

Vista general de la Casa Yamamura restaurada (foto:Yodogawa Seikoshō)

## La restauración de la Casa Yamamura de Frank Lloyd Wright

Hidekazu Nishizawa\*

**La Casa Yamamura, proyectada por el arquitecto en 1918 para un solar ubicado en Ashiya (Hyogo), se aleja en su diseño del resto de su obra japonesa para acercarse a las características de su etapa californiana. Su singularidad se reflejó en su declaración como Bien de Interés Cultural en 1974, como primer edificio de la era Taisho (1912-1926) que recibía tal distinción. A principios de los años ochenta, la casa, en estado de desidia, fue objeto de estudio y restauración. Posteriormente, el terremoto de Kobe de 1995 afectó seriamente al edificio, de manera que se debió emprender una nueva restauración que constituye el contenido principal de este artículo.**

*Restoration of Frank Lloyd Wright's Yamamura House.* Yamamura house, designed by the architect in 1918 for a site located in Ashiya (Hyogo), is rather different in design from the rest of his work in Japan and closer to the characteristics of his work in California. Its singularity was reflected in its being appointed an Asset of Cultural Interest in 1974, the first building of the Taisho era (1912-1926) to receive this distinction. In the early eighties, the house, which was in a state of neglect, was subjected to study and restoration. Later the Kobe earthquake seriously damaged the building in 1995, so new restoration works had to be carried out, and these are the subject matter of this article.

\*Hidekazu Nishizawa es profesor del departamento de Estructura, Construcción Tradicional, Conservación y Proyecto de Restauración de la Universidad de Kyoto  
 NOTA: La publicación de este artículo no hubiera sido posible sin la generosa colaboración de Ishikawa Shintaro y Yayoi Kawamura

## DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

La Casa Yamamura, ubicada en la localidad de Ashiya, se asienta directamente sobre la cresta de una colina, aprovechando la orografía existente. Posee cuatro plantas en total, que se encuentran distribuidas en los tres cuerpos que configuran el conjunto del edificio: el pabellón sur posee dos plantas, el pabellón central otras dos plantas, y el pabellón norte una sola. El pabellón sur linda en el extremo meridional con un precipicio y en el extremo septentrional con el pabellón central, del cual está separado por una suerte de junta de dilatación que independiza los movimientos de ambos cuerpos en caso de terremoto. Asimismo, el pabellón norte posee un ángulo de 30 grados respecto al pabellón central del edificio, seguramente para adaptarse a la orografía del terreno.

La distribución en planta se organiza de la siguiente manera: en la planta baja se ubica una entrada con un porche abierto al paisaje; la primera planta cuenta con una sala de visitas y un almacén; la segunda planta alberga en el pabellón central tres habitaciones de estilo japonés, con pavimento modular de tatamis, y un pasillo de servicio a éstas en el flanco oeste y, en el pabellón norte, dos habitaciones de estilo europeo y tres de carácter híbrido, además de los servicios; y, por último, en la tercera y última planta se encuentra el comedor y la cocina.

La Casa Yamamura está construida con una curiosa combinación de los siguientes materiales: hormigón armado para las zonas estructuralmente más comprometidas; hormigón en masa prefabricado en obra en delgados bloques y después aparejado en muros de abundantes tendeles; y, por último, entramados de bambú enlucidos con mortero de tierra y cal para la tabiquería interior. La cubierta es plana y posee grandes aleros. Los característicos muros exteriores de cubierta ligeramente inclinados hacia el interior están contruidos en hormigón armado guarnecido con mortero de barro enriquecido con cal y enlucido finalmente con un mortero de cemento coloreado. En los extremos de los aleros y alrededor de las ventanas se puede observar la ornamentación característica de la arquitectura de Wright realizada en piedra de Oya, una toba volcánica que descubrió durante la construcción del Hotel Imperial y que llegó a ser muy apreciada por el arquitecto.

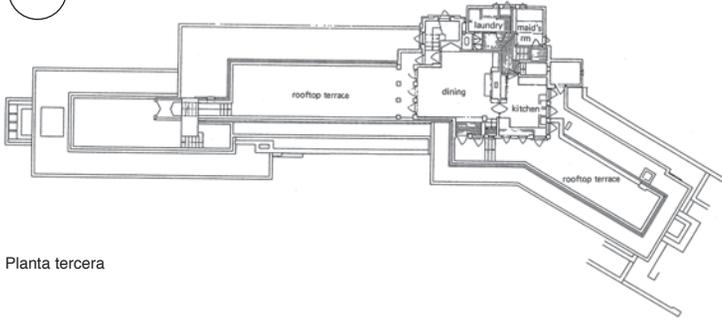
### El solar del edificio y el terremoto de Kobe

El terremoto denominado de Kobe, que afectó al sur de la provincia japonesa de Hyogo, tuvo lugar en la madrugada del 17 de enero de 1995 y alcanzó una intensidad de 7,2 grados de magnitud en la escala de Richter. El epicentro se ubicó en la localidad de Hokudan, en las isla de Awaji. Sin embargo, una de las fallas activas asociada a este epicentro denominada Rokko Danso discurre a 150 m de la Casa Yamamura, circunstancia que sometió al edificio a mayores daños de los que en un principio la distancia al epicentro cabría augurar. La meseta de Ashiya se ubica en la ribera izquierda del río del mismo nombre, que pertenece al sistema montañoso Rokko.

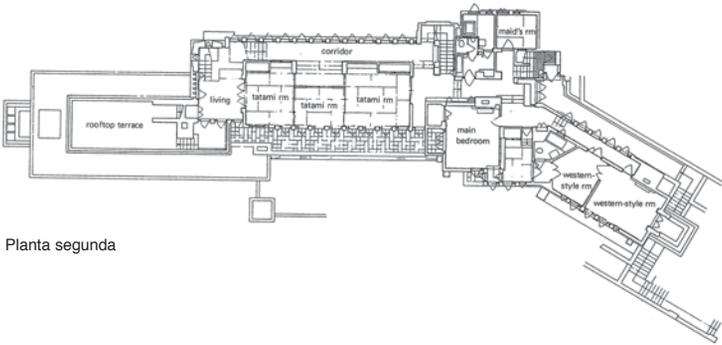


1

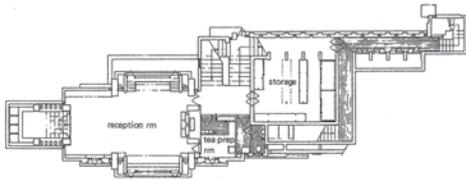
1. Fotografía histórica de la Casa Yamamura con el Monte Rokko de panorama de fondo



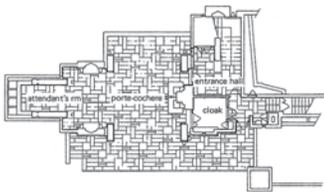
Planta tercera



Planta segunda

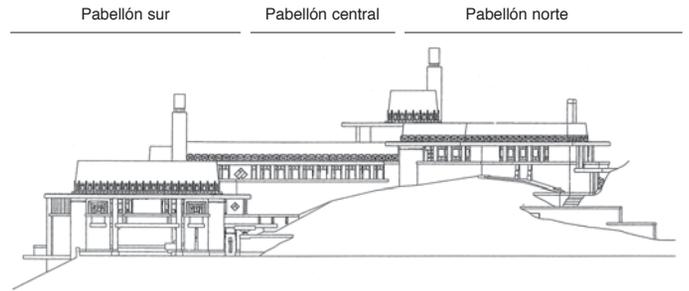


Planta primera



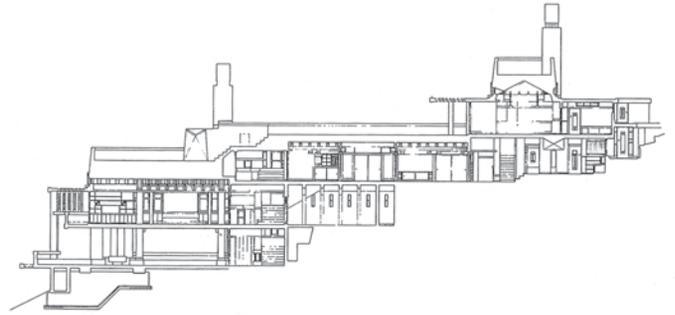
Planta baja

2



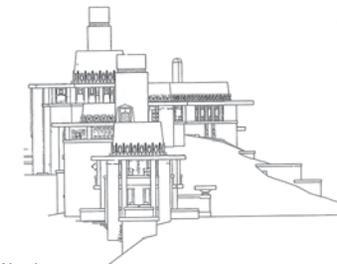
Alzado este

3



Sección longitudinal

4



Alzado sur

5

- 2. Plantas de distribución de la Casa Yamamura
  - 3. Alzado este
  - 4. Alzado sur
  - 5. Sección longitudinal según el eje norte-sur
- Fuente de los planos: *Architectural Research Association*

El solar del edificio, posee una configuración alargada y estrecha, orientada de norte a sur y flanqueado a un lado por el río Ashiya y por el otro por la carretera provincial Ashiya-Arima. El terreno está en pendiente hacia el oeste y hacia el sur, donde se abre un barranco hacia el magnífico paisaje que domina desde su atalaya. Un sondeo realizado al este del solar, a diez metros del centro del pabellón sur del edificio, detectó la existencia de otras fallas activas del grupo Osaka bajo el mismo a una profundidad variable de entre 2 y 8 metros. La composición del terreno es la siguiente: los primeros 30 cm están formados por tierra de aportación. Desde esta cota hasta la cota -2 m se encuentra tierra erosionada por las fallas Osaka junto con múltiples raíces vegetales. Desde la cota -2 m hasta la cota de -10 m el terreno consiste en una mezcla de arcillas y arenas.

## DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS PROVOCADOS POR EL TERREMOTO

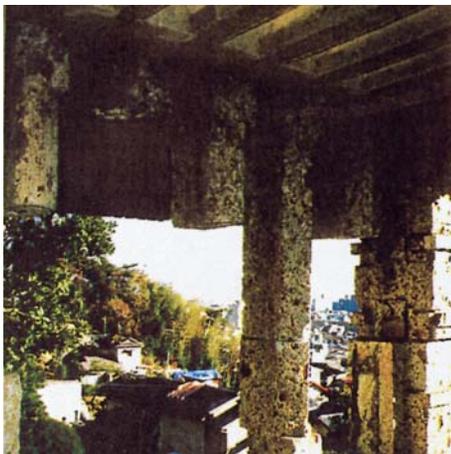
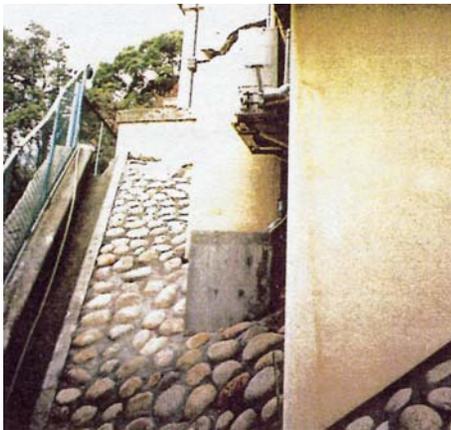
Para facilitar una aproximación inmediata a la comprensión y lectura de las lesiones del edificio, las grietas fueron clasificadas con las letras A, B, C y D, según su anchura, a saber: A (inferior a 1 mm), B (entre 1 y 5 mm), C (entre 5 y 10 mm), y D (mayor de 10 mm).

**Lesiones en las losas de forjado.** En las plantas del edificio adjuntas (fig. 10) se muestra la distribución de las lesiones provocadas por el terremoto de Kobe en la solera y forjados de la Casa Yamamura, que se pasan a describir:

- En la solera de planta baja, se observó la existencia de pequeñas fisuras de clase A en los adoquines del porche de la planta baja del pabellón sur del edificio, cuya aparición pudo haber surgido de manera previa e independiente del terremoto. También se grafía la presencia de lesiones de clase C causadas por el terremoto en la losa de cimentación de hormigón armado del trastero de planta baja.
- En la losa de forjado de la planta primera, no se registraron daños singulares excepción hecha de cuatro lesiones de clase A transversales a la sala de visitas del pabellón sur del edificio, y de lesiones de clase B y C correspondientes al almacén y al desembarco de la escalera en este nivel.
- En la losa de forjado de la planta segunda, surgieron lesiones de clase A y B en las habitaciones de estilo japonés y en la sala meridional adyacente. Igualmente surgieron lesiones de clase B en la losa del pasillo ubicado entre el pabellón central y el pabellón norte del edificio.
- En la losa de forjado de la planta tercera, las lesiones del comedor eran leves.
- En la losa del alero perimetral de la casa, una vez retirada la capa impermeabilizante, se pudo observar la presencia de un gran número de pequeñas lesiones, que no existían años antes, cuando se realizó la primera intervención de restauración del edificio, lo cual permitió inducir su origen directo en el terremoto.



6 y 7



8 y 9

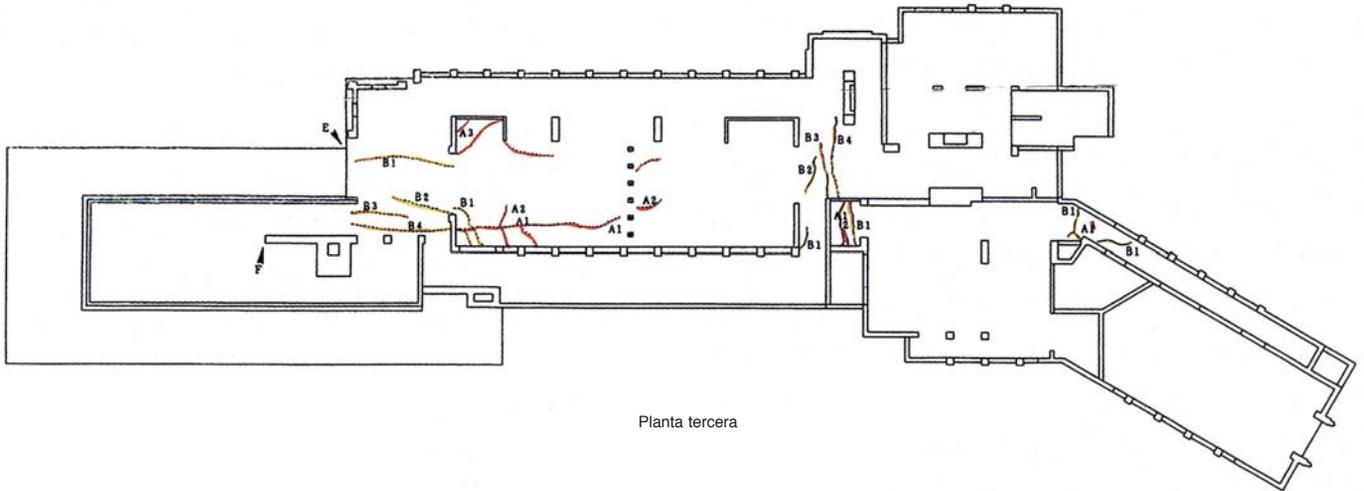


De la descripción aportada, se puede observar que las lesiones estructurales de tipo C se concentraban en la solera de la planta baja y en la losa de forjado de la planta primera. El hormigón de estas dos zonas no poseía resistencia suficiente, ya que carecía de armadura en el primer caso y poseía únicamente 8 cm de espesor en el segundo. Por otra parte, las lesiones aparecidas en las habitaciones de estilo japonés y de la sala meridional adyacente de la planta segunda correspondían a una losa de forjado que poseía únicamente 6 cm de espesor y estaba armada con redondos de 6 mm de diámetro afectados por la corrosión. No obstante esta circunstancia, apenas existían lesiones provocadas por el esfuerzo cortante en la losa. Cabe deducir que los muros resistentes de hormigón armado equidistribuidos en esta zona absorbieron con facilidad este esfuerzo cortante y evitaron mayores daños. Por el contrario, en la losa, las lesiones dominantes son debidas a la flexión por la ausencia de armadura suficiente y la acción combinada de las flechas en el alero y en el centro del vano en las habitaciones de estilo japonés.

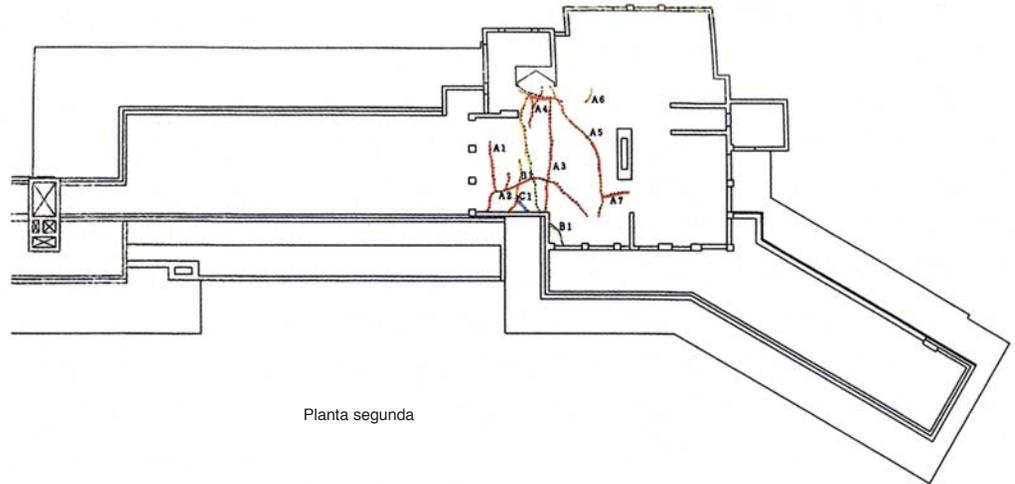
**Lesiones en el cerramiento.** En los planos adjuntos (figs. 11, 12, 13) correspondientes a las fachadas del edificio se han graficado las lesiones existentes, que muestran mayor gravedad en el pabellón sur del edificio y disminuyen de envergadura conforme nos acercamos al pabellón norte. A continuación, se describe la tendencia dominante en las lesiones.

En el pabellón sur del edificio, en la planta baja, surgieron unas lesiones estructurales singulares en el muro de la zona de espera y en el extremo sur del porche junto al balcón de remate. En la planta primera, la piedra Oya de los machones y los muros de contrafuerte que sustentan la sala de recepción que se extiende sobre el porche estuvieron sometidos a esfuerzos laterales que provocaron lesiones estructurales que los seccionaban en sentido diagonal.

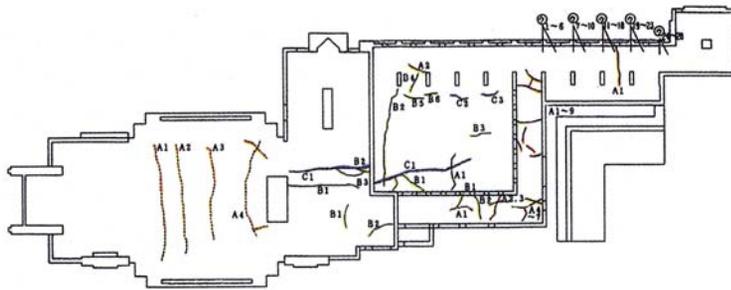
Por otra parte, se registró la aparición de un gran número de lesiones de clase B en el muro sur y oeste de la escalera principal (fig. 13-D), que indican que el pabellón sur del edificio basculó como un cuerpo rígido teniendo como centro de rotación la zona de la escalera. La losa del forjado del pabellón sur del edificio empujó el muro meridional de la escalera hacia el norte. Estos movimientos permitieron constatar que el pabellón sur y el pabellón central del edificio se unen sólo por las losas de la planta primera y de la azotea. También se pudo aclarar que la escalera que da acceso a la azotea, que se sitúa de charnela entre el pabellón sur y el pabellón central del edificio, forma parte del segundo y se monta sobre el primero, por lo que el pabellón sur y el pabellón central del edificio se separaron estructuralmente. Incluso cabe deducir que la abertura (fig. 11-G) existente junto a los muros del pabellón central del edificio desempeñaba un deliberado rol antisísmico.



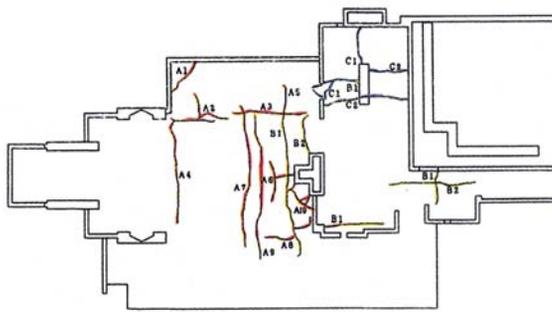
Planta tercera



Planta segunda



Planta primera



Planta baja

10

6. Vista del extremo de la fachada sur con el machón izquierdo en piedra de Oya completamente quebrado
7. Lesión del machón oeste del pabellón sur del edificio
8. Aspecto de los maineles lesionados en piedra de Oya de la coronación del pabellón sur
9. Vista de las lesiones horizontales en la base del flanco oeste del pabellón sur
10. Mapeo de las lesiones en las losas de forjado provocadas por el terremoto de Kobe en la Casa Yamamura y clasificación de las mismas en función de su tipo y gravedad

Dado que el enlucido exterior de mortero de los cerramientos del edificio carece de cualquier tipo de junta, se pensaba que el mortero se había aplicado directamente sobre los muros de hormigón. Sin embargo, no resultaba verosímil que un cerramiento exterior acabado con un enlucido de mortero que ostenta más de 25 m de longitud no mostrara ninguna fisura después de setenta años de existencia. Por esta razón, se analizó minuciosamente la composición del muro original de cuya construcción se extrajeron las siguientes conclusiones:

En un principio, los esbeltos muros de hormigón, realizados con bloques prefabricados in situ de poco espesor aparejados con abundantes tendeles, recibieron en primer lugar una capa de preparación de 5 mm de espesor de mortero. A esta primera base le siguió un guarnecido de tierra enriquecida con cal y paja triturada, realizado en tres capas, cada vez más sutiles en su granulometría, denominadas en la tradición constructiva japonesa *nakanuri* (la primera capa) y *hannaoshi* (las subsiguientes). Posteriormente, se aplicó una cuarta capa fratasada con un regle, de composición aún más fina y triturada para evitar posteriores grietas y filtraciones. Posteriormente, se finalizó con una nueva capa de enlucido de mortero. El espesor total de este elaborado revestimiento exterior oscila entre 6 y 8 cm.

Se considera que esta sucesión múltiple de capas de mortero, en especial, las pertenecientes a la tradición constructiva japonesa, ha tenido la capacidad de absorber la deformación del cuerpo del edificio, de manera que se ha evitado la aparición de grietas en el cerramiento exterior durante todos estos años de existencia. Y también se puede admitir que, durante el terremoto, la utilización de esta técnica de enlucido con una base amortiguadora de mortero de tierra, cal y paja ha hurtado al cerramiento de abundantes lesiones superficiales, que únicamente surgieron en aquellos lugares donde se concentró especialmente la deformación, como es el caso de los encuentros entre muros.

**Las lesiones horizontales** (fig. 11-H) que nacieron en la parte inferior del muro de la fachada oriental del pabellón norte del edificio derivaron de los abundantes tendeles de los bloques prefabricados in situ del hormigón, que en este caso, no poseía armado alguno. Asimismo, surgieron unas pequeñas lesiones verticales en la chimenea del pabellón central del edificio y unas lesiones laterales en la chimenea del pabellón sur del edificio. Se confirmó que las primeras lesiones correspondían a la corrosión y dilatación de la armadura principal a causa de la esbeltez de las paredes y escaso recubrimiento de la misma. En el caso de las segundas, se comprobó en cambio que cabía atribuir su origen a lesiones estructurales causadas por la flexión.

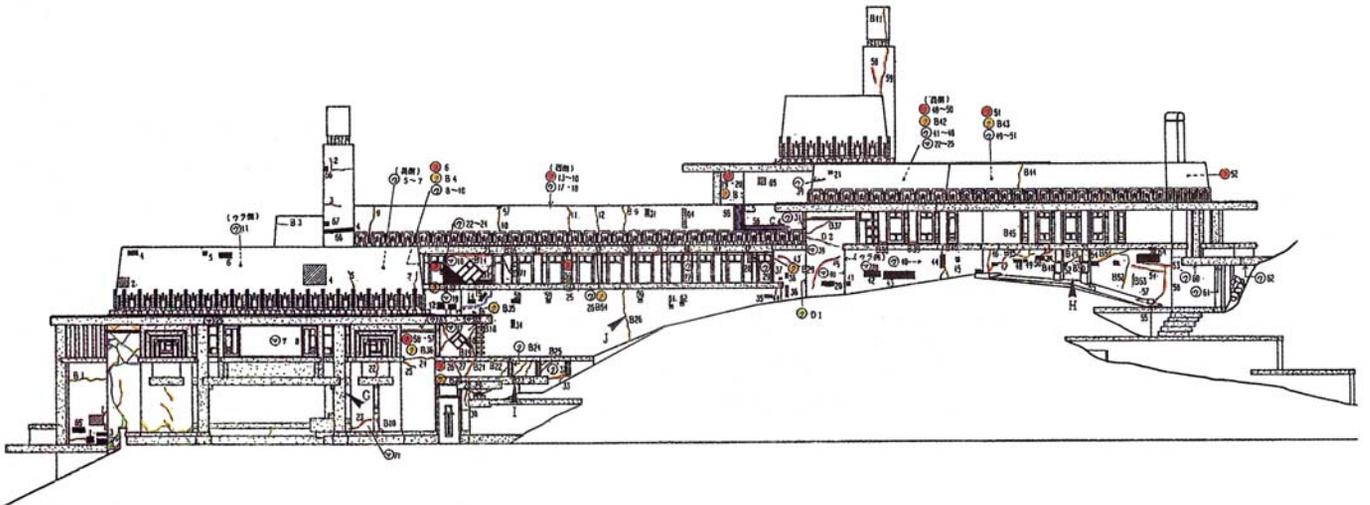
A pesar de una distribución bastante uniforme de la afección del terremoto en el exterior del edificio, se puede observar la mayor gravedad en las lesiones en el pabellón sur, que se debió a las siguientes razones: la menor concentración de soportes en esta zona; la incapacidad de la piedra de Oya para absorber cualquier otro esfuerzo que no fuera la carga perpendicular; e, igualmente, la inaptitud para asumir los esfuerzos laterales del terremoto del soporte del balcón del extremo sur del edificio, expuesto a oscilaciones libres en dirección este-oeste.

---

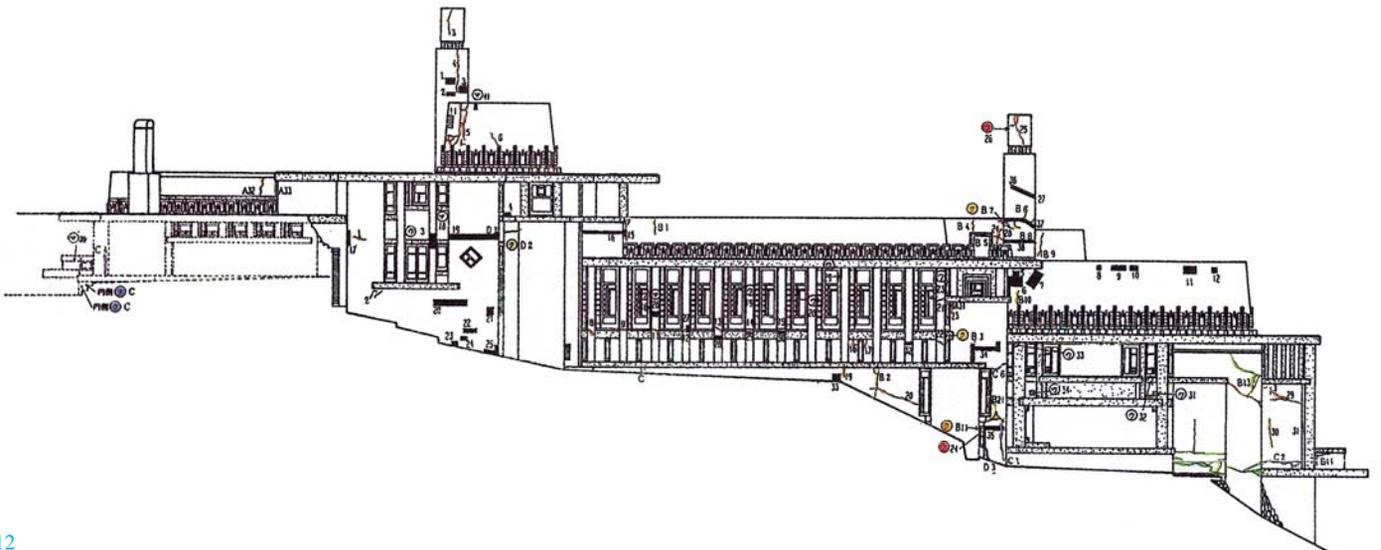
11. Mapeo de las lesiones sobre el alzado este

12. Mapeo de las lesiones sobre el alzado oeste

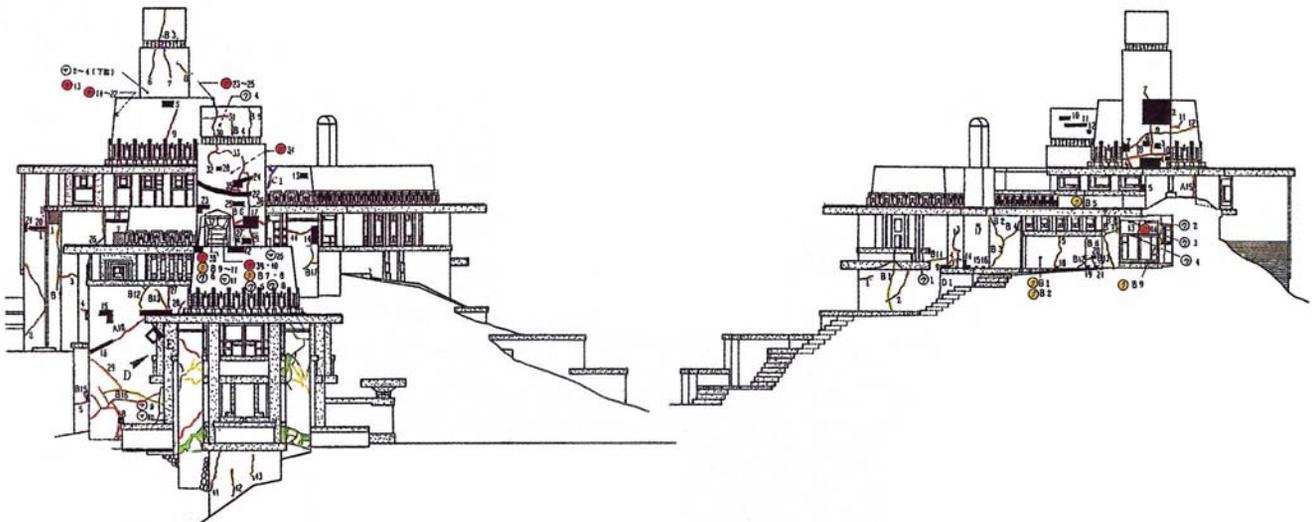
13. Mapeo de las lesiones sobre los alzados sur y norte



11



12



13



14

### Lesiones en el espacio interior

En las figuras 14 a 18 se indica la distribución de las lesiones más representativas del espacio interior, cuya descripción y posibles causas se describen a continuación.

En el muro norte de la entrada a la planta baja, tal como se indica en las figuras 14 y 15, aparecieron los daños más graves en forma de un terrible resquebrajamiento horizontal que dejó a la vista las armaduras del mismo, pero no provocó el hundimiento del terreno circundante. La investigación subsiguiente extrajo las siguientes conclusiones: este muro de hormigón se construyó como muro de contención contra las tierras de relleno del trasdós. En una intervención posterior durante la vida del edificio, se excavaron estas tierras del trasdós y se construyó un muro de ladrillo interno a 60 cm de distancia creando una cámara entre ambos muros, posiblemente por problemas de humedad. El terremoto destruyó el muro de ladrillo por la presión de la tierra y este derrumbe provocó las graves lesiones del muro de hormigón armado. Esta armadura del muro de hormigón mostraba una grave corrosión debida seguramente al contacto del acero con la humedad de la tierra y, por esta razón, la debilidad del muro fue mayor frente al empuje recibido por el derrumbe.

En la figura 16 se indican las lesiones del flanco sur de la escalera principal de la planta primera que, como se ha indicado, se ubica en la junta de charnela entre el pabellón central y el pabellón sur del edificio. En este caso, se desprendió el acabado de la escotilla en la parte superior del muro de la escalera y surgieron lesiones de clase B desde este vano hasta el suelo. La parte desprendida se ubica en la parte posterior de la base del alero oeste del pabellón sur del edificio, como se indica en la figura 13, punto E. Se puede deducir que dicho desprendimiento se debe al choque de la losa del alero con el muro.

En la figura 17 se representa la situación de las lesiones en los muros del flanco norte del pasillo de la primera planta. En este caso, considerando que el muro linda con el terreno, las lesiones surgieron por la curvatura inducida en el muro por el exceso de presión de la tierra.

En el caso del muro este del pasillo de la segunda planta (fig. 18), aparecieron lesiones horizontales a lo largo de la parte inferior de la moldura corrida que crecían hasta alcanzar los 2 cm de anchura en el rincón. Estas lesiones provienen del movimiento relativo de los bloques del hormigón original entre sí. En general, se puede afirmar que las lesiones horizontales del edificio responden todas a este motivo. Las lesiones horizontales de mayor gravedad se ubicaron en aquellos tendeles donde se encontró pinocha que había caído sobre el muro durante la construcción proveniente de los pinos de alrededor, creando una imperfección de futuras consecuencias.

14. Vista del estado de las lesiones en el muro norte de la entrada a la planta baja

15. Mapeo de las graves lesiones en el muro norte de la entrada a la planta baja

16. Mapeo de las lesiones aparecidas en el flanco sur de la escalera principal de la primera planta

17. Mapeo de las lesiones en el flanco norte del pasillo de la primera planta

18. Mapeo de las lesiones en el muro este del pasillo de la segunda planta

## APROXIMACIÓN AL ENTENDIMIENTO DEL EDIFICIO Y FILOSOFÍA DE LA INTERVENCIÓN

### El funcionamiento estructural del edificio y la normativa actual antisísmica

La construcción del edificio (1923-24) fue testigo del Gran Terremoto de la Región Kanto de 1923, que antaño no le afectó por encontrarse a gran distancia de su epicentro. En aquel entonces, la ciencia estaba a punto de comenzar con el estudio serio de los refuerzos antisísmicos necesarios en una estructura de hormigón armado. Por su parte, Frank Lloyd Wright había emprendido en su arquitectura una búsqueda personal estética que recurría al empleo de nuevos materiales de construcción como el acero y el hormigón. De estas circunstancias, se puede deducir que la idea estructural básica aplicada en la Casa Yamamura posee grandes diferencias con la concepción estructural de un edificio en la actualidad. Resulta por tanto difícil estimar la resistencia estructural del edificio, en particular en lo que atañe a sus características antisísmicas, basándose en la aproximación del cálculo antisísmico empleado en nuestros días.

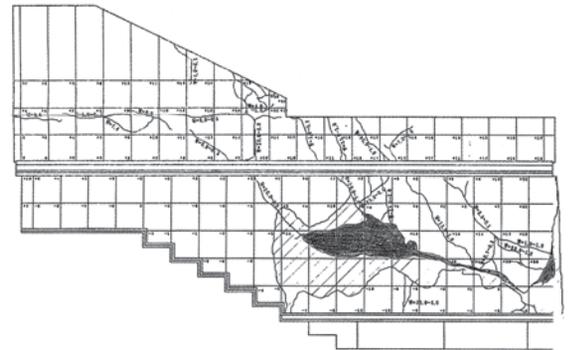
Sin embargo, en aras del respeto a los materiales y técnicas de construcción originales del edificio, se procuró reducir la actuación en el edificio en virtud de la regla de oro que predica la mínima intervención estructural siempre que esto sea posible. Por esta razón, partiendo de la lectura de los daños sufridos por el edificio, del análisis de los materiales y de los test estructurales realizados en laboratorio sobre modelos, se planteó una aproximación al entendimiento de la estructura original del edificio, que nos permitiera respetar en lo posible su configuración.

### Análisis de las patologías y pruebas estructurales

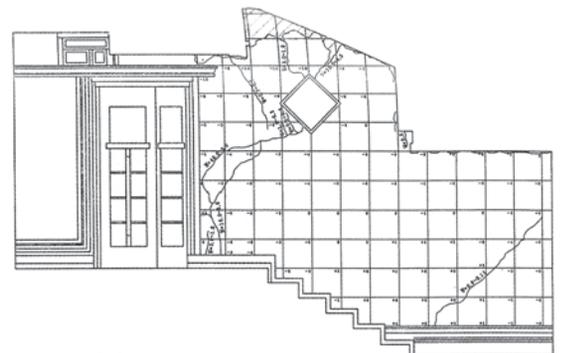
La primera intervención estructural en el edificio, realizada igualmente por el autor de este artículo, se centró en el pabellón sur y fueron realizadas entre 1980 y 1985. Este pabellón sur, situado en el extremo de la cresta de la colina, se había hundido parcialmente debido al asentamiento del terreno. La intervención consistió en el recalce de la cimentación, el alzamiento mediante gatos hidráulicos de la base y la refacción de la losa de hormigón de la primera planta en aras de un refuerzo de la estructura.

La segunda intervención estructural en el edificio derivó de las lesiones producidas por el terremoto de Kobe, acaecido el 17 de enero de 1995. En un primer momento, se emprendió una investigación in situ con carácter urgente para determinar la situación de los daños sufridos, que se reflejó en una documentación fotográfica completa y comentada de las lesiones aparecidas en todo el edificio. Posteriormente, en julio de 1995 se emprendió una investigación detallada sobre la estructura que comprendía los

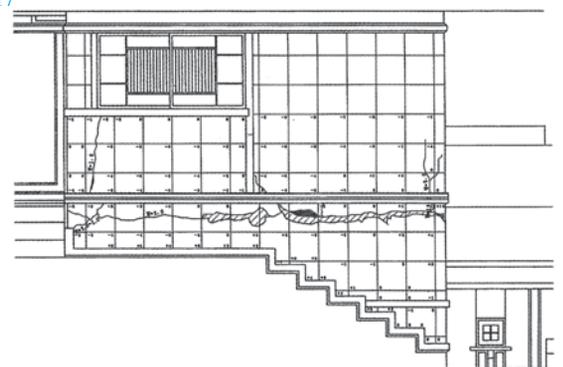
15



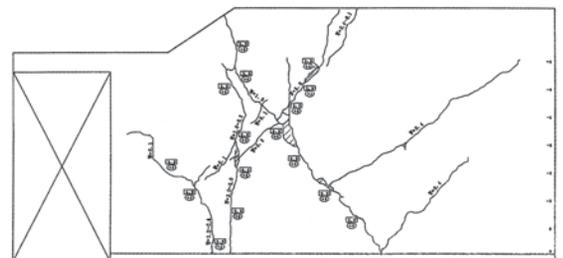
16



17



18



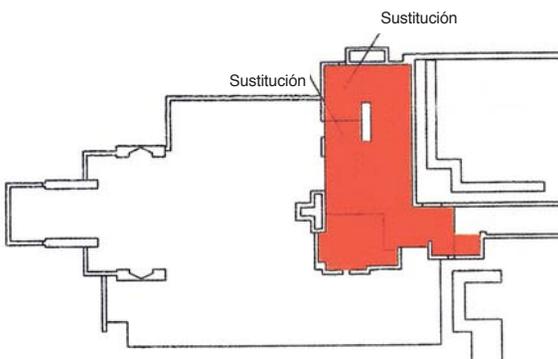
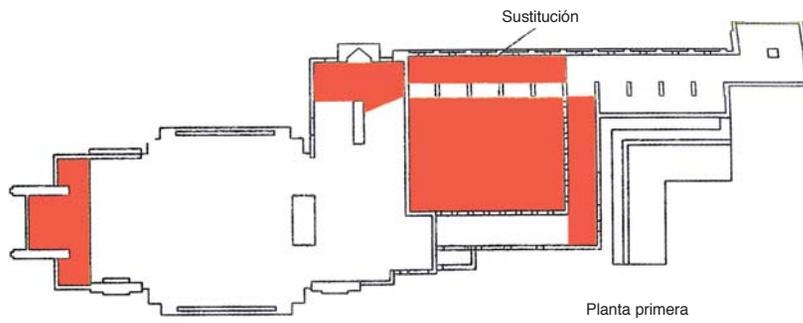
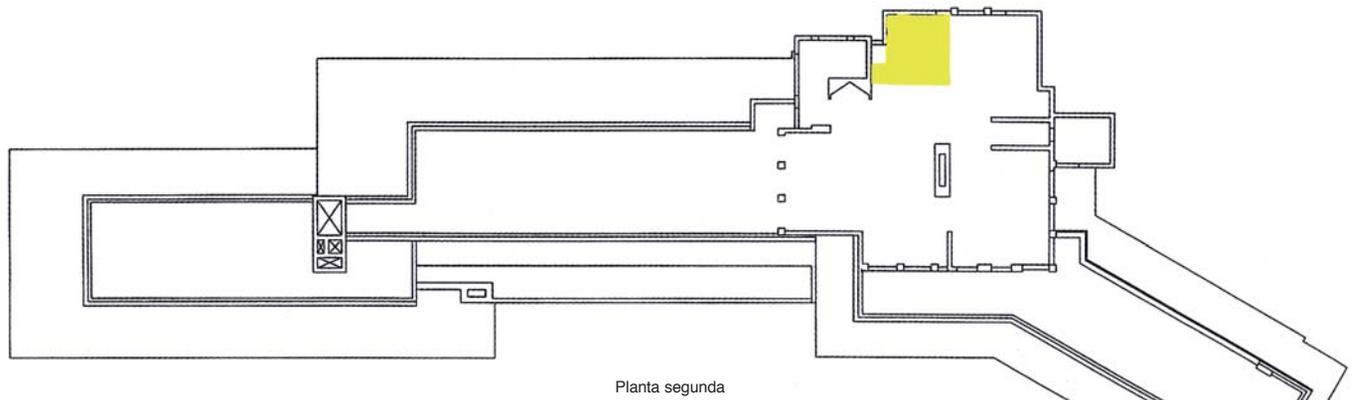
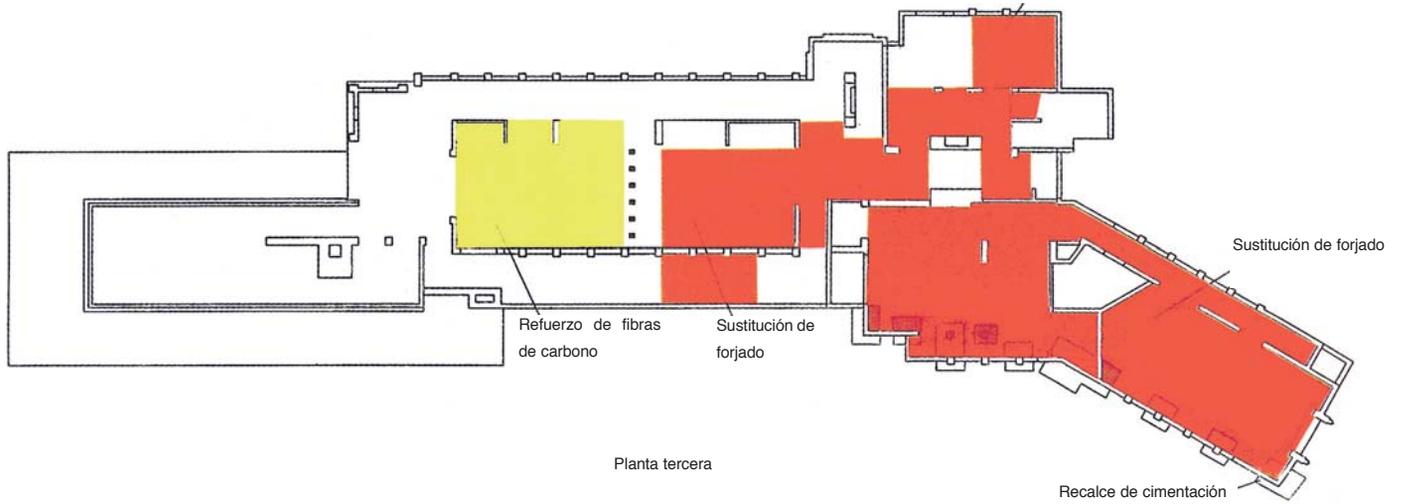
siguientes apartados: investigación de las características del terreno, medición del asentamiento del edificio, elaboración de una planimetría completa de las lesiones, medición de la torsión sufrida en cada parte del edificio, e investigación de las lesiones existentes en el revestimiento tanto interior como exterior.

Igualmente, se realizó un estudio del grado de resonancia de los materiales que componen el edificio y de cada uno de los pabellones respecto al terreno sobre el que se asientan. Por último, se realizaron pruebas de las características físico-químicas y mecánicas del hormigón de la casa. A partir de esta información, se realizó un cálculo estructural preparatorio, se analizó la causa de las lesiones y se decidió la línea de intervención en función de las necesidades y del abanico de opciones posibles para un refuerzo estructural.

Conforme avanzaba la ejecución restitutiva de la complejidad y resistencia de la estructura original, restañando lesiones abiertas por el terremoto, se realizaron diversas pruebas para valorar la capacidad de resistencia a esfuerzos laterales del edificio. Una primera prueba consistió en la comprobación de la fuerza de resistencia lateral del muro de hormigón armado del pabellón sur. Para ponderar la capacidad de absorción de esfuerzos laterales del muro actual, comprometido en su resistencia por los múltiples tendeles de la construcción y la poca cantidad de armadura, se realizó una prueba de resistencia con una muestra del mismo tamaño que el muro real. En esta ocasión, para constatar la completa recuperación de las lesiones provocadas por el terremoto, se realizaron experimentos de inyección con varios tipos de mortero y refuerzos de fibras de carbono.

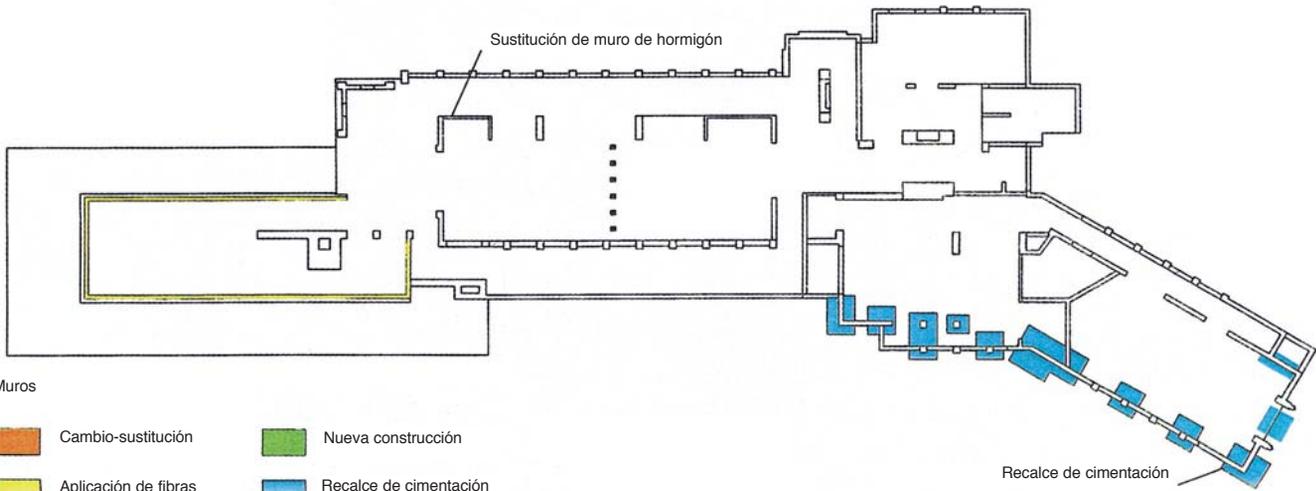
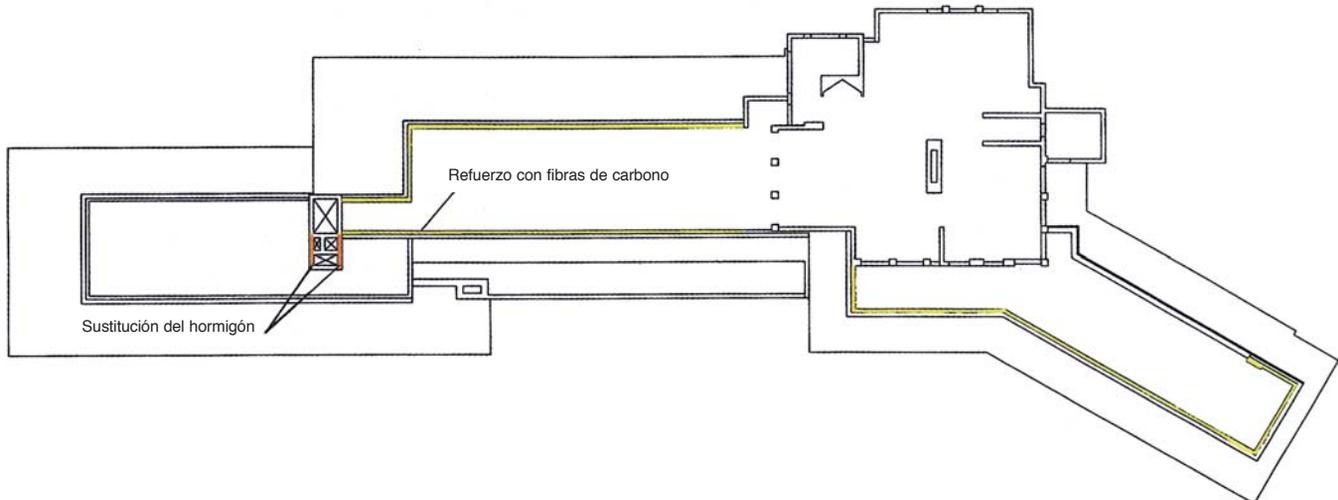
Se realizó una segunda prueba de la capacidad de resistencia lateral sobre los tabiques interiores de la casa, construidos de manera tradicional con un entramado de bambú enlucido con mortero enriquecido con cal. Se analizó la composición y se indagó en los entresijos de esta técnica de construcción con ayuda de los rayos X y el microscopio electrónico. Se construyó una muestra de prueba de dichos tabiques y se sometió a los esfuerzos mecánicos correspondientes para determinar su resistencia real.

Por último, se realizó una tercera prueba de estimación de las características estructurales antisísmicas del edificio a partir del cálculo numérico. Por ejemplo, a partir de los valores de resistencia de los muros de carga de hormigón obtenidos de la primera prueba nombrada, se investigó tanto el conjunto de la casa como cada uno de los pabellones desde el punto de vista de cálculo numérico, para ver si tanto el todo como las partes satisfacían las normas de construcción vigentes en la actualidad. Se calculó la resistencia lateral de las chimeneas en el pabellón sur y el pabellón central del edificio, elementos de mayor exposición al terremoto por su esbeltez. Como veremos más adelante, en el caso del pabellón sur requirió un refuerzo de



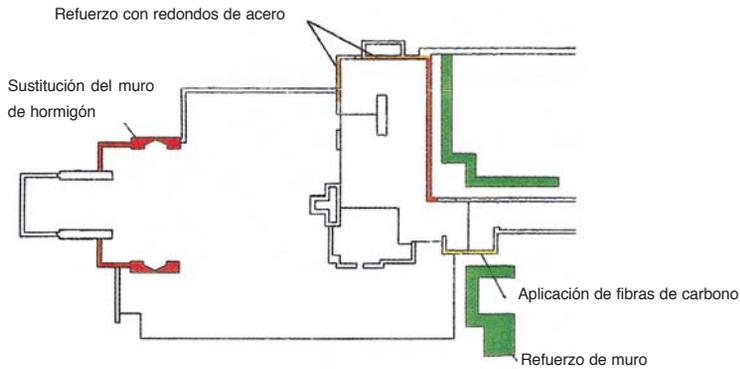
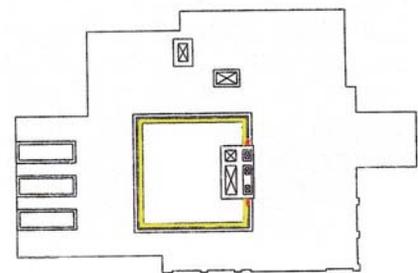
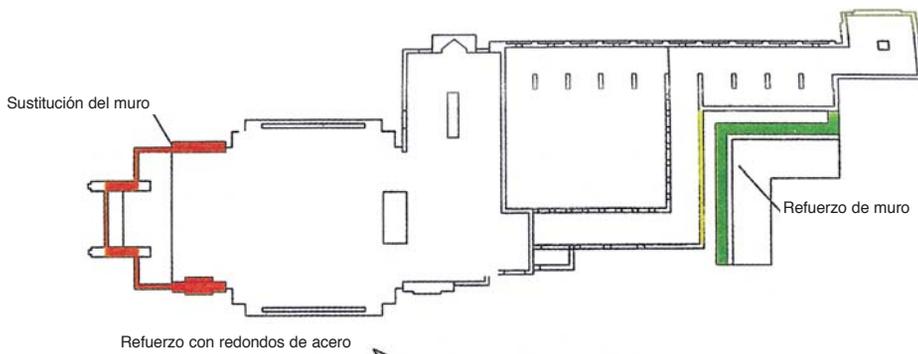
- Forjado
- Cambio-sustitución
  - Aplicación de fibras de carbono

19. Intervención en los forjados de cada planta



Muros

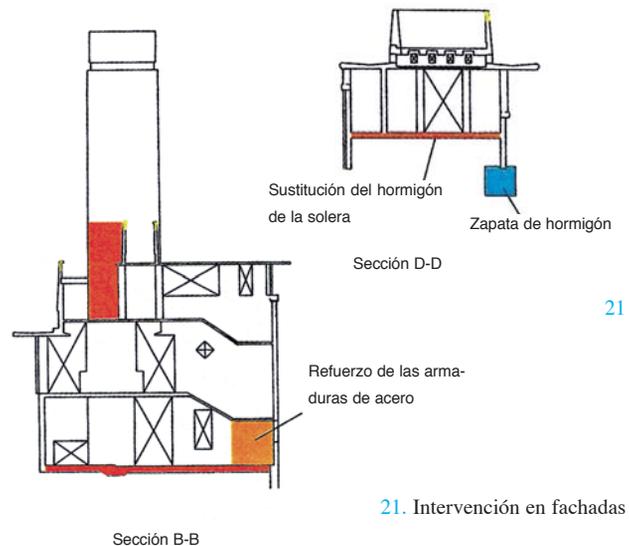
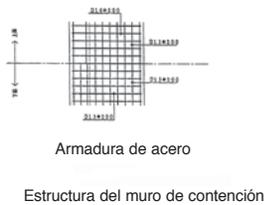
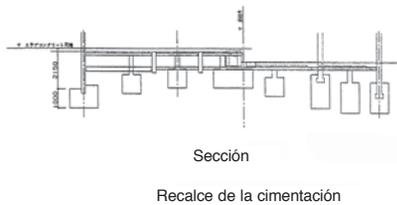
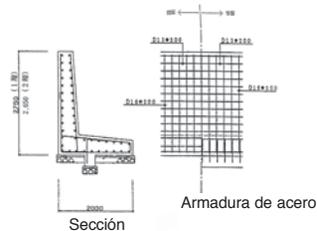
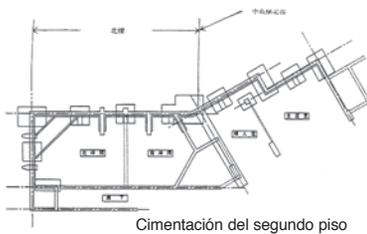
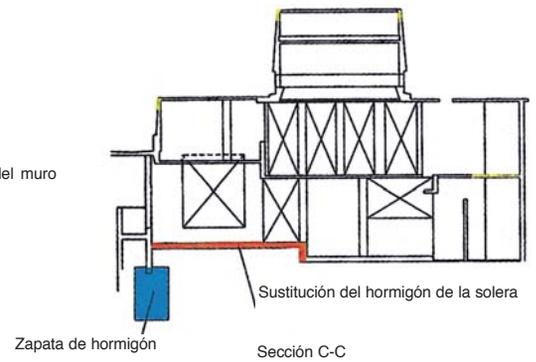
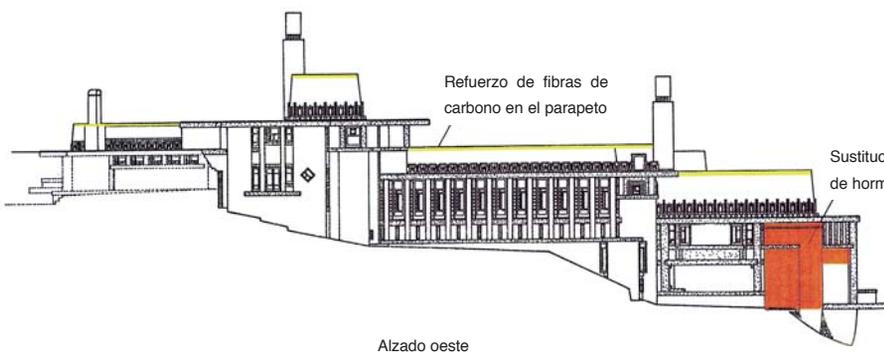
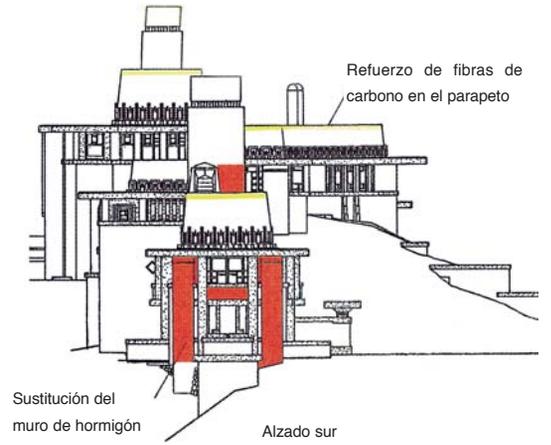
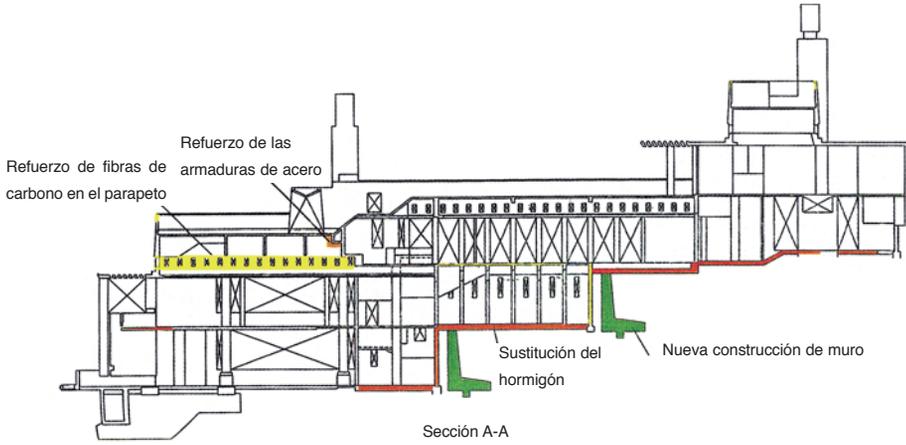
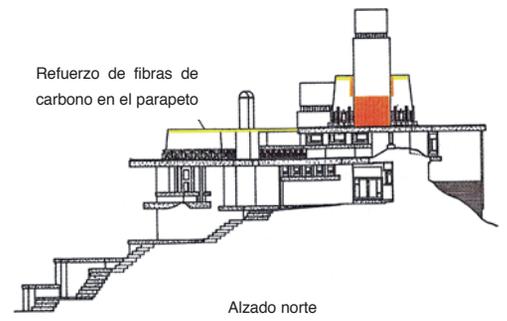
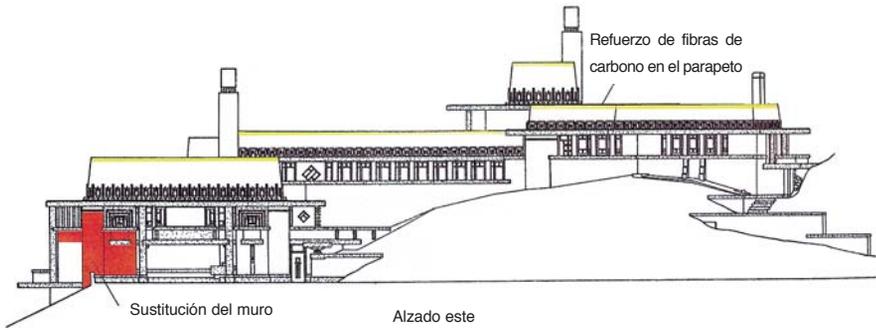
- Cambio-sustitución
- Nueva construcción
- Aplicación de fibras de carbono
- Recalce de cimentación

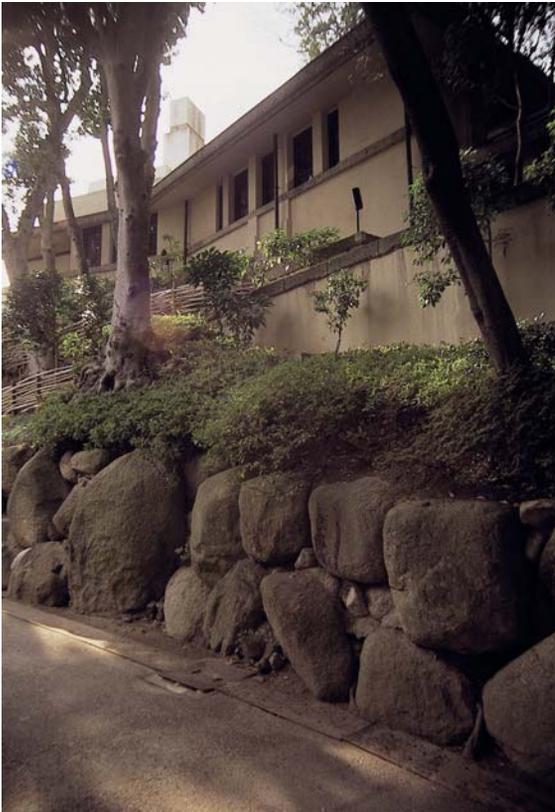


Muros

- Cambio-sustitución
- Nueva construcción
- Aplicación de fibras de carbono
- Refuerzo con redondos de acero

20. Intervención en muros y cimentación





22

23



la estructura de la viga de hormigón armado que sostiene la chimenea. De la misma manera, se estimó necesario el refuerzo del muro del almacén de la planta baja, cuya materialidad se previó conservar mediante el cosido y el refuerzo con armaduras suplementarias de acero. Se estudiaron las características antisísmicas de la sala de recepción de primera planta sobre el porche, en cuyo forjado saliente habían surgido abundantes lesiones durante el terremoto, en aras a determinar un refuerzo estructural que estuviera en grado de soportar eventuales terremotos de gran intensidad. Por último, dado que la cimentación de los pabellones norte y central no sobresale por su calidad, se investigó en el refuerzo necesario para los muros de contención de tierras de estas zonas del edificio.

### Premisas para el proyecto de ejecución: filosofía de la intervención

El resultado obtenido por el cálculo numérico se correspondía con el panorama de las lesiones provocadas por el terremoto. Previamente a la aplicación de las medidas estructurales de reparación se tomaron en cuenta las siguientes premisas: la innecesidad de un refuerzo integral de la estructura del edificio; la reparación de los elementos dañados en aras a la recuperación de la resistencia existente previamente al terremoto; la aplicación parcial de refuerzos estructurales (refuerzo de armaduras, adhesión de fibras de carbono...) únicamente en aquellos lugares donde la resistencia estructural se había mostrado insuficiente durante el terremoto; la necesaria inocuidad de estos refuerzos parciales sobre la configuración arquitectónica del edificio original; y el respeto de la deformación residual existente, que sólo se recuperaría a nivel de acabados superficiales.

Efectivamente, a través de las pruebas y los cálculos estructurales, se determinó que en el momento de finalización de la obra de construcción original, este edificio poseía la suficiente fuerza estructural para responder con cierta dignidad a la normativa actual relativa a los edificios de muro de carga. Por esta razón, en el proceso de restauración se consideró adecuada la eliminación de los factores de deterioro y se juzgó innecesario un refuerzo estructural completo añadido al edificio.

En concreto, el cálculo ofreció los resultados siguientes. En este edificio abundan los tabiques de bambú enlucidos con mortero de tierra enriquecido con cal. En un principio, se calculó la resistencia a esfuerzos laterales del edificio únicamente considerando los muros existentes de hormigón armado. De los resultados se pudo concluir que el edificio poseía un 70% de la fuerza requerida por la normativa actual para muros de carga, cuyo valor equivale a  $g$  (aceleración de la gravedad). Añadiendo el efecto coadyuvante de los tabiques de bambú enlucidos con tierra, el valor se elevaba a un 80%. Por último, se pudieron comprobar las propiedades antisísmicas intrínsecas de la configuración del edificio, que fue capaz de sobrevivir con daños leves, aun sometido a un terremoto terrible, con su solar en el ámbito de la falla activa del epicentro del mismo.

## MEDIDAS ADOPTADAS EN LA ESTRUCTURA

**Cimentación.** Se ha podido deducir de la alta resistencia del muro de hormigón y de la rigidez del terreno que la cimentación existente apenas sufrió por la deformación del terreno. Sin embargo, la fachada este del pabellón norte del edificio y el entorno del cuarto de baño se hundieron parcialmente en algunos puntos por asentamiento de rellenos o ausencia de zapatas de cimentación, causando lesiones por cortante en los tabiques superiores del edificio. En esta zona, se emprendió una excavación bajo los muros del edificio hasta encontrar un estrato sólido, se insertaron bajo los muros vigas en doble T con el alma grecada de rigidizadores y se hormigonó el recalce de la cimentación. En algunos casos, como la esquina nordeste, se demolió parte de la solera de hormigón para soldar unos cuadrantes metálicos a 45° que cosieran la esquina.

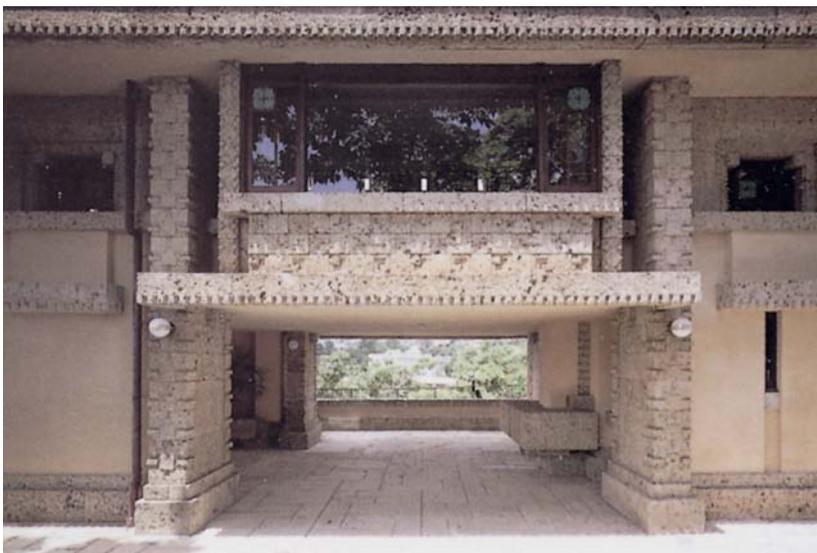
En el pabellón central del edificio surgieron lesiones sin trascendencia estructural en la solera de hormigón sin armadura, que se demolió y fue sustituida por una solera de hormigón armado cuyas armaduras se anclaron al tresbolillo a los muros perimetrales de hormigón armado. Esta solución evita los asentamientos diferenciales de la cimentación y permite unir al edificio en tres niveles: la cimentación, las losas de forjado de cada planta y la losa de forjado de la azotea. Por último, en el pabellón sur del edificio, los refuerzos estructurales realizados al principio de los años ochenta evitaron ulteriores daños en la cimentación durante el terremoto de Kobe.

**Muros.** Por el contrario, los muros del entorno del balcón del extremo sur y la escalera principal, que habían sufrido grandes daños por los esfuerzos laterales, sí debieron ser reconstruidos de nuevo con hormigón armado, conservando las armaduras originales y añadiendo una armadura suplementaria de acero inoxidable que permitiese al nuevo hormigón la absorción de mayores esfuerzos.



24

25



22. Vista externa de la casa restaurada, con su zócalo de mampostería ciclópea (foto: F. Vegas)

23. Vista del juego de volúmenes adaptados a la orografía de la colina e integrados en la naturaleza circundante (foto: F. Vegas)

24. Vista de la sala de recepción en planta primera sobre el porche de acceso, ya restaurada (foto: Yodogawa Seikoshō)

25. Salón comedor en la planta superior (foto: F. Vegas)

26. Vista de la coronación de la casa, ya restaurada (foto: Yodogawa Seikoshō)

27. Singular acceso a la terraza emparentado con las formas del cubismo checo (foto: F. Vegas)

28. Detalle de los machones de la planta baja (foto: F. Vegas)

29. Ejemplo de las vidrieras interiores de la Casa Yamamura (foto: F. Vegas)

30. Aspecto de la sala de recepción en la planta primera, ya restaurada (foto: Ashiya Board of Education)



27

28

26





29 y 30





31



32



33

31 y 32. Vistas de las habitaciones de estilo japonés (foto: F. Vegas)

33. Vista de una habitación de estilo occidental (foto: F. Vegas)

Se reerigió igualmente el citado muro de contención de tierras resquebrajado en la entrada a la planta baja, así como el muro de contención de tierras bajo las habitaciones de estilo japonés. Se confirió una cierta rugosidad y textura a la base de los muros para evitar el deslizamiento y se comprimió adecuadamente la tierra terraplenada de nuevo en su trasdós. No se unió la coronación de estos muros de contención a la losa de cimentación para evitar la transmisión de la presión de la tierra a la losa.

Las lesiones abiertas en los tendeles de los bloques de hormigón prefabricados in situ, que comprometían la estanqueidad y la resistencia de los muros, se resolvieron demoliendo las partes dañadas e inyectando las juntas resina epoxídica (lesiones de tipo A) o mortero de cemento sin retracción (lesiones de tipo B). Las lesiones de mayor envergadura, una vez demolida la parte dañada, se reconstruyeron con hormigón y se inyectaron con mortero de cemento expansivo (lesiones de tipo C) o, en casos aún mayores, se reconstruyeron directamente con hormigón (lesiones de tipo D). En algunos puntos delicados, como el muro norte del pasillo de la planta primera, se aplicó además un refuerzo adicional mediante la adhesión de fibras de carbono.

**Chimeneas.** El resultado de los análisis realizados para las chimeneas confirmó la suficiente capacidad antisísmica de la chimenea del pabellón central del edificio. Sin embargo, el cálculo de la chimenea del pabellón sur desveló la falta de resistencia de la viga de hormigón armado que la sostiene. Esta viga posee una curiosa sección transversal en forma de quilla de barco, de manera que tuvo que reforzarse con un angular metálico en forma de L en ambos flancos a lo largo de la longitud de la viga y, posteriormente, inyectando resina epoxídica para rellenar los intersticios entre el hormigón y los angulares. Además, las lesiones longitudinales en la parte inferior de la viga fueron selladas por inyección de lechada de mortero. Dado que estos refuerzos quedan ocultos tras la sala de visitas de la primera planta en el pabellón sur del edificio, no afectan al diseño arquitectónico.

**Muro de almacén de la planta baja.** La vibración del pabellón sur del edificio durante el terremoto provocó la aparición de lesiones tipo B en este muro expuesto a las inclemencias por el exterior, dado que linda con barranco en el flanco occidental de la casa. En este caso, se estimó una mejora de la resistencia de este muro con la ayuda de la construcción de un marco perimetral de perfiles de acero y, en el interior, se conservaron las lesiones que surgieron en el muro de hormigón como testimonio para los visitantes del terremoto de Kobe de 1995.

**Sala de recepción en planta primera sobre el porche de acceso.** En el pabellón sur, se reconstruyó el hormigón en torno a la sala de recepción de la planta primera, reforzado con armadura suplementaria y se eliminaron los tendeles abiertos que tanto comprometían la resistencia a esfuerzos laterales de los muros. Los delicados maineles revestidos de piedra de Oya fueron reforzados desde el interior con ayuda de fibras de carbono. Igualmente, por último, se recurrió al refuerzo con fibras de carbono en los antepechos y el techo del almacén de la planta primera del pabellón central del edificio, con un acabado posterior en mortero de cemento





34

34. Ventana de las habitaciones de tatami (foto: Yodogawa Seikosho)

35. Detalle de la iluminación sobre uno de los machones en piedra de Oya (foto: F. Vegas)

35



**FICHA TÉCNICA:**

RESTAURACIÓN DE LA CASA YAMAMURA DE FRANK LLOYD WRIGHT

Ubicación:

Ashiya, Prefectura de Hyogo

Arquitecto del edificio:

Frank Lloyd Wright

Arquitecto restaurador:

Prof. Hidekazu Nishizawa

Área del solar:

4.565 m<sup>2</sup>

Superficie edificada de terreno:

359 m<sup>2</sup>

Superficie construida total:

566 m<sup>2</sup>

**NOTA**

Salvo indicación contraria, las fotografías y planos pertenecen al Prof. Hidekazu Nishizawa