

DIAGNÓSTICO DE FACHADAS DE PIEDRA PARA REHABILITACIÓN O REUTILIZACIÓN

Arambarri, Alejandro Manuel^{a,b}; Bertero, Santiago^a; Carbonell, Maria^b

^aUniversidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería

^bArcora (Rueil Malmaison, Francia)

Palabras clave: patrimonio histórico, preservación, conservación, protocolo, ensayos no destructivos

RESUMEN

En un contexto en el que la preservación del patrimonio histórico ocupa un lugar preponderante entre los objetivos de los estudios de ingeniería, se manifiesta la necesidad de diagnosticar las fachadas de piedra natural. Las obras sobre este tipo de construcciones son frecuentes porque, en los últimos años, las normas, costumbres y necesidades relativas a los aislamientos han evolucionado a gran velocidad, obligando a revisar y cuestionar las construcciones más antiguas. Por otra parte, la exposición a los diferentes agentes climáticos produce alteraciones en la piedra, poniendo en duda el estado general de la fachada.

Actualmente no existe en Argentina ni en Europa un documento que indique de forma precisa cómo proceder en este tipo de situaciones. Con estos elementos en consideración se establece un protocolo para el diagnóstico de fachadas de piedra, ya sea con el propósito de preservar la fachada o para reutilizar la piedra. Se busca que el protocolo sea exhaustivo sin perder generalidad, a fin de que pueda ser seguido en la mayor cantidad posible de situaciones y ofrezca instrucciones precisas en cada una de ellas.

ABSTRACT

In a context where the preservation of historical heritage is a key objective in engineering studies, there is a clear need to assess natural stone façades. Work on this type of construction is common because, in recent years, standards, customs and requirements relating to isolation have evolved rapidly, forcing older buildings to be reviewed and questioned. Furthermore, exposure to different climatic agents causes alterations in the stone, raising doubts about the overall condition of the façade.

Currently, there is no document in Argentina or Europe that specifies precisely how to proceed in this type of situation. With these elements in mind, a protocol is established for the diagnosis of stone façades, whether for the purpose of preserving the façade or reusing the stone. The aim is for the protocol to be comprehensive without losing generality, so that it can be followed in as many situations as possible and offer precise instructions in each of them.

INTRODUCCIÓN

La piedra natural fue utilizada durante siglos como material de construcción debido a su durabilidad, valor estético y capacidad para integrarse en distintos contextos arquitectónicos. En numerosos edificios históricos y contemporáneos, las fachadas de piedra constituyen un elemento patrimonial cuya conservación resulta fundamental para preservar tanto el valor cultural de las construcciones como su identidad arquitectónica.

En las últimas décadas, la rehabilitación de edificios existentes adquirió una importancia creciente. La evolución de las exigencias reglamentarias, particularmente en materia de eficiencia energética, impulsó numerosas intervenciones sobre fachadas construidas originalmente sin los niveles de aislamiento que se requieren actualmente. Paralelamente, la creciente preocupación por la reducción de los impactos ambientales asociados a la construcción favoreció el desarrollo de estrategias orientadas a la conservación y reutilización de materiales existentes.

En este contexto, las fachadas de piedra natural plantean desafíos específicos. Por una parte, la exposición prolongada a agentes climáticos y ambientales puede provocar alteraciones que afectan tanto la apariencia como las propiedades mecánicas del material. Por otra parte, la ausencia de metodologías claramente establecidas dificulta la evaluación sistemática de su estado de conservación y de su aptitud para la rehabilitación o reutilización (Altamira, 2018)[1].

Diversos documentos técnicos abordan parcialmente esta problemática. La guía *Méthodologie de diagnostic et d'évaluation des performances pour le réemploi de revêtements de façade en pierre naturelle attachée* [2] propone una metodología de diagnóstico orientada a la reutilización de revestimientos de piedra natural, basada en la recopilación de información documental, la identificación de las condiciones de reutilización y el análisis de las operaciones de desmontaje y nueva puesta en obra. Asimismo, la guía *Notice d'aide à la décision, référentiel de l'ingénierie de la maintenance* [3] describe una secuencia de inventario, visita de evaluación, inspección detallada y diagnóstico aplicable a obras existentes. Sin embargo, estos documentos presentan limitaciones en cuanto a su ámbito de aplicación, al procedimiento de muestreo y a la definición de los ensayos necesarios para la toma de decisiones.

A partir de estas consideraciones, el presente trabajo propone un protocolo para el diagnóstico de fachadas de piedra natural aplicable tanto a proyectos de rehabilitación como de reutilización. El protocolo se desarrolla a partir del análisis bibliográfico y de la experiencia obtenida en proyectos previos, con el objetivo de proporcionar una metodología estructurada que permita orientar las inspecciones, definir los ensayos necesarios y establecer criterios para la evaluación del estado de las fachadas.

Finalmente, se presenta su aplicación en dos casos de estudio representativos, correspondientes a una operación de reutilización de piedra natural y a un proyecto de restauración patrimonial.

BASES METODOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DEL PROTOCOLO

El protocolo presentado en este trabajo fue desarrollado a partir de la combinación de tres fuentes principales de información: la bibliografía técnica y científica disponible, los documentos metodológicos existentes sobre diagnóstico y reutilización de materiales de construcción, y la experiencia obtenida en proyectos previos de rehabilitación de fachadas de piedra natural.

En primer lugar, se realizó una revisión de la bibliografía relativa al diagnóstico de materiales pétreos, a los procedimientos de evaluación de estructuras existentes y a las metodologías desarrolladas para la reutilización de elementos constructivos. Entre los documentos analizados, *Recommandations professionnelles – Réemploi d'éléments structuraux en acier* [4] resultó particularmente relevante por el enfoque metodológico adoptado para la evaluación y recalificación de elementos reutilizados. Asimismo, el documento *Cadre technique des matériaux de réemploi* [5] permitió incorporar conceptos relacionados con la aptitud para el uso de materiales reutilizados y con la influencia del nivel de confianza requerido sobre los programas de inspección y ensayo.

La referencia más directamente vinculada al objeto de estudio es la guía *Méthodologie de diagnostic et d'évaluation des performances pour le réemploi de revêtements de façade en pierre naturelle attachée* [2], que propone una metodología de diagnóstico específicamente orientada a la reutilización de revestimientos de piedra natural. Dicha guía constituye el principal punto de partida para el desarrollo del presente trabajo. Sin embargo, presenta ciertas limitaciones relacionadas con la definición de los programas de ensayo, los criterios de muestreo y el ámbito de aplicación considerado, aspectos que motivaron la elaboración de un protocolo más detallado y adaptable a diferentes contextos de intervención.

Por otra parte, la estructura general del procedimiento se apoyó en los principios desarrollados en la guía *Notice d'aide à la décision, référentiel de l'ingénierie de la maintenance* [3], particularmente en lo relativo a la secuencia de inventario, visita de evaluación, inspección detallada y diagnóstico. Este enfoque permitió establecer una metodología progresiva en la que el nivel de conocimiento sobre la fachada aumenta gradualmente a medida que avanzan las distintas etapas del estudio.

Finalmente, con el objetivo de garantizar la aplicabilidad práctica del protocolo, su desarrollo fue contrastado con la experiencia obtenida en diversos proyectos de

rehabilitación, restauración y diagnóstico de fachadas de piedra natural. El análisis de estos casos permitió identificar las patologías más frecuentes, las limitaciones operativas de las inspecciones en obra, los criterios habitualmente utilizados para la selección de ensayos y las dificultades asociadas a la toma de decisiones.

A partir de estas referencias bibliográficas y experiencias de campo se desarrolló un protocolo estructurado en cinco etapas sucesivas: análisis preliminar, visita de evaluación, sectorización y definición del programa de ensayos, inspección detallada y diagnóstico.

ETAPA 1 – ANÁLISIS PRELIMINAR

La primera etapa del protocolo tiene por objetivo reunir la información disponible sobre el edificio y la fachada antes de realizar cualquier inspección en obra. Esta fase permite comprender el contexto de la intervención, identificar posibles condicionantes técnicos y orientar las etapas posteriores del diagnóstico.

El trabajo comienza por recopilar la información general del edificio. En esta instancia se identifican su ubicación, año de construcción, uso, altura, modificaciones realizadas durante su vida útil y antecedentes de intervenciones sobre la fachada. Luego se procede a la recopilación de información relativa al material pétreo. En particular el tipo de piedra utilizada, las dimensiones de las placas, el sistema de fijación y las características de las juntas. A continuación, se deben identificar las condiciones ambientales y reglamentarias. Se debe poner atención todos los factores susceptibles de influir en la durabilidad de la fachada, entre ellos la exposición al viento, a las condiciones climáticas y al riesgo de ciclos de congelación y deshielo. Además, se debe recopilar toda la documentación técnica existente, tal como planos de arquitectura, detalles constructivos, memorias descriptivas o informes de inspección previos.

La recopilación de esta información permite elaborar una descripción completa de la fachada, que servirá como base para la planificación de la visita de evaluación y para la identificación preliminar de las zonas que podrían requerir inspecciones o investigaciones complementarias.

ETAPA 2 – VISITA DE EVALUACIÓN

La visita de evaluación constituye la primera inspección visual de la fachada. El objetivo es obtener una visión general del estado del revestimiento, verificar la información recopilada durante la etapa de análisis preliminar e identificar los sectores que requerirán investigaciones más detalladas.

Esta inspección se realiza generalmente desde el nivel del suelo o desde puntos

Organiza:

accesibles del edificio, sin necesidad de implementar medios de acceso específicos. Durante esta visita se busca identificar la presencia de patologías visibles, verificar la coherencia entre la documentación disponible y la realidad observada y reconocer las características constructivas principales de la fachada.

En esta etapa debe relevarse el estado general de conservación de la piedra y la presencia de patologías específicas fácilmente visibles. Algunas de estas son la presencia de fisuras o pérdidas de material, fenómenos de erosión o disgregación superficial o presencia de colonizaciones biológicas. También pueden apreciarse deformaciones o desplazamientos aparentes en las placas, deterioros visibles en las juntas o diferencias de envejecimiento entre orientaciones o zonas de la fachada.

Otro objetivo importante de esta etapa consiste en identificar las condiciones de accesibilidad de la obra y determinar los medios necesarios para la etapa posterior, la inspección detallada.

El resultado de esta etapa es un informe de evaluación preliminar que sintetiza las patologías observadas, identifica los sectores de interés y proporciona los elementos necesarios para sectorizar la fachada y definir una primera versión del programa de ensayos.

ETAPA 3 – LOTE O Y DEFINICIÓN DE ENSAYOS

Una vez realizada la visita de evaluación, la siguiente etapa consiste en definir el programa de investigaciones y ensayos necesarios para caracterizar el estado de la fachada y responder a los objetivos de la intervención. Dado que una misma fachada puede presentar condiciones de exposición y estados de conservación diferentes según su orientación, altura o entorno inmediato, resulta necesario dividirla previamente en sectores homogéneos (Yahmi, 2024)[6].

La sectorización tiene por objetivo identificar áreas de la fachada que puedan considerarse representativas de un mismo comportamiento frente a los agentes que generan la degradación de la piedra. Para esto se deben considerar factores tales como la orientación de la fachada, la exposición a la lluvia y al viento, la proximidad a fuentes de humedad, las características constructivas y la distribución observada de las patologías durante la visita de evaluación.

Una vez definidos los sectores homogéneos es posible establecer el programa de ensayos. La selección de estos análisis debe responder a las preguntas y a los objetivos que plantea la misión. En consecuencia, el programa de ensayos puede variar sensiblemente según se trate de una operación de restauración, rehabilitación o reutilización de los materiales.

Los ensayos que pueden formar parte del programa incluyen:

Organiza:

- Análisis petrográfico;
- Determinación de la porosidad y densidad aparente;
- Resistencia a flexión;
- Resistencia a ciclos de congelamiento y deshielo;
- Velocidad de propagación del sonido;
- Extracción y análisis de anclajes;
- Observaciones endoscópicas;
- Ensayos específicos definidos en función de las patologías observadas.

La cantidad de muestras y la distribución de los ensayos deben definirse considerando la representatividad de cada sector identificado y el nivel de confianza requerido para la toma de decisiones. Cuando el objetivo consista en determinar la aptitud para la reutilización de la piedra, el conjunto de ensayos deberá permitir evaluar tanto el estado actual del material como su comportamiento esperado a lo largo de su nueva vida útil. Por el contrario, en proyectos en los que el objetivo sea la restauración o la limpieza, puede resultar suficiente realizar investigaciones orientadas a la caracterización mineralógica y al estudio de las patologías identificadas.

Para los proyectos en los que se busque reutilizar la piedra, la elección de los ensayos estará condicionada por las exigencias normativas generales y por las exigencias particulares del sistema de fijación adoptado para la segunda vida de la piedra. En la Tabla 1 se condensan los ensayos necesarios en cada caso.

				Número de probetas (por ensayo)	Tamaño de las probetas (cm)	Superficie total (por ensayo) (m²)	Superficie por serie de ensayos (m²)
DTU 55.2	Examen petrográfico	petrográfico	NF EN 12407	1	4,4 x 2,8 x 3 o 7,5 x 5 x 3	0,00375	0,99
	Ensayos de identidad - Norma NF EN B10-601	Densidad y porosidad	NF EN 1936	6	7 x 7 x 3	0,0294	
		Flexión	NF EN 12372	10	18 x 5 x 3	0,09	
	Test de aptitud para el empleo para piedras naturales para revestimiento de muros exteriores fijados de piedra fina de espesor menor a 80mm - Norma NF EN B10-601	Ciclos de hielo y deshielo	NF EN 12371	7	18 x 5 x 3	0,063	
		Ruptura en el punto de fijación	NF EN 13364	10 o 20	20 x 20 x 3	0,8	
Específicos del sistema Fischer		Tracción (ruptura de la piedra en el punto de fijación)		12	20 x 20 x 3	0,48	2,03
		Cizallamiento (ruptura de la piedra en el punto de fijación)		7	20 x 40 x 3	0,56	
Específicos del sistema V-Clip (conformidad a la norma NF EN 12440)		Absorción de agua a presión atmosférica	NF EN 13755	6	7 x 7 x 3	0,0294	1,02
Específicos del sistema Keil		Cizallamiento	(EAD 330030-00-0601)	11	40 x 20 x 3	0,88	2,75
		Arrancamiento		11	40 x 20 x 3	0,88	

Tabla 1. Ensayos a realizar en función del método de fijación elegido

El resultado de esta etapa es un plan de ensayos que establece los sectores considerados, los ensayos previstos para cada uno de ellos y la determinación de las placas de piedra a retirar y ensayar.

ETAPA 4 – INSPECCIÓN DETALLADA Y RETIRO DE PIEDRAS

La inspección detallada tiene por objetivo obtener la información necesaria para caracterizar con precisión el estado de la fachada y verificar las hipótesis formuladas durante las etapas anteriores. A diferencia de la vista de evaluación, esta fase requiere generalmente el empleo de medios de acceso específicos que permitan la observación cercana de los distintos componentes del sistema fachada. Además, se debe concurrir a la ubicación con los medios necesarios para retirar las placas que fueron identificadas durante la etapa anterior para realizar los ensayos.

Los ensayos y análisis se realizarán sobre los sectores identificados previamente, incluye observaciones visuales de proximidad, desmontajes exploratorios, extracción de muestras y ejecución de los ensayos definidos en la etapa anterior. La naturaleza de estas intervenciones dependerá de los objetivos del proyecto y de las patologías observadas.

La inspección cercana permite verificar el estado real de las placas de piedra, identificar defectos difícilmente observables desde el suelo y evaluar el comportamiento de elementos críticos como juntas, fijaciones y anclajes. Además, permite contrastar las observaciones realizadas en las primeras etapas del procedimiento y determinar su pertinencia. Los desmontajes exploratorios permitirán confirmar la configuración constructiva de la fachada y detectar eventuales alteraciones ocultas en las interfaces entre materiales. Por último, esta etapa permitirá desarrollar planos de elevación en los que se encuentren identificados y ubicados los diferentes defectos encontrados durante la inspección.

Las muestras extraídas durante esta etapa se destinan a la realización de los ensayos seleccionados. Estos ensayos pueden estar orientados a la caracterización mineralógica del material, a la evaluación de sus propiedades físicas o mecánicas, o al análisis de mecanismos específicos de degradación. La elección de un tipo u otro de ensayos estará determinada por las necesidades identificadas a lo largo de las etapas iniciales y el objetivo de la misión.

Como resultado de esta etapa se obtiene un conocimiento detallado del estado de conservación de la fachada y de los materiales que la componen. Esta información constituye la base técnica necesaria para la elaboración del diagnóstico final y para la definición de las intervenciones recomendadas.

ETAPA 5 – ANÁLISIS DE RESULTADOS E INFORME DE DIAGNÓSTICO

La etapa final del protocolo consiste en analizar e interpretar la información recopilada durante las etapas anteriores con el fin de establecer un diagnóstico del estado de la fachada y formular las recomendaciones correspondientes.

El diagnóstico debe integrar los resultados del análisis documental, las observaciones realizadas durante las inspecciones, la información obtenida a partir de los desmontajes exploratorios y los resultados de los ensayos efectuados. El objetivo es identificar los mecanismos de degradación presentes, evaluar su extensión y determinar sus posibles consecuencias sobre la durabilidad y el comportamiento futuro de la fachada.

Dependiendo de los objetivos del proyecto, el diagnóstico podrá orientarse hacia diferentes aspectos. En operaciones de conservación o restauración, el análisis se centra principalmente en la identificación de las patologías existentes y en la definición de las intervenciones necesarias para garantizar la preservación del material. En proyectos de reutilización, el diagnóstico debe además permitir evaluar la aptitud de las piedras para una nueva puesta en obra y definir las eventuales limitaciones o condiciones de reutilización. Para permitir extraer estas conclusiones, cuando se realicen ensayos, deberán compararse con los requisitos establecidos en la norma NF EN B10-601 (AFNOR, 2019)[7].

Las conclusiones del diagnóstico deben estar respaldadas por los resultados obtenidos durante las investigaciones y presentar de forma explícita las incertidumbres que pudieran subsistir. En todos los casos las recomendaciones formuladas deben ser coherentes con el nivel de conocimiento alcanzado y con los objetivos específicos de la intervención.

El resultado de esta etapa es un informe de diagnóstico que sintetiza el estado de conservación de la fachada, identifica los mecanismos de deterioro observados y establece las acciones recomendadas para su conservación, rehabilitación o reutilización.

Por razones de extensión, en este trabajo se presenta únicamente una síntesis del protocolo propuesto. La descripción detallada de las cinco etapas, los criterios utilizados para la definición del programa de ensayos y la fundamentación metodológica pueden consultarse en el proyecto de fin de estudios del autor (Arambarri, 2025)[8].

ÁRBOL DE DECISIÓN

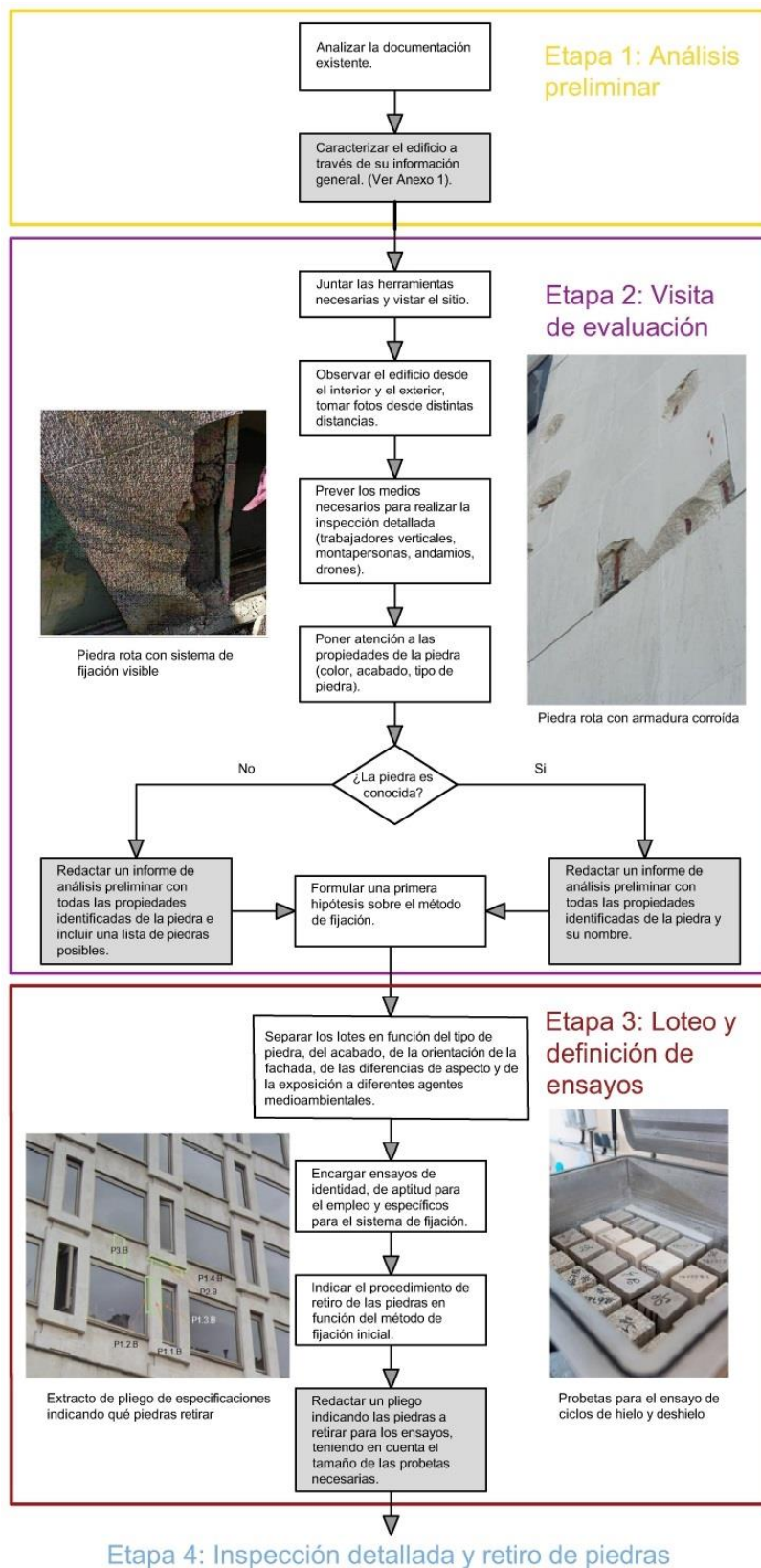
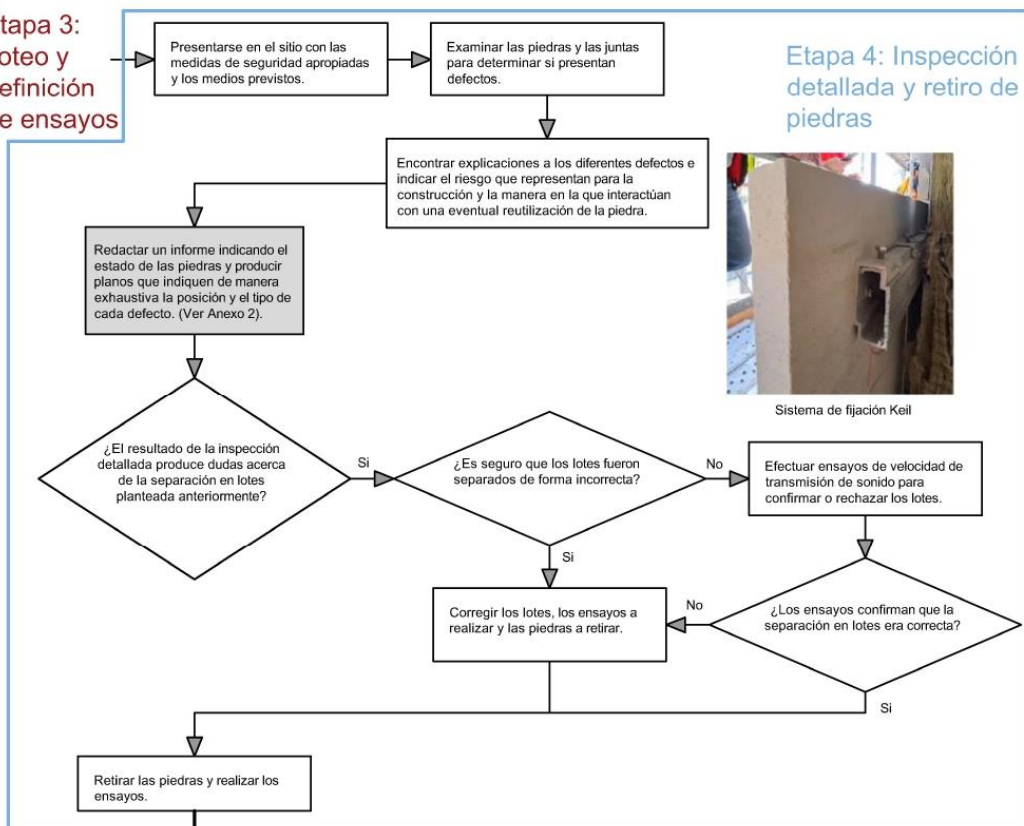


Figura 1. Etapas 1 a 3 del protocolo

Organiza:

Etapa 3:
Loteo y
definición
de ensayos



Etapa 5:
Análisis de
resultados e informe
de diagnóstico

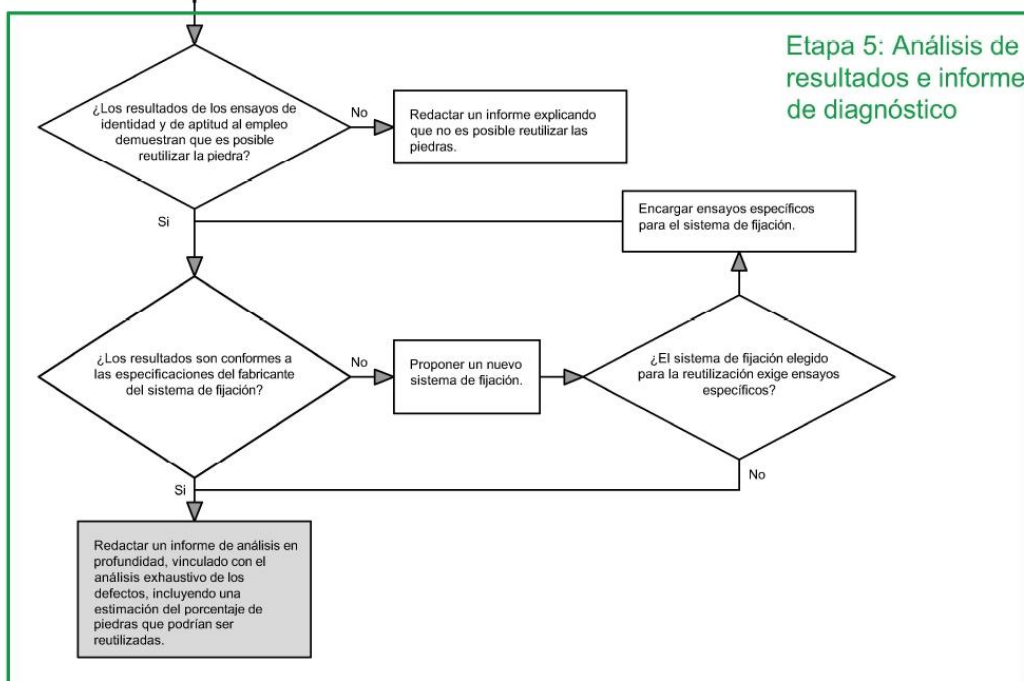


Figura 2. Etapas 4 y 5 del protocolo

APLICACIÓN DEL PROTOCOLO A UN PROYECTO DE REUTILIZACIÓN DE PIEDRA NATURAL

Con el fin de ilustrar la aplicación del protocolo propuesto, se presenta el caso de un proyecto de rehabilitación de un edificio ubicado en la región parisina. La operación contempla el desmontaje completo del revestimiento de piedra natural existente, su acondicionamiento y su posterior reutilización en la nueva envolvente del edificio. En consecuencia, el objetivo principal del diagnóstico consiste en determinar la aptitud de las placas para una nueva puesta en obra y definir las investigaciones necesarias para justificar técnicamente su reutilización. La Figura 3 muestra la fachada del edificio en cuestión.



Figura 3. Fachada de edificio a rehabilitar en región parisina

La documentación disponible permitió identificar las características generales del edificio, la naturaleza del revestimiento pétreo y el sistema de fijación empleado. Además, se recopilaron los antecedentes de proyecto y la información relativa a las intervenciones previstas sobre la fachada.

El análisis preliminar permitió establecer el contexto general de la operación y definir las principales preguntas a responder durante las etapas posteriores del diagnóstico, particularmente aquellas relacionadas con el estado de conservación de la piedra y su capacidad para cumplir una nueva vida útil.

Se realizó una inspección visual de la fachada con el objetivo de identificar las patologías visibles y verificar la coherencia entre la documentación disponible y las

condiciones observadas en obra. Durante esta etapa se identificaron sectores con diferentes niveles de alteración, incluyendo fenómenos de suciedad superficial, degradaciones localizadas y diferencias de exposición entre orientaciones. La Figura 4 muestra un borde astillado y la Figura 5 muestra una fisura.



Figura 4. Borde astillado en el proyecto ubicado en región parisina



Figura 5. Fisura en el proyecto ubicado en región parisina

La visita permitió además seleccionar los sectores representativos de la fachada y definir las zonas que requerían investigaciones más detalladas.

A partir de las observaciones realizadas durante la visita de evaluación, la fachada fue dividida en sectores homogéneos considerando la orientación, el estado de conservación observado y las condiciones de exposición.

Dado que el objetivo del proyecto era la reutilización de las placas de piedra, se definió un programa de investigaciones orientado tanto a la caracterización del material como a la evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas. El programa incluyó inspecciones visuales de proximidad, extracción de muestras, análisis petrográficos, ensayos físicos y ensayos mecánicos destinados a evaluar el comportamiento del material.

La inspección detallada permitió observar directamente el estado de las placas y de los sistemas de fijación, así como realizar los desmontajes exploratorios previstos. Durante esta etapa se extrajeron muestras representativas de los distintos sectores definidos previamente y se ejecutaron los ensayos incluidos en el programa de investigaciones.

Los resultados obtenidos permitieron caracterizar la piedra, identificar los principales mecanismos de degradación presentes y cuantificar las propiedades necesarias para evaluar la aptitud de reutilización de los elementos.

La integración de los resultados obtenidos permitió establecer un diagnóstico del estado de conservación de la fachada y determinar las condiciones de reutilización de las placas de piedra natural. Asimismo, el caso permitió validar la secuencia metodológica propuesta y verificar la utilidad de la sectorización previa para optimizar el programa de investigaciones.

Este proyecto constituye un ejemplo representativo de aplicación del protocolo en un contexto donde el objetivo principal es la reutilización de los materiales existentes, situación que requiere un nivel de conocimiento significativamente superior al necesario en operaciones convencionales de restauración.

APLICACIÓN DEL PROTOCOLO A UN PROYECTO DE RESTAURACIÓN PATRIMONIAL

Como segundo caso de aplicación se presenta el proyecto de restauración de la fachada del edificio histórico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, Sede Paseo Colón. A diferencia del caso anterior, el objetivo de la intervención no consiste en evaluar la aptitud de los materiales para su reutilización, sino en definir las acciones necesarias para la conservación y restauración de la fachada existente. La Figura 7 muestra la fachada del edificio.



Figura 7. Fachada de edificio FIUBA, sede Paseo Colón 850

La primera etapa del proyecto consistió en la recopilación y análisis de la documentación disponible sobre el edificio y sus fachadas. Se revisaron antecedentes históricos, documentación gráfica e informes técnicos existentes, con el objetivo de caracterizar los materiales presentes y comprender las principales intervenciones realizadas a lo largo de la vida útil del edificio.

También se identificaron las condiciones ambientales y de exposición de las fachadas, así como las principales problemáticas de conservación asociadas a la antigüedad del inmueble y a su condición patrimonial.

Posteriormente se realizó una inspección visual de las fachadas que permitió identificar los principales mecanismos de deterioro presentes. Entre las patologías observadas se registraron depósitos superficiales, colonización biológica y alteraciones localizadas de la piedra. La Figura 8 muestra una colonia biológica identificada en el edificio, la Figura 9 muestra eflorescencias localizadas en la misma fachada y la Figura 10 muestra una planta en crecimiento entre las piedras.



Figura 8. Colonia biológica identificada en el edificio FIUBA, sede Paseo Colón 850



Figura 9. Eflorescencias identificadas en el edificio FIUBA, sede Paseo Colón 850



Figura 10. Planta en crecimiento identificada en el edificio FIUBA, sede Paseo Colón 850

La inspección permitió además localizar las zonas más perjudicadas y definir los sectores que requerían observaciones complementarias para la preparación del proyecto de restauración.

A partir de las observaciones realizadas durante la visita de evaluación se identificaron las distintas patologías predominantes en cada sector de la fachada. Sin embargo, dado que el objetivo de la intervención era la restauración del revestimiento existente y no la evaluación de su aptitud para una nueva puesta en obra, no resultó necesario implementar un programa extenso de caracterización física y mecánica.

En consecuencia, el único ensayo solicitado fue un análisis petrográfico de las piedras presentes en la fachada. Esta decisión resulta coherente con los objetivos del proyecto, ya que la información requerida se encontraba principalmente vinculada a la caracterización mineralógica del material y a la definición de las técnicas de restauración más apropiadas.

La inspección detallada permitió completar la identificación de las patologías observadas durante la visita de evaluación y verificar su extensión sobre las distintas fachadas del edificio. Asimismo, se realizaron los relevamientos necesarios para la preparación de la documentación técnica de la intervención.

Las muestras extraídas fueron sometidas a análisis petrográfico con el fin de caracterizar la composición mineralógica y textural de la piedra. Los resultados

obtenidos constituyeron un insumo fundamental para la selección de los morteros de reparación y de los tratamientos biocidas compatibles con el material original.

La información recopilada permitió establecer un diagnóstico del estado de conservación de las fachadas y definir las intervenciones necesarias para su limpieza, restauración y conservación. A diferencia del caso de reutilización presentado anteriormente, el objetivo del diagnóstico no fue determinar la aptitud de las piedras para una nueva vida útil independiente de la estructura existente, sino proporcionar los elementos técnicos necesarios para la elaboración del proyecto de restauración.

Al momento de redacción de este trabajo, el pliego licitatorio correspondiente a la intervención ya ha sido emitido, aunque las obras todavía no han comenzado. Este caso demuestra que el protocolo propuesto puede aplicarse también en operaciones de restauración patrimonial, adaptando el alcance de las investigaciones a los objetivos específicos del proyecto.

COMPARACIÓN ENTRE LOS CASOS DE APLICACIÓN

Los dos casos de aplicación presentados permiten evaluar la pertinencia del protocolo propuesto en contextos de intervención significativamente diferentes. Si bien ambos proyectos involucran fachadas de piedra natural y requirieron la realización de inspecciones y estudios previos, los objetivos perseguidos en cada caso fueron distintos y condujeron a programas de investigación de alcances diferentes.

En el proyecto de reutilización desarrollado en la región parisina, el objetivo principal consistía en determinar la aptitud de las placas de piedra para una nueva puesta en obra. Esta situación exigió un nivel elevado de conocimiento sobre el estado del material y justificó la realización de investigaciones orientadas tanto a la caracterización petrográfica como a la evaluación de propiedades físicas y mecánicas. En este contexto, la sectorización de la fachada y la definición de un programa de ensayos adaptado resultaron fundamentales para optimizar los recursos disponibles y garantizar la representatividad de los resultados obtenidos.

Por el contrario, en el caso de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, el objetivo de la intervención no era determinar la aptitud para la reutilización de las piedras, sino definir una estrategia de limpieza y restauración de la fachada existente. Como consecuencia, las necesidades de información fueron diferentes y el análisis petroográfico constituyó la principal investigación de laboratorio requerida. Los resultados obtenidos permitieron caracterizar el material y establecer criterios para la selección de morteros de reparación y tratamientos biocidas compatibles con la piedra original, sin necesidad de realizar ensayos mecánicos adicionales.

La comparación entre ambos casos evidencia que el protocolo no debe interpretarse

como una secuencia rígida de investigaciones predefinidas. Por el contrario, su objetivo consiste en proporcionar un marco metodológico que permita adaptar el alcance de las inspecciones y ensayos a los objetivos específicos de cada proyecto. En todos los casos, las cinco etapas propuestas permanecen vigentes, pero la naturaleza y profundidad de las investigaciones pueden variar en función del nivel de conocimiento requerido para la toma de decisiones.

Asimismo, los casos analizados muestran la importancia de las etapas iniciales de recopilación documental e inspección visual para orientar eficientemente las investigaciones posteriores. La correcta identificación de las patologías, de las condiciones de exposición y de los sectores representativos de la fachada permite optimizar los recursos destinados al diagnóstico y reducir la realización de ensayos innecesarios.

Finalmente, la aplicación del protocolo en proyectos reales permitió verificar su viabilidad operativa y su capacidad para integrar información de naturaleza diversa dentro de una secuencia lógica de toma de decisiones. No obstante, futuras aplicaciones sobre otros tipos de fachadas y materiales pétreos permitirán continuar validando y enriqueciendo la metodología propuesta.

CONCLUSIONES

Las intervenciones sobre fachadas de piedra natural requieren disponer de información confiable sobre el estado de conservación de los materiales y sobre los mecanismos de degradación que los afectan. Sin embargo, la bibliografía disponible muestra que, si bien existen documentos técnicos orientados al diagnóstico de obras existentes y a la reutilización de materiales de construcción, no se dispone de una metodología claramente definida para orientar de manera sistemática las investigaciones necesarias en proyectos de rehabilitación, restauración o reutilización de fachadas pétreas.

Con el objetivo de contribuir a cubrir esta necesidad, en el presente trabajo se desarrolló un protocolo de diagnóstico estructurado en cinco etapas sucesivas: análisis preliminar, visita de evaluación, loteo y definición del programa de ensayos, inspección detallada y diagnóstico. La metodología propuesta permite organizar progresivamente la adquisición de información, orientar las investigaciones y adaptar el alcance de los ensayos a los objetivos específicos de cada intervención.

La aplicación del protocolo a un proyecto de reutilización de piedra natural en la región parisina y a un proyecto de restauración patrimonial en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires permitió verificar su aplicabilidad en contextos de intervención diferentes. En ambos casos, la secuencia metodológica propuesta resultó

adecuada para estructurar las investigaciones y fundamentar la toma de decisiones técnicas.

La comparación entre los casos estudiados puso de manifiesto que el principal aporte del protocolo no reside en la definición de un conjunto fijo de ensayos, sino en el establecimiento de un marco metodológico que permite seleccionar las investigaciones necesarias en función de los objetivos del proyecto. Mientras que la reutilización de materiales exige una caracterización física y mecánica exhaustiva, las operaciones de restauración pueden requerir únicamente estudios específicos orientados a la comprensión de los materiales y de los mecanismos de alteración presentes.

Finalmente, los resultados obtenidos sugieren que la metodología propuesta constituye una herramienta útil para la planificación y ejecución de diagnósticos de fachadas de piedra natural. Su aplicación a nuevos proyectos permitirá continuar validando el protocolo y enriquecer los criterios de selección de ensayos y de evaluación de los materiales en distintos contextos de intervención.

AGRADECIMIENTOS

Al sistema de educación pública de Argentina y a la Universidad de Buenos Aires.

Al equipo de Arcora que me permitió llevar a cabo gran parte de la investigación.

REFERENCIAS

[1] Altamira (2018). Reciclaje de los residuos de la construcción y demolición en Argentina.

[2] Fondation Batiment Energie (2020). Méthodologie de diagnostic et d'évaluation des performances pour le réemploi de revêtements de façade en pierre naturelle attachée.

[3] Collin, IMGC (2023). Notice d'aide à la décision, référentiel de l'ingénierie de la maintenance 2e édition.

[4] CTICM, Syndicat français de la construction métallique (2024). Recommandations professionnelles – réemploi d'éléments structuraux en acier.

[5] Poncelet, Vrijders (2021). Cadre technique des matériaux de réemploi - comment justifier les performances techniques des matériaux de réemploi.

[6] Yahmi (2024). Méthodologie de diagnostic et d'évaluation des performances pour le réemploi de bardages rapportés en tuiles de terre cuite et béton, panneaux fibres-ciment, ardoises fibres-ciment et naturelles – Note méthodologique Spirou.

[7] AFNOR (2019). Norme nf en b10-601 produits de carrière – pierres naturelles - prescriptions générales d'emploi des pierres naturelles.

[8] Arambarri (2025). Diagnostiquer la pierre en façade en vue d'un réemploi ou d'une réutilisation - Caractérisation mécanique et procédures de détection de défauts.