

investigación

Diseño y Aplicación de Métodos para Evaluar Patologías Constructivas en el Hábitat Rural. Arquitectura de Tierra en el Noroeste Argentino

Adolfo Rodrigo Ramos

Rodolfo Rotondaro

Felipe Monk

Se proponen una serie de instrumentos y procedimientos simples de gabinete y laboratorio para monitorear cuantitativa y cualitativamente los deterioros constructivos de edificios de tierra en ámbitos rurales. Los edificios elegidos son patrimoniales, materialmente similares y pertenecen al impulso constructivo colonial, valores que incentivan el estudio pormenorizado de la interacción ambiente-edificio. Esta investigación arroja interesantes resultados sobre la durabilidad de las construcciones de tierra. Además permite comparar patrones de comportamiento de este tipo de construcciones en distintos ambientes. También se evalúan los métodos empleados y se interpretan los deterioros cronológicamente, en el marco de un estudio de tipo comparativo de patologías constructivas.

Palabras claves: Métodos de Evaluación, Arquitectura de Tierra

This work reports on field methods and instruments tested in rural areas in the Northwest of Argentina, used to study the pathology of earth buildings. The main objective is to identify and describe structural, internal and surface pathologies of walls, roofs and plasters in buildings included in the Architectural Heritage, in three different climates. This study is focused on relationship between the buildings and their environment. Parallel to this, the instruments' performance was tested and buildings' durability was evaluated. Furthermore, earth and cement mortar samples were analyzed at laboratory and chronological diagrams were established to compare constructive pathologies or damages.

Key words: Evaluation Methods, Earth Architecture

INTRODUCCIÓN

Presentación del tema

Este trabajo presenta resultados referentes al ensayo y evaluación de los métodos y procedimientos empleados para el monitoreo de patologías en dos edificios de tierra cruda en el Noroeste argentino, NOA (Ramos et al. 2002). Esta actividad se realiza en una línea de trabajo e investigación referida a las patologías de la construcción en edificios de tierra.

El marco disciplinar es la arquitectura de tierra. El empleo de este material posee una tradición muy antigua en las zonas rurales, semi-rurales y urbanas de la región, utilizándose tanto en el hábitat residencial como en su equipamiento complementario. También se emplea en otras edificaciones tales como iglesias, puestos de salud, oratorios, capillas, destacamentos policiales, escuelas, clubes y otros edificios institucionales (Ramos et al., op. cit.). Los edificios elegidos en este caso pertenecen al patrimonio histórico-arquitectónico de la Argentina, con función residencial y religiosa respectivamente. Los mismos están ubicados en zonas rurales, lo que les confiere características ambientales particulares que condicionan la instrumentación e implementación de procedimientos.

Este tema posee una tradición breve en la región y se comienza a fortalecer en los últimos años, especialmente en relación con la preservación de arquitectura patrimonial y los desarrollos en el campo de la vivienda de interés social. La disciplina

patología de la construcción, de génesis reciente en la década del ochenta, posee sus propios criterios metodológicos fundamentados en la acción multidisciplinar. Su objetivo: explicar *científicamente las causas de los deterioros y las enfermedades de la construcción, dando bases de determinación simples o complejas de los fenómenos físicos, químicos, biológicos y de meteorización, entroncados con una racional convergencia histórica, cultural y antropológica* (Monk, 1996: 1).

En este trabajo las patologías constructivas se plantean desde la óptica de la preservación, en el ámbito de las construcciones de tierra en zonas rurales, las cuales presentan diversos deterioros a causa de inadecuadas o inexistentes intervenciones. Con la observación de otros edificios y conjuntos de tierra, se obtienen datos de campo valiosos no solamente en edificios afectados por procesos patológicos severos sino también de aquellos con envejecimientos diversos. Esto plantea además el estudio de las patologías desde la durabilidad de las construcciones de tierra y su mejoramiento tecnológico tendiente a prolongar el ciclo de vida de las mismas.

Más adelante, se presentan los antecedentes de la temática específica desarrollada para contextualizar el trabajo de investigación hecho por los autores. Los resultados presentados aquí son posibles gracias a una beca doctoral del Conicet ▶ 1 otorgada a uno de los autores (Ramos).

Algunos estudios realizados en la región muestran, por ejemplo en la estación Pozuelos (Rotondaro

2002), y en viviendas tradicionales de Santiago del Estero (Rotondaro et al. 1999), daños superficiales en revoques y protecciones de superficie construidas con barro y tierras locales mezcladas con cemento (6 al 9% en volumen). Además presentan distintos tipos de fisuras en revoques y cubiertas de barro y suelo-cemento, donde es importante la microfisuración en capas de espesores reducidos (menos de 3 cm).

En Tucumán (Rotondaro et al. 2003) se construyeron varios prototipos de muretes, considerando técnicas de adobe, adobe reforzado, tapial y bloques de suelo-cemento comprimidos (Figs.1-2), cuyo comportamiento a la intemperie se analizó durante dos años. Se pudieron registrar los daños causados por la humedad, el lavado por lluvia, problemas de desgranamientos de aristas y bordes, así como la dureza y diferente desgaste de las caras con diferentes orientaciones.



FIGURA 1: MUROS DE ADOBE SIN PROTECCIÓN SUPERFICIAL SOMETIDOS AL DESGASTE CLIMÁTICO EN DIVERSAS ORIENTACIONES. FAU UNT, TUCUMÁN.



FIGURA 2: MUROS DE TAPIAL SIN PROTECCIÓN SUPERFICIAL SOMETIDOS AL DESGASTE CLIMÁTICO. FAU UNT, TUCUMÁN. NÓTESE EL DESGASTE DIFERENTE ENTRE LAS TONGADAS SUPERIOR E INFERIOR.

Estado actual del conocimiento. Antecedentes en el estudio de patologías constructivas

En la bibliografía internacional, como en la nacional y regional del NOA, encontramos autores que han investigado los problemas patológico-constructivos en viviendas y edificaciones contemporáneas, en edificios del Patrimonio Histórico-Arquitectónico y también en la arquitectura vernácula, la cual incluye a los asentamientos nativos. En estos estudios aparecen menciones y descripciones sobre cómo se producen las lesiones o cuáles son las patologías habituales en los edificios de tierra, así como los agentes causales.

Maldonado Ramos et al. (2002) realizan un análisis sobre las condiciones actuales que benefician y otras que dificultan la difusión y el uso mejorado de la arquitectura de tierra. Mencionan el amplio vacío de nuevos diseños con el material, en parte por desinterés o por falta de exploración en las posibilidades geométricas, físico-químicas y mecánicas del mismo.

En un trabajo reciente, los autores (Ramos et al. 2002) presentan los resultados generales de la primera fase de la investigación en curso, comparando las patologías de dos edificios patrimoniales del Noroeste, en Jujuy y Tucumán, construidos en tierra y con varias intervenciones para su conservación. Es el caso de los edificios de este trabajo.

Monk (1996) desarrolla la temática de las patologías de los materiales de construcción en general, muchos de los cuales son empleados en conjunto con la tierra cruda, haciendo recomendaciones específicas para prevenir defectos en el adobe.

Monjo Carrió (1994) analiza las patologías y las técnicas de conservación para las construcciones de barro en España. Enfoca el tema en base a los deterioros más frecuentes y comunes en relación a las técnicas que se emplean en dicho país. Realiza además una descripción del comportamiento del mortero y de la torta de barro.

Minke (1994) realiza un estudio pormenorizado de las propiedades físico-químicas de los materiales empleados y de la incidencia de las sustancias estabilizadoras empleadas, haciendo énfasis en el control de estas características como indicador más importante para la durabilidad.

Pujal (1992) describe las tareas de restauración en iglesias y monumentos históricos de Jujuy, en los cuales menciona sintéticamente las patologías en muros y techos de tierra de dichos edificios.

Por su parte, uno de los autores (Rotondaro), junto a Rabey (1988), mencionan las patologías más comunes de muros y techos de viviendas vernáculas y construcciones auxiliares en zonas rurales.

Wanstein-Krasuk et al. (1985), de la Universidad de Buenos Aires, realizan un análisis de la durabilidad y patología de los materiales en conjuntos de la vivienda económica, presentando una metodología de relevamiento, clasificación y evaluación de patologías. Además se definen términos, criterios y conceptos.

Vargas Neumann et al. (1984-1985) evalúan la *Durabilidad de las Construcciones de Adobe*. En el marco de la sismorresistencia es un trabajo innovador ya que la estabilidad estructural no es sinónimo de durabilidad ni economía, y por ende no es el indicador óptimo para la calidad del adobe conseguido, sino tan solo uno de los indicadores más importantes.

Alva Balderrama (1983) plantea el *Relevamiento y diagnóstico del cuadro fisurativo en edificios*. Desarrolla las consideraciones y terminología preliminares. Describe y evalúa diferentes instrumentos de lectura para tales determinaciones y realiza las consideraciones previas a un plan de relevamiento.

Chiari (1983) realiza una *Caracterización del adobe como material de construcción, Técnicas de Preserva-*

ción. En el contexto peruano, describe los métodos para identificar tipologías de restos arqueológicos en relación a causas de deterioro y posibles intervenciones. Estas causas son tipificaciones patológicas propias del adobe. También describe intervenciones para la conservación y expectativa de vida para el material de adobe.

Rutenbeck (1983) menciona las causas y cuadros complejos que favorecen la aparición de defectos estructurales en construcciones de adobe. Analiza algunos métodos para la determinación de fallas estructurales y monitoreo de movimientos estructurales en construcciones y ruinas de adobe. Además enuncia y describe algunos de los instrumentos disponibles comercialmente para efectuar tales determinaciones.

Pizzi (1983), dentro de los numerosos trabajos que ha publicado sobre patologías de la construcción, analiza aspectos higrotérmicos de muros y lesiones posibles en relación con dichas propiedades. También estudia y desarrolla los aspectos estructurales de muros y fundaciones.

En otro trabajo, Pizzi (1982) establece definiciones, conceptos y metodología para poder actuar en una disciplina nueva, en referencia a la *Patología de la construcción*. Define *degradación, daños, síntomas y terapéuticas* en el marco de las construcciones y sus componentes: *envolvente, instalaciones y estructura*.

Houben y Guillaud (1982) analizan y presentan las principales patologías estructurales y específicas de las construcciones de tierra en general, sus causas y

agentes, y sus efectos. También en este Manual se describen las lesiones ocasionadas por los sismos en el conjunto edilicio y en sus partes, con referencias formales.

Rutenbeck (1981) describe algunos de los instrumentos disponibles para el monitoreo de movimientos estructurales en ruinas y edificios de valor histórico, construidos en tierra o piedra en el Estado de Arizona, Estados Unidos. Realiza una caracterización de los tipos de daños según los riesgos que implican para los edificios y eventuales visitantes o habitantes.

Vargas Neumann y Otazzi Passino (1981) realizan investigaciones en adobe, ensayando diversos módulos de este material reforzados con cañas, sin reforzar y con aberturas. Obtienen algunos patrones de fisuración en los muros ensayados, aunque el objetivo principal del programa es evaluar la resistencia y no la durabilidad, estableciendo valores de compresión, corte y flexión característicos para este tipo de construcciones.

Viñuales (1981) explicita en forma general las causas de los deterioros producidos por agentes naturales en distintos sistemas constructivos con tierra cruda, en especial en los de tapial, y los deterioros que pueden producir las *Intervenciones incorrectas* en trabajos de conservación y preservación del patrimonio. Los sistemas constructivos que presenta son en gran parte los vernaculares de la construcción del Noroeste.

Mañá (1978) analiza las fundaciones superficiales y desarrolla las patologías estructurales en relación con aquellas. Asimismo propone actuaciones para llevar a

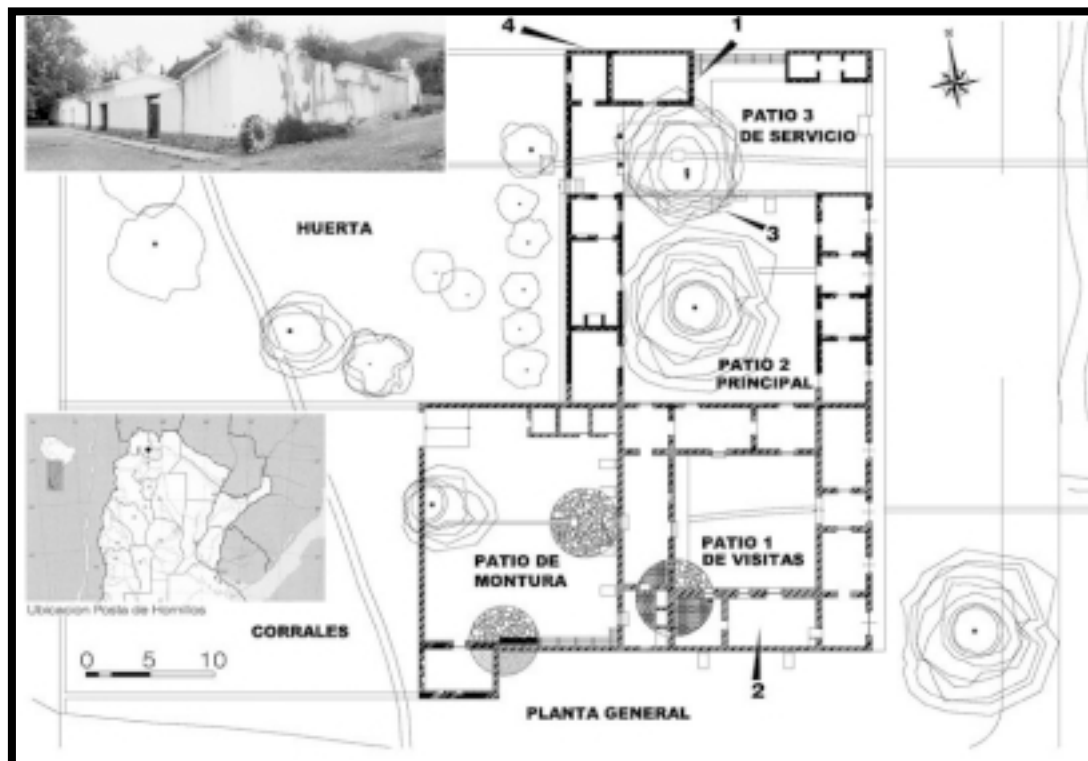


FIGURA 3: SECTORES ESTUDIADOS EN LA POSTA DE HORNILLOS: 1 MURO ESTE; 2 CUBIERTA PATIO 1; 3 MURO NORTE PATIO 2; 4 MURO NORTE EXTERIOR.

cabo en la práctica como monitoreos y mediciones dando las claves para la interpretación de estos seguimientos. Aunque no se trata de un trabajo orientado específicamente a construcciones de tierra, se considera referencial para la posterior adaptación y aplicación a este material.

Objetivos del trabajo

El principal objetivo de esta investigación es desarrollar un conjunto de métodos y procedimientos para evaluar el comportamiento de edificios y elementos constructi-

vos afectados por patologías. Los mismos están orientados a su aplicación en zonas rurales, por medio de técnicos u operarios instruidos para dicho relevamiento.

Como objetivo particular se plantea la realización de comparaciones entre los patrones de comportamiento entre dos edificios materialmente similares pero en situaciones ambientales diferentes. Además se intenta la aproximación desde una actividad empírica hacia una metodología científica.

El propósito amplio del trabajo es estudiar los procesos patológicos de edificios de tierra para

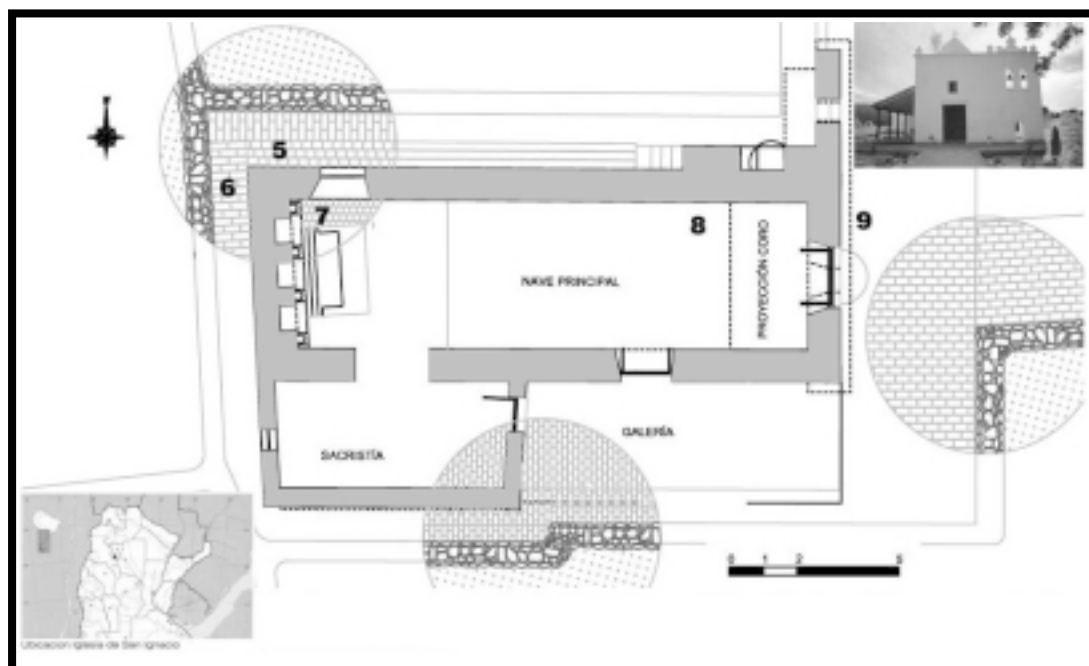


FIGURA 4: SECTORES ESTUDIADOS EN LA IGLESIA DE SAN IGNACIO: 5 Y 6 ÁNGULO NOROESTE EXTERIOR; 7 ÁNGULO NOROESTE INTERIOR; 8 MURO NORTE INTERIOR; 9 MURO FACHADA.

aprovechar ese conocimiento en el mejoramiento tecnológico de su arquitectura y construcción.

Para el levantamiento cronológico y ordenado de los datos se diferenciaron las patologías constructivas en tres categorías: estructurales, superficiales e internas.

Se diseñaron fichas de análisis en campo, para identificar la zona observada y/o muestreada. Luego se ordenaron los datos e interpretaron conjuntamente los procesos individuales detectados.

Descripción de edificios y ambientes

Los edificios monitoreados están ubicados en dos ambientes distintos, uno ubicado en la quebrada de Humahuaca, zona de prepuna a 2000 msnm, en la provincia de Jujuy (Fig. 3); y el otro situado en un área de transición entre el monte y las selvas de montaña, piedemonte a 1000 msnm, al sur de la provincia de Tucumán (Fig. 4). Se eligen para ser monitoreados debido a los cuadros de múltiples patologías provocadas por los agentes actuantes y condiciones desfavorables tales como movimientos sísmicos;

nevadas; elevada amplitud térmica; heterogeneidad del suelo; disminución de capacidad portante de mamposterías y cimientos; humedades ascendentes y pluviales; acción mecánica del agua de lluvia; acción erosiva del viento, y congelamiento. Los diversos cuadros patológicos pueden ser agrupados en:

- Patologías superficiales que se producen en la cara externa del revoque de muros, cubierta, solados u otros elementos constructivos.
- Patologías internas originadas principalmente en la interfaz con el elemento de soporte, sea un muro, un mortero de asiento de tejas o una torta de barro de sustrato;
- Patologías estructurales como la fisuración y/o el agrietamiento de cubiertas de suelo cemento; el colapso o cedimiento de piezas estructurales; agrietamiento y fisuración de muros, cornisas y zócalos; el desplome o cedimiento de muros; el asentamiento o hinchamiento de muros, cimientos y pisos.

Diseño del instrumental para las mediciones

En el Anexo 1 se presentan en este trabajo las fichas correspondientes a:

F001-FICHA DE DISEÑO DE DEFORMÓMETRO;
F003-FICHA DE DISEÑO DE REGLAS GRADUADAS; y
F-P001-FICHA DE PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE SUPERFICIES.

Además de los ejemplos expuestos se diseñaron y ensayaron los siguientes instrumentos:

FLEXÍMETRO: permite medir deformaciones perpendiculares al plano de un muro con agrietamientos, fisuras o evidencias de movimientos estructurales en sus uniones con otros muros;

ELONGÁMETRO: permite medir las longitudes de grietas en los planos de muros analizados;

COMPARADOR MILESIMAL DE ESPESORES: basado en un comparador mecánico a resorte, permite medir la variación del ancho o distancia entre labios de las grietas o fisuras;

ESPESÍMETRO DE CUBIERTA: permite medir la variación del espesor en la torta de barro o techos compuestos con fibras o materiales orgánicos o térreos;

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE SUSTRATO CONSTRUCTIVO: el objetivo del mismo es monitorear o cuantificar la pérdida de material de sustrato en revoques de muros; y medir el espesor de revoque desprendido;

PROCEDIMIENTO MICROFOTOGRAFICO DE SUPERFICIES: permite obtener imágenes de las superficies y cortes de muestras. Estas se consiguen componiendo imágenes de distintos planos focales, captando la rugosidad de la muestra, es decir sus valles y crestas, en una única imagen. La imagen FP001 presentada en pág. 126 de este artículo fue obtenida de esta manera.

Cabe mencionar que el empleo de estos instrumentos fue complementado por una observación directa cualitativa debido al valor que posee la interpretación de los procesos analizados en el edificio.

Ensayo de los instrumentos experimentales

De acuerdo a los objetivos planteados se realizaron ensayos en campo que luego se complementaron con los procedimientos de gabinete y en laboratorio. La secuencia de operaciones para la prueba y ajuste de los instrumentos en cada edificio es la siguiente:

- i) Sectorización del lugar donde se realiza el monitoreo.
- ii) Relevamiento de las condiciones iniciales; longitudes de grietas, espesores de grietas, desplome de muros y colocación de instrumental.
- iii) Inspección visual de las superficies, muestreo de revoques, internos y externos; muestreo de solados; calicatas en terreno contiguo a los cimientos, medición del espesor de torta de barro.
- iv) Monitoreo de movimientos estructurales cada dos meses durante un período de dieciocho meses.
- v) Monitoreo y muestreo de superficies internas cada dos meses, durante un período de dieciocho meses, para la determinación del material emigrado del sustrato del mismo, en la interfaz muro-cara interna del revoque, a través de macroscopía y microscopía cualitativa.
- vi) Inspección visual y muestreo de superficies externas cada dos meses, durante un período de dieciocho meses, para la determinación de exfoliación y disgregamientos.

Esta secuencia descrita se realizó en los siguientes sectores de ambos edificios:

En la posta de Hornillos (Fig. 3):

Sector 1. Muro este exterior, sala de donaciones, patio de servicio.

Sector 2. Cubiertas, patio 1 de honor o de visitas.
Sector 3. Contrafuertes y zócalos exteriores. Muro norte en patio 2, o principal.
Sector 4. Muro exterior norte, cocina.

En la iglesia de San Ignacio (Fig. 4):

Sector 5. Muro exterior norte, ángulo N.O.
Sector 6. Muro exterior oeste, ángulo N.O.
Sector 7. Muro interior norte, ángulo N.O.
Sector 8. Muro interior norte, sector bajo y sobre coro.
Sector 9. Muro exterior de fachada, lados norte y este.

Para la elección de los sectores monitoreados se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- i) El área elegida contiene evidencias de fisuramiento o agrietamientos para el monitoreo estructural.
- ii) El área elegida evidencia la acción de patologías superficiales y presenta condiciones que permiten inferir la acción de patologías internas.
- iii) Las áreas elegidas poseen accesibilidad para la instalación del instrumental y para realizar las sucesivas lecturas.
- iv) Las áreas elegidas están protegidas o preservadas de la acción vandálica antrópica y de eventuales reparaciones o acciones de mantenimiento que pueden afectar las lecturas.

La evaluación del desempeño de tal instrumental y procedimientos se resume en las mismas fichas mencionadas.

CONCLUSIONES

Evaluación y métodos usados para el registro de datos.

La evolución de la mayoría de estas patologías puede monitorearse a través de los métodos presentados de manera bastante simple y representativa. Para la interpretación de los datos obtenidos, es fundamental lograr una visión conjunta de los mismos. Estos deben ser graficados con sus respectivos procesos patológicos.

Por esta razón se organizaron los datos obtenidos en tablas o matrices, algunas de las cuales se presentan a modo de ejemplo en las fichas de instrumentos. Lo que se observa en esta cronología es que algunas de las lesiones estructurales son favorecidas por, o corresponden al estadio de máximo deterioro de, aquellas lesiones superficiales o internas que no reciben tratamiento terapéutico y desencadenan patologías más complejas y costosas de contrarrestar. Esto implica el deterioro de elementos estructurales que pueden provocar el colapso total o parcial del edificio.

Las mediciones realizadas por los métodos dispuestos al control de los cambios dimensionales no son demasiado sensibles debido a la resolución milimétrica de los instrumentos, que no es suficiente para registrar variaciones en estos edificios. Estos poseen manifestaciones estructurales distribuidas más ampliamente en el tiempo o son de un orden de magnitud micrométrico.

Sin embargo, permiten tener un registro de avances o retrocesos en las lesiones por medio de su presencia significativa en los elementos constructivos en los diversos períodos. También preliminarmente permiten relacionar la presencia de cuadros de lesión estructurales activos, con inadecuadas configuraciones sismorresistentes, escasas profundidades y/o inadecuados materiales de cimentación.

Los métodos basados en la disposición de instrumentos en las superficies externas para muros revocados con materiales muy frágiles y separados del sustrato, se muestran escasamente representativos del movimiento estructural directo. Esto sucede debido al movimiento independiente entre el sustrato y la capa protectora, inducidos por causas estructurales y térmicas respectivamente. En los casos analizados en este trabajo, esto sucede plenamente, razón por la cual se evalúa que los registros logrados no corresponden solamente al movimiento estructural sino al combinado entre éste y las variaciones volumétricas de dilatación y contracción.

Cuando el rango de variación de estas últimas es mayor al de las variaciones estructurales únicamente, estos instrumentos no pueden registrarlas sino afectadas por un componente térmico. Se debe recurrir a métodos con mayor resolución, basados en transductores electromagnéticos aplicados directamente sobre el muro en movimiento. Por esta razón, y ante la imposibilidad de trasladar estos instrumentales costosos a los edificios en situación rural, se plantea la evaluación del comportamiento estructural en base a los monitoreos planteados.

La experiencia en el monitoreo de las patologías superficiales permite detectar en la acciones de mantenimiento asistemático en los edificios, un efecto de retardo de la evolución de las mismas. Además impide que aquellas avancen hasta un estadio de patologías internas en algunos casos.

En otros casos enmascara las patologías provocando el agravamiento no visible de las mismas, las que pueden desencadenar patologías internas como los desplacamientos o *efecto cuña* (Monk, 1996: 24) en los revoques.

Los procedimientos realizados se encuentran muy apropiados para comprender el comportamiento físico-químico de los sustratos y capas protectoras bajo acciones disruptivas o de envejecimiento normal.

Las condiciones de muestreo de revoques no están normalizadas en cuanto a profundidad de extracción del mismo para los fines de estudio del sustrato. En este trabajo se adoptó un criterio que determina el espesor de la muestra de acuerdo al material deplacable o exfoliable sin necesidad de una acción mecánica enérgica. Este es justamente el susceptible de removerse debido al debilitamiento producido por la acción patológica. El espesor de la muestra y la cantidad de capas observadas son indicativas de las acciones desarrolladas en el sustrato, pero la muestra así obtenida recibe una determinación más significativa sobre la base de la exploración de superficies ejemplificada en la ficha de procedimiento 001. En el caso de existir elementos extraños a la constitución físico-química de las muestras o las patologías

implicadas, se pasa a laboratorio para realizar identificaciones y determinaciones cuantitativas que permitan corroborar o refutar las hipótesis planteadas por los estudios previos.

Problemas sobre la gestión y la implementación en campo

Uno de los problemas más recurrentes fue la pérdida de los elementos fijos para las mediciones, y el vandalismo que retira sucesivas veces los elementos externos de los edificios. También las acciones de mantenimiento discontinuas, cuya acción consiste en la reposición de la capa protectora superficial, mediante blanqueos a la cal de los muros. Estos cubren las pequeñas fisuras sobre las cuales se realizan las lecturas. También cubren las patologías superficiales que permiten decidir el sector específico de muestreo en cada sector y en cada período.

Finalmente, se asume que tales acciones espontáneas forman parte del comportamiento del edificio en su medio, ya que estas acciones implican una involución de las patologías superficiales debido al leve proceso de consolidación con los hidróxidos de calcio aplicados.

Con respecto a los procedimientos de muestreo se estima que pueden mejorarse con el entrenamiento de operarios que obtengan mayor pericia para efectuar de manera óptima tal actividad. Esta, al no ser muy compleja, puede llevarse a cabo periódicamente, por un encargado o vecino de los edificios, o por operarios del centro administrativo de influencia

inmediata, tales como comunas, municipalidades o intendencias. Su relación de cercanía y presencia ante eventualidades es muy beneficiosa para llevar registros de cambios bruscos en los cuadros patológicos de los edificios. Para esto debe confeccionarse un protocolo de inspección que les permita realizar las actividades de la manera más eficiente y práctica.

Perspectivas para mejorar el instrumental

Con respecto a la resolución de los instrumentos, como el deformómetro y las reglas graduadas, esta experiencia los presenta como inapropiados para edificios en estadios de gravedad leve, sino en aquellos con cuadros de gravedad media a elevada, en los cuales arrojan resultados significativos.

El deformómetro parece ser mejorado siguiendo el camino de la medición de las longitudes del polígono más que de los ángulos. Esto debido a la gran irregularidad de las superficies sobre las que el cuadrante genera un error de paralaje en la lectura. Es necesario contrastar las mediciones de estos instrumentos con las tomadas por otros instrumentos o dispositivos para evaluar la eficacia de aquellos. Esta labor se realiza actualmente.

Con respecto a los procedimientos de muestreo que no requieren de dispositivos muy costosos, se piensa que el examen completo puede realizarse in situ con el auxilio de un ordenador portátil y/o un microscopio portátiles, aunque es beneficioso realizar los análisis en condiciones de laboratorio para no contaminar la muestra con otros registros, y obtener

de manera más eficaz el recuento de capas de revoque o la caracterización del sustrato. Se estima de gran utilidad el equipo portátil para situaciones de determinación en campo que requieran urgencia o en casos de imposibilidad de tomar y trasladar muestras.

Dentro de los objetivos del presente trabajo se encuentra el suministro de información útil para la práctica mejorada de la construcción con tierra. Aquella surge de la adecuada interpretación de los patrones de deterioro de estos edificios, instancia de reconocimiento compuesta por la observación empírica, la recolección de datos entre habitantes y vecinos, la investigación de antecedentes y las mediciones o procedimientos de análisis, a los cuales contribuye este trabajo.

Con esta metodología de auscultación se consigue una comprensión a nivel macro y micro de los efectos de aquellas acciones ambientales que afectan a todas las construcciones, pero principalmente a las de tierra debido a sus características intrínsecas de menor durabilidad ante la acción del agua y/o la inexistencia de mantenimiento. Esto nos aproxima al mejoramiento técnico, constructivo e higrotérmico de los elementos componentes de una vivienda, minimizando los deterioros inducidos por diseños de elementos y superficies de terminación contradictorios con las condiciones ambientales del emplazamiento.

Con respecto al ámbito de aplicabilidad de estos instrumentos y procedimientos, parece ser el del universo de edificios de tierra en situaciones análogas a los ejemplos elegidos ya que son susceptibles de

obtenerse lecturas de los mismos. Fundamentalmente para poseer registros con parámetros cuantitativos y cualitativos de los comportamientos y envejecimientos materiales de los mismos, ante la inminencia o necesidad de trabajos para su puesta en valor.

También para el mejoramiento de la técnica de tierra cruda a ser aplicada en viviendas o construcciones en general.

BIBLIOGRAFÍA

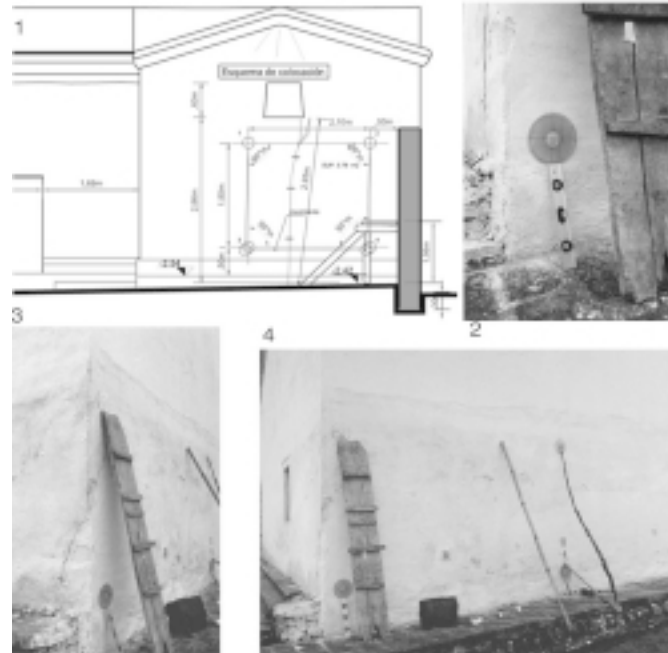
- ALVA, Alejandro; GELSOMINO, Luisella; CESARI, Carlo. *Rilevamento e diagnosi del quadro fessurativo. Strumenti di lettura del quadro fessurativo*, en Recupero edilizio 2 = rilevamento e diagnostica, Bologna, Italia, 1983, pp. 203-206.
- HELFGOT, Aarón. *Ensayo de los materiales*, Ed. Kapeluz, Buenos Aires, Argentina, 1979, pp. 159-160.
- HOUBEN, Hugo; GUILLAUD, Hubert. *Earth construction primer*. CRATE-rre/UNCHS-PCD-CRA-AGCD. Brussels, Belgium 1984.
- MALDONADO RAMOS, Luis; RIVERA GÁMEZ, David; VELA COSSÍO, Fernando (eds). *Arquitectura y construcción con tierra. Tradición e innovación*. Ed. Mairera-Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Madrid, España, 2002, pp. 69-80.
- MAÑÁ, Fructoso. *Patología de las cimentaciones*, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Barcelona, Ed. Blume, Barcelona, España, 1978.
- MINKE, Gernot. *Manual de Construcción en Tierra, La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Editorial Nordan Comunidad, Montevideo, Uruguay, 2001. 1° ed. Lehmbau-Handbuch, 1994.
- MONJÓ CARRIÓ, Juan. *Tratado de Rehabilitación, T.3, Patología y Técnicas de Intervención. Elementos Estructurales*, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, 1994, pp. 99-112.
- MONK, Felipe. *Patología de la piedra y los materiales de la construcción*. Ed. CEPRARA, Buenos Aires, Argentina, 1996, pp. 205-206.
- PIZZI, Celso. *Patología de la Construcción, Definiciones, Conceptos y Metodología*. En revista VIVIENDA, n° 245, Bs. As., 1982, pp. 43-47.
- PIZZI, Celso. *IV Aspectos estructurales de muros y fundaciones*. En revista VIVIENDA, n° 257, Bs. As., 1983, pp. 39-48.
- PUJAL, Arnaldo Juan. *Restoration Techniques for Earthen Buildings of Historical Value. Actual Cases*. En memorias de la 7° Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservacao da Arquitectura de Terra, Silves, Portugal, oct. 1993, pp. 244-249.
- RAMOS Adolfo; ROTONDARO, Rodolfo; MONK, Felipe, *Patrimonio y Arquitectura de Tierra del Noroeste Argentino, Metodología para el estudio comparativo de patologías constructivas*, en La Tierra cruda en la construcción del hábitat, memoria del 1° Seminario-Exposición Consorcio Terra Cono sur, Red XIV. E CYTED-HABITED/ANPCYT/CIUNT, San Miguel de Tucumán, Argentina, 2002.
- ROTONDARO, Rodolfo; RABEY, Mario. *Techos de tierra mejorados: un experimento tecnológico en Jujuy*. Foco de Tecnología Apropriada 26, CETAVIP, Sto. Domingo, República Dominicana, 1988, pp. 1- 13.

- ROTONDARO, Rodolfo; CÉCERE, María Carla; CASTAÑERA, Mónica Beatriz y GÜRTLER, Ricardo Esteban. *Propuestas para mejorar la vivienda rural en zonas afectadas por el Mal de Chagas. Santiago del Estero, Argentina*. En Revista Estudios del Hábitat Vol. II, Nº 6, IDEHAB-FAU-UNLP. La Plata. Publicación electrónica IDEHAB_ FAU_ UNLP/ revista/ index.htm, 1999, pp. 5-16.
- ROTONDARO, Rodolfo. Edificio Pozuelos. Summa+ Nº 56 :102-103. Buenos Aires. 2002.
- ROTONDARO, Rodolfo; MELLACE, Rafael; ALDERETE, Carlos; ARIAS, Lucía; LATINA, Stella Maris; SOSA, Mirta. *Mejoras de bajo costo para muros de tierra cruda, Tucumán, Argentina, Etapa II: Prototipos de muro*. Publicaciones LEME-FAU UNT, Tucumán, Argentina, 2003.
- RUTENBECK, Todd. *Monitoring Structural Movements*. En: CRM BULLETIN Vol.4 Nº 1, Washington DC., National Park Service, march 1981, pp. 14-16.
- RUTENBECK, Todd. *Assessment of Structural Faults and Monitoring of Structural Movements in Adobe Buidings and Ruins*, ponencia en Topic 5, Simposio Internacional y Curso Taller sobre Conservación del Adobe, Lima, Cusco, Trujillo, Perú, 1983.
- VARGAS NEUMANN, Julio; OTAZZI PASSINO, Gianfranco. *Investigaciones en adobe*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería, junio, 1981.
- VARGAS NEUMANN, Julio; BARTOLA, Juan; TORREALVA, Daniel; METHA, Povindar; VILLA GARCÍA, Gladis; GINOCCHIO, Juan y HEREDIA, Ernesto. *Durabilidad de las Construcciones de Adobe*, Investigación del Departamento de Estructuras e Ingeniería civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Convenio AID-PUCP (Proyecto AID-2) Lima, Perú, 1984-1985.
- VIÑUALES, María Graciela. *Restauración de arquitectura de tierra*. Ed. Inst. Arg. Inv. Hist. Arq. y Urb.-FAU-UNT. Tucumán, Argentina, 1981, pp. 43-64.
- WAINSTEIN-KRASUK, Olga; DUNOWICZ Renee; KNAUB, Nora y GERSCOVICH, Alicia. *Programa especial de Investigación en vivienda popular*, Secretaría de Investigación y postgrado, Centro FAU/UBA/OEA, Bs. As., Argentina, 1985, 2T.

ANEXO 1

FICHAS DISEÑO DE INSTRUMENTOS 001

Nombre: DEFORMÓMETRO



1 Y 3. MONTAJE DE CUADRANTES Y TRAZADO DEL POLIGONO / 2. DETALLE DEL CUADRANTE / 4. VISTA DE LOS CUADRANTES EN LOS CUATRO VÉRTICES

Objetivo: Medir deformaciones en el plano de un muro con agrietamientos, fisuras o evidencias de movimientos estructurales en sus uniones con otros muros.

Descripción: Consta de un polígono de cuatro lados, deformable, señalado en la pared a monitorear, cuyas variaciones de longitud en los segmentos y de magnitud en sus ángulos interiores permiten monitorear la deformación experimentada por el muro en el período de lectura. Sobre cada uno de los vértices del polígono se fija una guía para colocar el cuadrante graduado en grados sexagesimales para realizar la lectura. La sensibilidad del dispositivo es de 0.2° para los ángulos y de 0.5 mm para las longitudes.

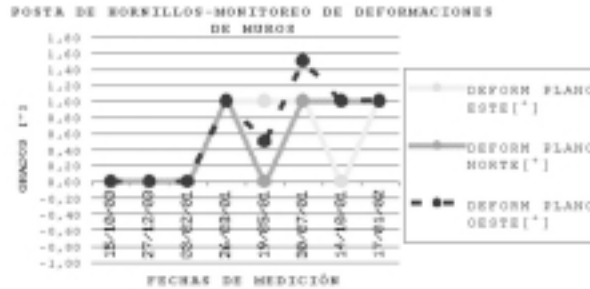
Período de lectura: El período entre lecturas se estableció en dos meses teniendo en cuenta la progresión de los agrietamientos, la ubicación de los edificios y la sensibilidad del dispositivo.

Evaluación: Inicialmente se colocó un cuadrante fijo en cada vértice de manera de mantener solidario el mismo a la pared para poder efectuar la lectura sin necesidad de mover el mismo. Luego se evaluó inconveniente dejar elementos fijos debido a las alteraciones de la superficie durante el período de lectura, durante el cual se favorecía la pérdida o secuestro de los mismos. Además esto no demostró aumentar la sensibilidad (Helfgot, 1979:100) del dispositivo.

Aplicabilidad: Este dispositivo se ideó para poder ser aplicado en campo, en el edificio a ser monitoreado para poder obtener el ritmo de los avances de las patologías estructurales manifestadas. Por esta razón la lectura con los cuadrantes es una operación mecánica, reproducible fácilmente por los técnicos o encargados del edificio que pueden registrar las variaciones.

FICHAS ENSAYO DE INSTRUMENTOS 001

Nombre: DEFOMÓMETRO



MOVIMIENTOS DE OREJONES EN LA POSTA DE BORNILLOS, PROVINCIA DE JUJUY

FECHA	SECTOR NOROCCIDENTAL		SECTOR NOROCCIDENTAL		SECTOR SURESTE	
	EXPOSICION	MOVIMIENTO (mm)	EXPOSICION	MOVIMIENTO (mm)	EXPOSICION	MOVIMIENTO (mm)
23-03-00			23-03-00		23-03-00	
28-06-00			28-06-00		28-06-00	
12-08-00			12-08-00		12-08-00	
15-10-00	6,0		15-10-00	6,0	15-10-00	6,0
27-12-00	6,0		27-12-00	6,0	27-12-00	6,0
03-02-01	6,0		03-02-01	6,0	03-02-01	6,0
26-03-01	1,0		26-03-01	1,0	26-03-01	3,0
15-05-01	6,0		15-05-01	1,0	15-05-01	6,0
08-07-01	1,0		08-07-01	1,0	08-07-01	3,0
14-10-01	1,0		14-10-01	6,0	14-10-01	3,0
17-03-01	1,0		17-03-01	3,0	17-03-01	3,0

Mediciones efectuadas: En los gráficos superiores se observan las curvas graficadas en base a las deformaciones medidas en los planos de muros con agrietamientos y fisuras, en ambos edificios.

Descripción: Estas permiten advertir la falta de movimientos regulares o la imposibilidad de registrarlos con la sensibilidad de este dispositivo, condición que es inconveniente en el caso de movimientos del orden de menos de un grado.

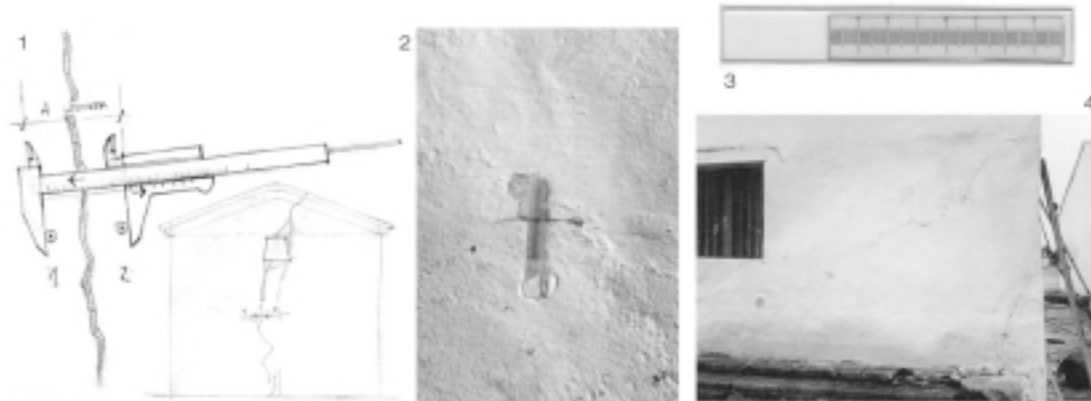
Colocación de instrumentos y equipos: La colocación de ambos dispositivos en los edificios está determinada por la presencia de patologías estructurales en los muros elegidos. La misma se observa en las figuras 1 y 2. Se debe señalar que no se dejaron los discos fijos

sino que se señaló el punto de lectura con un clavito como referencia.

Eficacia: La eficacia del dispositivo estará determinada por la comparación de las mediciones por otro dispositivo conocido. No obstante podemos observar que este permite ser aplicado en campo sin demasiadas dificultades y registrar las variaciones graficadas más arriba. Si bien esta información no es una curva en el sentido estricto sino un cambio de estado muy brusco, casi biestable, tal vez sea realmente indicativo de las variaciones experimentadas por el edificio. Por otro lado evaluamos que la aplicabilidad del dispositivo está en relación con el mayor grado de peligrosidad de los movimientos, debido a su baja sensibilidad.

FICHAS DE DISEÑO DE INSTRUMENTOS 003

Nombre : REGLAS GRADUADAS



1. ESQUEMA DE MONTAJE Y FORMA DE LECTURA MEDIANTE CALIBRE / 2. DETALLE DE UNA REGLA / 3. DETALLE / 4. MONTAJE DE ALGUNAS REGLAS EN LA LONGITUD DE LA FISURA

Objetivo: Medir la variación del ancho o distancia entre labios de las grietas o fisuras.

Estrategia de uso: Se instala el dispositivo en muros que estén afectados por acciones que produzcan grietas y fisuras que además son monitoreadas con el deformómetro y el flexímetro, a fin de correlacionar las lecturas de ambos procedimientos.

Descripción: Consta de una escala graduada en milímetros con el cero en el centro de la misma. Esta se adhiere con pegamentos o morteros a la pared que posee la grieta. La sensibilidad de la regla es de 0.2 mm y depende de la apreciación del operador que realice la lectura.

Periodo de lectura: El periodo entre lecturas se estableció en dos meses teniendo en cuenta la progresión de los agrietamientos, la ubicación de los edificios y la sensibilidad del dispositivo.

Evaluación: Estas reglas se colocan en muros con grietas de evolución rápida (por lo menos de 1 mm por mes) pero la variación de las mismas

disminuye o varía en ocurrencia por lo cual se eligieron periodos de lectura tan prolongados, además, para poder establecer la correlación con las lecturas de otros instrumentos. Inicialmente se pensó monitorear cada semana, lo cual resultó impracticable debido al emplazamiento rural del edificio y a las condiciones antes descritas. Posteriormente, debido a las dificultades de adherencia a las superficies de pared y a la rugosidad de las mismas se decidió disponer dos guías fijas a ambos lados de la grieta para medir la variación entre ellas por medio de un calibre de resolución 0.05 mm. Este determina la sensibilidad (Helfgot, 1979:100). El método consiste en medir el espesor máximo y mínimo de la grieta de mayor longitud (L) y la de menor longitud (l), en caso de haber más de una en el sector analizado.

Aplicabilidad: Este dispositivo se ideó para poder ser aplicado en campo, en el edificio a ser monitoreado para poder obtener el ritmo de los avances de las patologías estructurales manifestadas. Por esta razón la lectura de las reglas graduadas es una operación mecánica, reproducible fácilmente por los técnicos o encargados del edificio que pueden registrar las variaciones.

FICHAS DE ENSAYO DE INSTRUMENTOS 003

Nombre : REGLAS GRADUADAS



MONITOREO DE GRIETAS EN LA POSTA DE HORNILLOS-SECTOR MURO ESTE				
FECHA	ESPESORES DE GRIETA MENOR		ESPESORES DE GRIETA MAYOR	
	Emín [mm]	Emáx [mm]	emín [mm]	emáx [mm]
MONITOREO (mm)				
23-03-00	3,80	1,00	4,80	1,00
20-05-00	4,80	1,00	5,80	2,00
12-09-00	0,80	0,00	0,80	0,00
18-10-00	0,80	0,00	0,80	0,00
27-12-00	0,80	0,00	0,80	0,00
03-02-01	0,80	0,00	0,80	0,00
10-03-01	0,80	0,00	0,80	0,00
10-05-01	0,80	0,00	0,80	0,00
30-07-01	0,80	0,00	0,80	0,00
14-10-01	0,80	0,00	1,00	1,00
17-01-01	0,80	0,00	1,00	1,00

Mediciones efectuadas: Como se observa en los gráficos superiores, se tomaron mediciones de espesores en distintos muros del edificio afectados por patologías estructurales. Dentro de estos muros se eligieron la grieta mayor y la menor a fin de monitorear las variaciones de ambas como representativas del conjunto.

Descripción: Los gráficos revelan una actividad muy marcada en cuanto a variación de espesores en las grietas. Estas son indicadores más sensibles, si cotejamos con las otras magnitudes monitoreadas, de las variaciones volumétricas en el muro por lo cual representan una fuente de información valiosa aunque no puede ser analizada aisladamente de las demás magnitudes como deformaciones en el plano o desplomes.

Colocación de instrumentos y equipos: Esto no implica mayor dificultad, solo se debe tener cuidado en la limpieza de la superficies y la fijación

de las regletas. Se considera conveniente, en superficies muy rugosas o con placas de revoque de espesor considerable, lograr la lectura a través de la lectura entre dos pernos fijados a ambos lados de la grieta, con la ayuda de un calibrador pie de colisa, según se observa en la figura 1 de esta ficha.

Eficacia: Estará determinada por la comparación con otros dispositivos. No obstante ser este muy simple, podemos observar la variabilidad detectada que le confiere gran valor de registro a los espesores. No podemos concluir que la magnitud espesor es la más representativa de las patologías estructurales, pero sí podemos proponer que es una fuente necesaria para analizar la situación, accesible con un dispositivo muy simple como el presentado.

FICHAS DE PROCEDIMIENTOS 001

Nombre : EVOLUCIÓN-INVOLUCIÓN DE SUPERFICIES DE REVOQUE

MUESTRA MICROFOTOGRAFICA DE UNA SUPERFICIE CON LA NOMENCLATURA CORRESPONDIENTE. IGLESIA DE SAN IGNACIO. SE OBSERVAN TRES CAPAS PROTECTIVAS CON LA CARACTERÍSTICA FRACTURA DE EXFOLIACIÓN ENTRE CAPAS SUCEVAS CON PROCESOS DE FRAGUADO INDEPENDIENTES. TAMBIÉN SE APRECIAN LAS IMPRONTAS DE APLICACIÓN DE LA BROCHA O PINCEL Y LAS PROTUBERANCIAS DE ÁRIDOS REDONDEADOS PRESENTES EN LA CAPA DE PINTURA. EL ESPESOR DE LA CAPA OBSERVADA EN SOMBRA ES DE 100 MICRONES, Y EL TOTAL DE LA MUESTRA ES DE 1.300MM



Objetivo: Monitorear y cuantificar el envejecimiento de las capas superficiales y la evolución de sus patologías.

Estrategia de uso: Se monitorean las capas superficiales de revoque mediante el control del crecimiento o decrecimiento de la capa protectora superficial de los muros. Dicho muestreo se realiza en las superficies de muros afectadas por patologías superficiales y/o internas a fin de correlacionar estos resultados con los provenientes de otros procedimientos, inclusive con los que monitorean las patologías estructurales.

Descripción: Consiste básicamente en tomar muestras de las capas superficiales con la ayuda de una pequeña espátula y un mínimo esfuerzo mecánico en las superficies de muros. También puede realizarse con un bisturí, tratando de separar el estrato protector desde el revoque o con una cinta de empapelar adhiriéndola a la superficie y retirándola con la muestra. Posteriormente se dispone la misma en un portaobjeto de microscopio y se contabilizan la cantidad de capas protectoras diferenciables, como así también el estado de vinculación entre las mismas, correspondientes a pintura o recrecidos. Se determinan los respectivos espesores por comparación con patrones de espesor dispuestos junto a la muestra. Además se cualifica la porosidad de los mismos según tres estados posibles (muy poroso-poroso-sin porosidad), se detecta la presencia de elementos extraños a la estructura del revoque o pintura, como depósitos superficiales, pátinas, pátinas biológicas, películas orgánicas o inorgánicas. Una vez detectados estos, se complementa con la identificación a través de un ensayo normalizado. Al ser muestras mayormente planas o laminares es suficiente con una imagen que contenga la información buscada. Es conveniente emplear una lupa binocular o

microscopio cuya profundidad de campo con 100X a 200X, permita realizar una interpretación de la superficie. Se puede emplear una lupa binocular de por lo menos 30X o si se dispone de la posibilidad de capturar imágenes con diferentes enfoques se puede construir un plano mayor. En este caso se emplearon un microscopio para PC Intel Play QX3 de 10X-60X-200x y un microscopio portátil Lumagny Illuminated microscope con 60X-80X y 100X.

Período de muestreos: El período entre muestreos se estableció en dos meses teniendo en cuenta los intervalos elegidos para el monitoreo de las patologías estructurales a fin de analizar los resultados de diversos procedimientos y lecturas en forma conjunta y elaborar las interpretaciones según el mismo ritmo de cambios.

Evaluación: El procedimiento permite obtener los objetivos planteados y además conocer el avance natural de las deposiciones sobre las superficies protectoras, los procesos patológicos que afectan su normal envejecimiento, o las reposiciones eventuales de pintura que se aplican al edificio. Al tratarse de un procedimiento realizado eminentemente para superficies debe relacionarse la información proveniente del mismo con los resultados del procedimiento para espesor de revoques (PROC 002).

Aplicabilidad: Este procedimiento se desarrolló con la premisa de ser simple y fácilmente reproducible, que permita muestrear periódicamente las superficies de muros con aparentes patologías sin instrumental costoso o personal especializado. La instancia más crítica es la evaluación de las muestras para lo que se requiere un observador experimentado que diferencie conceptual y visualmente las características evaluadas en las muestras.

FICHAS DE PROCEDIMIENTOS 001

Nombre : EVOLUCIÓN-INVOLUCIÓN DE SUPERFICIES DE REVOQUE

Datos extraídos: En las muestras se identifican las siguientes cualidades: cantidad de capas protectivas; espesor de capa protectora exterior; espesor total de la muestra; presencia de cristales de calcio (u otros cristales consolidantes); estado de vinculación entre capas; elementos extraños o lesiones superficiales; porosidad cualitativa; material del elemento; microfisuras; depósitos superficiales y otras lesiones.

Descripción: Se advierte la necesidad de señalar la zona muestreada dentro de un área limitada en el elemento constructivo, para definir la evolución de la acción patológica específica. Ante la aparición de nuevas patologías es conveniente elegir otro punto de muestreo significativo en el elemento además del anterior.

Implementación en gabinete: Es sencilla, no requiere de dispositivos muy costosos y podría ser in situ con el auxilio de un procesador portátil, aunque es beneficioso realizar los análisis en condiciones de laboratorio para no contaminar la muestra con otros registros.

Eficacia: Es buena, principalmente teniendo en cuenta que se realiza rápidamente y puede incluso hacerse en campo sin demasiadas dificultades.