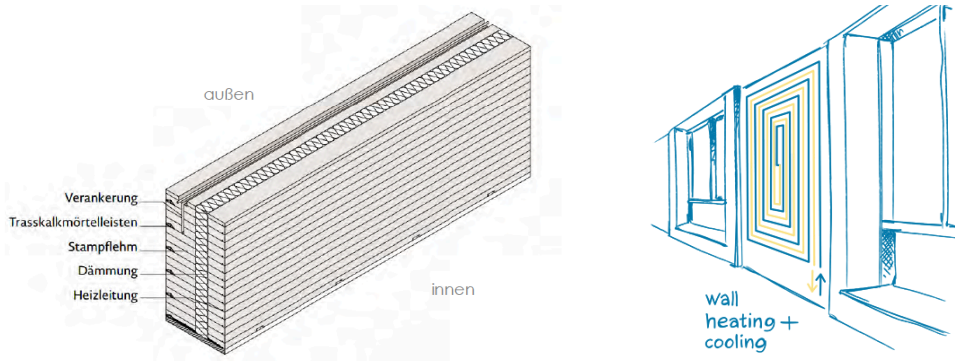


Fig 226. Axonometría, composición del muro prefabricado. Camus Alnatura.

Fig 227. Sistema geotérmico integrado en la capa superficial interna del tapial.

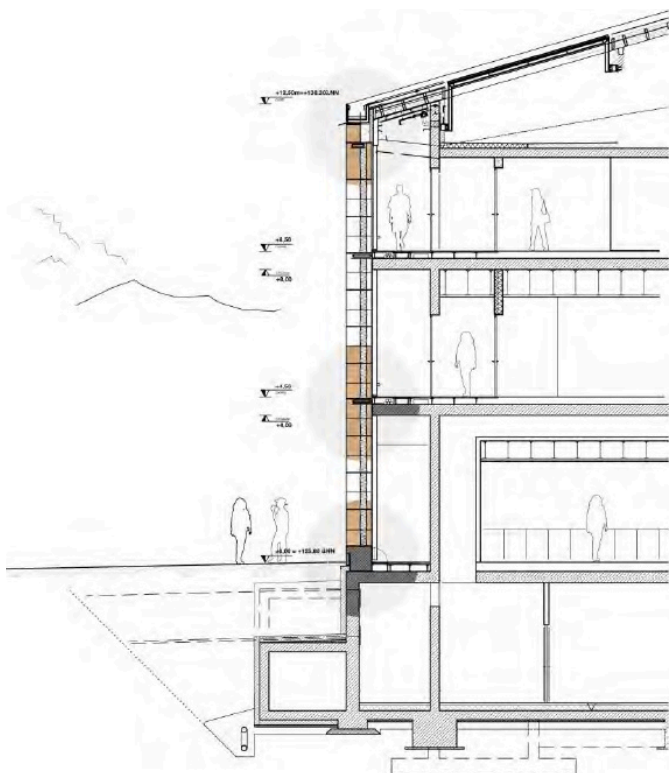
²⁴ transsolar.com/projects/alnatura-campus

Tres sistemas proporcionan energía al edificio, uno fotovoltaico, el otro geotérmico (Fig 227, 228.), este último integrado en las paredes de tapial. Un sistema de pozos canadienses climatiza el edificio, en verano el aire procedente de un bosque cercano es llevado subterráneamente hasta dentro del edificio, en invierno este mismo aire se preacondiciona y estos muros, gracias a su inercia térmica aportan estabilidad a las temperaturas interiores ²⁴.

La porosidad de los muros de tapial, junto con la cubierta de madera ofrecen una buena acústica al edificio, que con plantas diáfanas y un amplio atrio de hormigón visto podría verse dificultada. En adición, el aspecto que confiere el tapial al edificio de oficinas está en concordancia con los valores de sostenibilidad y ecología de la propia empresa.

El tapial prefabricado permite a Martin Rauch investigar un sin fin de cuestiones, sin embargo con estos últimos edificios parece que el tapial está perdiendo fuerza al convertirse en simple paramento exterior. Es por esto que todavía tiene un reto pendiente que abarcar: la integración total de las propiedades estructurales, la integración técnica de instalaciones y la gran plasticidad inicial en los bloques prefabricados.

Fig 228. Sección Campus Alnatura. Encuentros con forjado y losa resueltos con viga de atado de hormigón pobre realizado *in situ*.



2.2.2. CON FUNCIÓN ESTRUCTURAL: Condición estructural en el tapial prefabricado.

²² <https://ethz.ch/en/>

Esta integración de la capacidad estructural en el sistema prefabricado es una meta que Martin Rauch explora con un workshop de la construcción de una **Cúpula de Tierra** (Fig 229.), en 2014, en el ETH de Zúrich, Suiza.

A través de un estudio para realizar un pequeño pabellón únicamente en tapial, los estudiantes del ETH de Zúrich tienen la posibilidad conocer el material en el taller Lehm Ton Erde para llevar a cabo más adelante la construcción de una cúpula de 5m de altura.

La construcción del pabellón está formada por diecinueve componentes prefabricados de tierra compactada levantan una estructura que se eleva desde una base de hormigón en seis arcadas que componen seis bóvedas inclinadas con las que se forma la cúpula completa (Fig 230, 234, 232.). La geometría de las piezas está perfectamente diseñada para ser capaz de absorber todos los esfuerzos trabajando a compresión(*).

La construcción de esta cúpula es posible gracias a la prefabricación de elementos. La construcción de elementos de cubrimiento de tierra se realizaba anteriormente mediante ladrillos y mortero de tierra, esto es debido al mal comportamiento de la tierra a tracción por lo que la construcción de formas abovedadas in situ no sería posible sin elementos prefabricados ²².

Fig 229. Earth Dome Workshop.





Fig 230. Construcción en taller y preparación de piezas para su transporte.

Fig 231. Colocación en obra de bloques prefabricados.

Fig 232. Espacio cubierto.



(*) Al realizar una cúpula similar inspirada en esta en mi estancia en La Escuela de Arquitectura de Nantes, pude probar cómo la compactación de las bóvedas debe realizarse en capas verticales para luego girar la pieza y que actúe únicamente en compresión.

Dotamos a la bóveda de una forma rectangular en su parte superior por si se producía algún esfuerzo oblicuo.



Fig 233. Elaboración propia de encofrado en madera en Nantes.



Fig 234. Compactación y desencofrado.

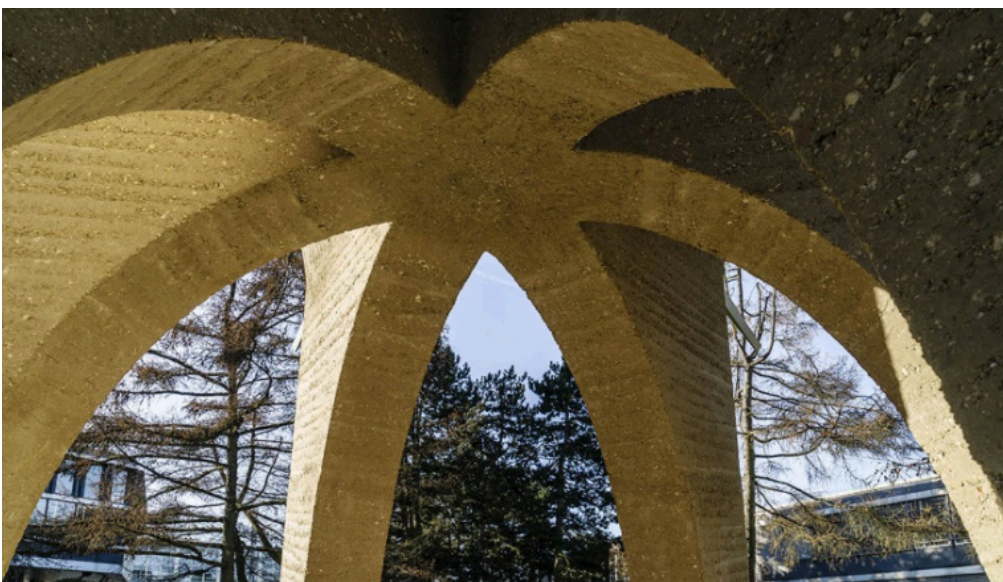


Fig 235. Comprobación de resistencia.

CONCLUSIÓN

LECCIONES APRENDIDAS

La obra de Martin Rauch es reflejo de un trabajo personal que pone de manifiesto la reinterpretación de una técnica tradicional para mejorar las condiciones de vida humanas actuales y que por tanto refuerza la confianza en el uso del material. Consigue integrar los procesos logísticos, técnicos y estéticos en la industria contemporánea de la construcción cumpliendo con cada uno de sus requisitos. Vemos como es un material delicado, por su componente natural, que tratado adecuadamente puede originar construcciones muy interesantes.

Es un trabajo práctico y personal, la construcción con tierra conlleva el aspecto sensorial que no se aprende en libros o escritos, sino a través de la propia experiencia. El trabajo de Rauch, como trayectoria dilatada en el tiempo, me interesa más que el de arquitectos que con buenos resultados han realizado uno o dos proyectos con dicho material. En sus obras muestra cómo es capaz de asumir nuevas metas y responder ante ellas, con mejores o peores resultados, mediante diversas innovaciones técnicas.

Con su arquitectura aboga por una sostenibilidad medioambiental y económica: usa el material de la propia excavación en tal medida como sea posible, potencia la reutilización y reciclaje de los materiales de construcción, que intenta sean materiales locales para reducir costes y contaminación, produce un trabajo de colaboración entre artesanos y gremios locales, no ligados a una industria a gran escala e invierte en mano de obra cualificada para lograr espacios con una alta calidad de aire interior y una buena regulación de la humedad interior. Trabaja en consonancia con los ciclos de vida de la naturaleza, el edificio viene de la tierra y podrá volver a ella. Tiene en cuenta aspectos como la asimilación de una erosión controlada como proceso de construcción y temporalidad de un edificio, en contra de estándares actuales de durabilidad, abriendo un debate acerca de la vida útil de los edificios.

Apuesta por la investigación en cada uno de sus proyectos y va desarrollando diferentes aspectos que consigue integrar progresivamente en construcciones sucesivas. En la parte inicial de su trayectoria profesional opta por desarrollar las posibilidades estructurales y de cerramiento en la construcción del tapial "in situ", mientras estudia la integración de instalaciones en los muros de tapial prefabricado. Logra en el último estudio presentado la simbiosis entre prefabricación de tapial y función estructural. Como próximo reto podríamos especular acerca de la integración total de prefabricación, función estructural e integración de instalaciones en un edificio. Sin embargo, como ya he comentado, considero que el tapial prefabricado pervierte la sinceridad constructiva que perseguía Martin Rauch en sus primeros proyectos, además podría llegar a surgir una industria de ello que sustituyera aspectos como la mano de obra artesana cualificada por su estandarización o la dependencia de una economía globalizada contraria a estos principios.

La arquitectura realizada por Martin Rauch asume la técnica de la disciplina y muestra la intrínseca unión, que a veces queda dividida por decisiones estéticas, entre arquitectura y técnica.

Es de gran satisfacción poder haber conocido el material de primera mano, para luego poder estudiar la obra de Martin Rauch personalmente. A lo largo de un análisis exhaustivo de los proyectos indicados comprendo las ventajas e inconvenientes del material, así como la importantísima función de la artesanía en este tipo de construcción, donde el trabajo del detalle en la construcción es de primera importancia. Adquiero un bagage que espero algún día poder seguir desarrollando, tal vez en mis propios proyectos, pero sin duda en algún voluntariado donde la vivienda sea de primera necesidad.

ANEXOS Y BIBLIOGRAFÍA

ANEXO 1. OBRAS MARTIN RAUCH

VIVIENDA

House for R. Family, Schlins, Austria, 1982-1986, Ampliación:1992- 1996
City garden family K. , Zürich, Switzerland, 1995
Mathies House, Rankweil, Austria, 1993 - 1996
House R., Hard, Austria, 1997
House L. Sublingen, Swiss, 1997
House K., Nüzders, Austria, 1997
House V., Klaus, Austria, 2000
House Kühne, Athen, Greece, 2006
Fulterer Feldkirch, Feldkirch, Austria, 2007
House Rauch, Schlins, Austria, 2005 - 2008
Apartment H., Salzburg, Austria, 2009
In der Letzi, Aküsnacht, Switzerland, 2009
Stable Piazza Pintgia, Almens, Switzerland, 2010
House in Flims, Flims, Switzerland, 2011 ¹³

EDIFICIOS PÚBLICOS

LKH Feldkirch, Feldkirch, Austria, 1992 - 1993
Conference Center, Alpbach, Austria, 1998
Zoological Garden, Basel, Switzerland, 1998-1999
Busstop Thüringen, Thüringen, Austria, 2001
Sihlhölzli Sports Center , Zürich, Switzerland, 2001- 2002
House Cardinal-Schwarzenberg, Salzburg, Austria, 2005
Warehouses St. Gallen, St. Gallen, Switzerland, 2005
Cinema Sil Plaz, Glion/Ilanz, Switzerland, 2009 - 2010
School complex Gönhard, Aarau, Switzerland, 2009 - 2010
Agricultural School Mezzana, Mezzana, Switzerland, 2010 - 2012
Health Spa Bad Schinznach, Bad Schinznach, Switzerland, 2011
School pavillon Allenmoos II, Allenmoos, Zürich, Switzerland, 2011 - 2012
Earth Building for Environmental Education, Merian Gärten, Basel, 2011 - 2012
King Abdulaziz Center, Dhahran, Arabia Saudi, 2010 - 2014
Visitors centre swiss ornithological station, Sempach, Switzerland, 2013 - 2014

ARQUITECTURA SACRA

Chapel of Reconciliation, Berlin, Alemania, 1990-2000
Cemetery provosts residence St. Gerold, St. Gerold, Austria, 1994
Cemetery Wil, Wil, Suiza, 1997 - 1998
Cemetery Schlins, Schlins, Austria, 2001
Cemetery Batschuns, Batschuns, Austria, 2001
Cemetery Hergiswil, Hergiswil, Suiza, 2005
Iglesia Riem, München, Alemania, 2005
Cemetery Fluntern, Zürich, Suiza, 2007
Altenwohnheim Lohbach, Innsbruck, Austria, 2009

Spiritual Centre Embach, Embach, Austria, 2009-2010
Funeral Parlour Jung, Salzburg, Austria, 2009
Cemetery Eschen, Eschen, Liechtenstein, 2012
Bishops tomb Sülchenkirche, Baden-Württemberg, Alemania, 2015-17
Chancel at Worms cathedral, Worms, Alemania, 2017-18

COMERCIAL

Studio Rauch, Schlins, Austria, 1990-94
Printing Plant Gugler, Pielach, Austria, 1998-99
Chesa Valisa, Hirschegg, Austria, 2002
Vigilius Mountain Resort, Lana, Italia, 2003
Vinery La Raia, Novi Ligure, Italia, 2005
Atelier Gassner, Schlins, Austria, 2006
Novartis Campus Park, Basel, Suiza, 2007
Office Building Boltshauser, Zúrich, Suiza, 2009-10
Ricola Herb Centre, Laufen, Suiza, 2012
Alnatura Campus, Darmstadt, Alemania, 2016-17

ARTE

Earthwall, Berlín, Alemania, 2000
The mediated motion, Bregenz, Austria, 2001
The blind pavilion, Pabellón de Dinamarca, 50th Venice Biennale, Italia, 2003
UVEK Bern, Bern, Suiza, 2005-06
Simon Starling, Dornbirn, Austria, 2008
Exposición " Erosion ", Graz, Austria, 2010
Omicron, Klaus, Austria, 2014-15
Martin Rauch, Refined Earth, Budweis, České Budějovice, Czech Republic, 2017

ESTUDIOS

Low Cost Housing, África, 1984 1º premio del concurso "Vivienda de bajo costo en África"
Highway noise-buffering wall, Graz, Austria, 1986-87 1º premio de construcción austriaca
The Earth Centre, Doncaster, Inglaterra, 1996-97
Seestern Hotel, Düsseldorf, Alemania, 1997-99 NO REALIZADO
Test Wall, Schlins, Austria, 2009 - 2010
Living Tebogo, Johannesburg, Sudáfrica, 2005
Handmade School, Rudrapur, Banglades, 2005-06
Kindergarten Baya, Sudáfrica, 2006
Earth Works Workshop, Gmunden, Austria, 2010
MudWorks at Harvard, Cambridge, USA, 2012
Hands-on, Schlins, Austria, 2012
Earth wall in Rankweil Workshop, Austria, 2012
Earth Dome Workshop, Zúrich, Suiza, 2014

ANEXO2. ENTREVISTA AL ARQUITECTO TIMUR ERSEN

Buenos días,

Estoy realizando un trabajo de investigación acerca de la construcción en tierra cruda.

Como os comenté anteriormente, mi tema de estudio específico es la evolución de la técnica del tapial a lo largo de la obra de Martin Rauch.

Es por esto que querría hacerle unas preguntas acerca de su experiencia personal en obra en la construcción de la fábrica Ricola en Laufen:

ISIS: Los arquitectos que concibieron el proyecto son el equipo Herzog y de Meuron. Mi pregunta es si ellos coordinaban la obra o era la labor de Martin Rauch junto a su equipo (al cual usted pertenecía) este trabajo junto con el de construcción.

TIMUR: En efecto, ellos coordinaban toda la obra. Nosotros no realizamos nada más que la parte de la envolvente exterior con los bloques prefabricados, previamente realizados en taller.

ISIS: La obra se desarrolla con bloques de tierra compactada prefabricada en taller. Me pregunto si hay problemas con el cambio de clima, sobre todo en cuestiones de humedad, en el transporte de los bloques desde el taller a la obra.

TIMUR: Simplemente hace falta tener cuidado con la lluvia y si esta ocurre, tapar inmediatamente la parte de la obra que está realizándose. La humedad no es problema

ISIS: En su opinión, ¿prefiere trabajar con la tierra de manera "in situ" en la obra o mediante la prefabricación de piezas en taller?

TIMUR: Personalmente me gustan las dos maneras de trabajar, por lo tanto, prefiero adaptar el tipo de técnica en función de la obra a realizar. Dependiendo también de la época del año, el clima, los plazos a cumplir, la mano de obra del lugar... son factores decisivos y muy diferentes dependiendo del lugar de trabajo.

ISIS: ¿Por qué hay partes en el proyecto donde el muro está constituido con una doble hoja de ladrillos? ¿Podría explicarme si estos están atados a los bloques de tierra o si simplemente se unen con la estructura de hormigón?

TIMUR: Los ladrillos están atados a los pilares de hormigón armado, siendo independientes los bloques de tierra de estos otros. Esto es importante por los movimientos que se puedan dar en la tierra. Es la zona de las oficinas la que consta de una doble hoja de ladrillos y la que posee aislamiento entre ellas.

ISIS: Tengo una duda en cuanto a la forma de unión de los bloques de tierra con la estructura de hormigón. Según la documentación que he leído y lo que has comentado previamente, el movimiento en los

bloques de tierra está permitido. ¿Cómo sucede esto?

TIMUR: Los bloques de tierra poseen una endidura en su parte superior, en ella se embeben unas piezas metálicas mediante las cuales se va arriostrando la estructura. El movimiento horizontal está restringido. Sin embargo el movimiento vertical está autorizado gracias a unos dispositivos correderos que se deslizan en altura en los pilares de hormigón.

ISIS: Los bloques prefabricados situados en la primera fila, es decir, los que están en contacto directo con los muros de hormigón de la cimentación, ¿existe una manera específica para resolver las juntas entre los diferentes materiales?

TIMUR: No hay ningún problema en particular con ellos, la junta se realiza con mortero de cal. Además el zócalo de hormigón armado está aislado con una pintura.

ISIS: Hablando de las juntas, ¿es necesario invertir mucho tiempo de trabajo manual en la obra para resolver las juntas entre los bloques prefabricados y llegar a un acabado como el que vemos? Apenas se perciben, ¿podríamos considerar esta labor casi más como un trabajo de artesanía?

TIMUR: Sí, podríamos decir que es un trabajo tedioso en el cuál se invirtieron varios meses. En esta parte yo no participé porque me fui de la obra en ese momento.

ISIS: He aprendido que en todo elemento construido con tierra cruda y expuesto al aire libre existe una erosión, en el caso de Martin Rauch una erosión controlada, pero ¿estas juntas también soportan esta erosión?, ¿o necesitan de un mantenimiento?

TIMUR: Las juntas no están más sujetas a la erosión que el resto de la fachada. A través de un trabajo manual se rellenan con la misma mezcla y además los bloques están unidos tanto vertical como horizontalmente con un mortero de cal. Hay un trabajo de mantenimiento a realizar en todo el edificio con el fin de su sostenibilidad y duración en el tiempo, pero esto concierne todas las partes del edificio y técnicas de construcción en él empleadas..

ISIS: Para terminar, ¿cómo es la experiencia de trabajar con Martin Rauch, uno de los maestros actuales de la construcción en tierra? ¿Le han permitido desarrollarse profesionalmente los conocimientos aprendidos práctica y sensorialmente en la obra?

TIMUR: Fue todo un placer y aprendí muchísimo. Fue el momento en el que me inicié en la técnica del tapial, estuve trabajando durante ocho meses con Martin Rauch y desde ese momento me he ido formando solo llevando a cabo trabajos por mi mismo.

Gracias por sus respuestas, es un honor y una gran ayuda poder contactar con usted y tener así una opinión personal de una experiencia de este nivel.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

GAUZIN-MÜLLER, Dominique. 2017. *Architecture en terre d'aujourd'hui*. Édition augmentée.

KAPFINGER, Otto & SAUER, Marko. 2015. *Martin Rauch, Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth*.

KAPFINGER, Otto & RAUCH, Martin. 2001. *Rammed Earth*. Birkhäuser, Basel.

BOLTSHAUSER, Roger & RAUCH, Martin. 2010. *THE RAUCH HOUSE | A Model of Advanced Clay Architecture*. Basel.

MINKE, Gernot. 2005. *Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. 2ª ed. Castellano.

LE TIEC, Jean-Marie & PACCOUD Grégoire. 2006. *Pisé H2O, De l'eau et des grains pour un renouveau du pisé en Rhône-Alpes*. Grenoble: CRAterre-ENSAG.

Revistas

BESTRATEN, S.; HORMÍAS, E. & ALTEMIR, A. 2011. Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de la Construcción* (julio-septiembre): Vol 63, 523, 5-20.

FONT, F & HIDALGO, P. 2011. La tapia en España. Técnicas actuales y ejemplos. *Informes de la Construcción* (julio-septiembre): Vo.. 63, 523, 21-34.

MALDONADO, L. & VELA-COSSÍO, F. 2011. El patrimonio arquitectónico construido con tierra. Las aportaciones historiográficas y el reconocimiento de sus valores en el contexto de la arquitectura popular española. *Informes de la Construcción* (julio-septiembre): Vo.. 63, 523, 71-80.

CID, J, MAZARRÓN, F.R & CAÑAS,I. 2011, Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción* (julio-septiembre): Vol. 63, 523, 159-169.

FERNANDEZ- GALIANO, Luis. 2017. Herzog & de Meuron 2013-2017. *AV Monografías* 191-192

Tesis

YUSTE, Beatriz. 2010. Arquitectura de tierra, caracterización de los tipos edificatorios. Máster en Arquitectura Energía y Medio Ambiente. Dirección Barbeta, Gabriel. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Sitios Web

www.kere-architecture.com. (consultado el 8 de abril)

<http://www.lehmtonerde.at/en/> (consultada el 10 de junio de 2019).

<https://www.youtube.com/watch?v=1K99mrBIV04&list=PLwCO0mgaiqyPnr3cG7ZZkW8lipdsXklC5> (video consultado el 10 de junio de 2019)

https://www.youtube.com/watch?v=YQJlxe_03Cw&list=PLwCO0mgaiqyPnr3cG7ZZkW8lipdsXklC5&index=3&t=294s (video consultado el 10 de junio de 2019)

<https://www.youtube.com/watch?v=HtZHDOAVnFA&list=PLwCO0mgaiqyPnr3cG7ZZkW8lipdsXklC5&index=4&t=2259s> (video consultado el 10 de junio de 2019)

<https://www.youtube.com/watch?v=VOYXGv0p6E0&list=PLwCO0mgaiqyPnr3cG7ZZkW8lipdsXklC5&index=6&t=612s> (video consultado el 10 de junio de 2019)

<https://www.youtube.com/watch?v=z5M7KG5EnB0&list=PLwCO0mgaiqyPnr3cG7ZZkW8lipdsXklC5&index=9&t=0s> (video consultado el 10 de junio de 2019)

www.craterre.org. (consultado el 20 de junio)

www.vier.es/ (consultado el 20 de junio)

www.arquitectura.edraculturaynatura.com (consultado el 20 de junio)

www.anna-heringer.com. (consultado el 2 de agosto)

www.herzogdemeuron.com. (consultado el 2 de agosto)

www.lehmtonerde.at. (consultado el 2 de agosto)

www.arquitecturayempresa.es/noticia/rascacielos-de-barro-shibam (consultado el 2 de agosto)

Tectónica. PRIETO, Nuria. 2013. Escuela Allenmoos II. Zurich, Suiza. Boltshauser Architekten, 2009-2012. <https://www.tectonica.archi/projects/escuela-allenmoos-ii> (consultada el 5 de agosto de 2019)

<https://www.mlzd.ch/projects/auswahl/vos/> (consultado el 6 de agosto)

<https://inspiration.detail.de/> (consultado el 6 de agosto)

<https://www.plataformaarquitectura.cl/> (consultado el 6 de agosto)

Tectónica. LOPEZ COTELO, B. 2013. Casa Rauch, Schlins, Austria. Roger Boltshausen + Martin Rauch. www.tectonica.archi/projects/casa-rauch (consultada el 10 de agosto de 2019).

Tectónica. LOPEZ COTELO, B. 2013. Edificios auxiliares para Instalaciones Deportivas en Sihlhölzli Zúrich, Suiza. Boltshausen Architekten, 2002. <https://www.tectonica.archi/projects/edificios-auxiliares-para-instalaciones-deportivas> (consultada el 10 de agosto de 2019).

<https://www.youtube.com/watch?v=kV9UbJANvAk> (video consultado el 15 de agosto de 2019)

www.asterre.org. (consultado el 15 de agosto)

<https://www.zoobasel.ch/en/> (consultado el 20 de agosto)

<http://mizuchi02.blog129.fc2.com/blog-entry-5343.html?sp> (basilea zoo) (consultado el 20 de agosto)

<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/pozo-canadiense/> (consultado el 20 de agosto)

<https://www.ricola.com/fr/a-propos-de-ricola/entreprise/valeurs/architecture> (consultado el 20 de agosto)

<https://www.maxfrank.com/intl-en/index.php> (consultada el 25 de agosto)

www.haascookzemrich.com (consultada el 25 de agosto)

<https://www.alnatura.de/de-de> (consultada el 25 de agosto)

<https://transsolar.com/projects/alnatura-campus> (consultada el 25 de agosto)

Otros

TUTOR VICENTE, Miguel. 2015. La recuperación de la tierra pisada en la arquitectura contemporánea. Trabajo de Fin de Grado, Grado en Arquitectura, Dirección Santiago Carroquino Larraz, Escuela de Arquitectura e Ingeniería, EINA, Zaragoza.

CATALÁN DÍEZ, Raquel. 2018. Construcción con tierra, reinterpretación de una tradición. Trabajo de Fin de Grado, Grado en Arquitectura, Dirección Alberto Ballarín Iribarren, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

DI PAOLI, R. 2019. Apuntes de la asignatura Matières à construire: Construction en Terre Crue. École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, ENSA.

RAUCH, Martin., & HERINGER, Anna. 2012. Conferencia "Mud-Works: A Different Shade of Green". Harvard.

PÉREZ MARTÍN, Isis. 2019. Entrevista telefónica a ERSEN, Timur. España-Francia (agosto).

Referencias de las imágenes

Figura 1, 2, 3. DI PAOLI, R. 2019. Apuntes de la asignatura Matières à construire: Construction en Terre Crue. École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, ENSA.

Figura 4. <https://phototheque.bibliotheque-diderot.fr/>

Figura 5. Fuente propia. Fotografía Vannes 2019.

Figura 6. KAPFINGER, Otto & RAUCH, Martin 2001. Rammed Earth. Birhäuser, Basel.

Figura 7. LE PAIH, Amélie. 2019. Apuntes de la asignatura Matières à construire: Construction en Terre Crue. École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, ENSA.

Figura 8. <https://luigirosselli.com/residential/the-great-wall-of-wa>

Figura 9. <https://www.amc-archi.com/photos/>

Figura 10. <http://vier.es/piscina-toro-ficha/>

Figura 11. <http://arquitectura.edraculturaynaturaynature.com/portfolio-item/casa-de-tapial/>

Figura 12. <http://www.kere-architecture.com/projects/primary-school-gando/>

Figuras 13- 26, 28, 29, 31- 35, 37- 42, 45- 48, 233- 235. Elaboración propia. 2019, ENSA Nantes.

Figura 27. <http://www.anna-heringer.com/index.php?id=31>

Figura 30. <http://www.kere-architecture.com/projects/school-library-gando/>

Figura 36, 52. <https://www.plataformaarquitectura.cl/>

Figura 43, 49, 53- 56, 58, 59, 63, 66, 67, 74, 76, 92, 96, 98, 99, 106, 107, 112- 115, 123, 125, 134, 160- 163, 173, 174, 179, 190, 191, 211, 215, 220- 222, 225, 229- 232. <http://www.lehmtoneerde.at/en/>

Figura 44. <https://www.studiogardere.com/en/projects/museum/museum-antique-de-narbonne/>

Figura 50. http://www.cannabric.com/catalogo/btc_bloque_de_tierra_comprimido/

Figura 51. <http://control-zeta.org/archives/1908>

Fig 63. Elaboración propia.

Figura 122. <https://www.zoobasel.ch/de/index.php>

Figuras 126- 128, 130, 135, 137- 140, 142, 149- 154. <https://www.tectonica.archi/projects/edificios-auxiliares-para-instalaciones-deportivas>

Figura 57, 60, 61, 66, 68- 73, 75, 77- 88, 97, 100- 105, 110, 111, 116- 121, 164-172, 175- 178, 180- 182. KAPFINGER, Otto & RAUCH, Martin 2001. *Rammed Earth*. Birkhäuser, Basel.

Figura 62, 64, 65, 89, 94, 95, 108, 124, 130- 133, 143- 145, 194, 205, 206, 209, 210, 212- 214. KAPFINGER, Otto & SAUER, Marco. 2015. *Martin Rauch, Refined Earth: Construction & Design with Rammed Earth*.

Fig 90, 91, 93. <https://www.youtube.com/watch?v=kV9UbjANvAk> (video consultado el 15 de agosto de 2019)

Figura 136, 141, 146-148, 155, 157- 159. BOLTSHAUSER, Roger & RAUCH, Martin. 2010. *THE RAUCH HOUSE | A Model of Advanced Clay Architecture*. Basel.

Figura 183, 207, 208. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/768016/ricola-krauterzentrum-herzog-and-de-meuron>

Figuras 184- 187, 189, 192, 193, 195- 198, 201- 204. <https://www.timurersen.com>

Figuras 199, 200. FERNANDEZ- GALIANO, Luis. 2017. Herzog & de Meuron 2013-2017. *AV Monografías* 191-192

Figuras 216, 226, 227, 228. <https://transsolar.com/projects/alnatura-campus>

Figura 217, 223. <https://www.alnatura.de/de-de/ueber-uns/alnatura-campus>

Figura 218, 219, 224. <https://www.maxfrank.com/intl-en/index.php>

