



TÓPICO 5 – (Patrimonio Histórico)

Estudios Preliminares para la Puesta en Valor del Monumento a los Héroes de la Independencia de Humahuaca (Jujuy, Argentina)

Susana Gea^{1,a}, Oscar Suárez^{2,b}, Miguel Boso^{3,c} y Pablo Chacón^{2,d}

¹Facultad de Ingeniería – Consejo de Investigación - Universidad Nacional de Salta, Argentina

²Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Salta, Argentina

³Facultad de Ciencias Naturales - Universidad Nacional de Salta, Argentina

^ageas@unsa.edu.arnail, ^bomoisess@hotmail.com, ^cmboso@unsa.edu.ar,
^dpdanielchacon@yahoo.com.ar

Palabras-clave: hormigón armado, fuego, piedra ornamental, ensayos

Resumen.

El Monumento a los Héroes de la Independencia de la ciudad de Humahuaca (Provincia de Jujuy, Argentina) es una obra, cuyo autor es Ernesto Soto Avendaño Y que representa magníficamente las razas autóctonas y europeas que conforman la identidad argentina. Fue inaugurado en 1950 y está ubicado en la colina de Santa Bárbara frente a la plaza principal. Fue erigido en esta ciudad por ser la Quebrada del mismo nombre el lugar del país en donde más se combatió en defensa de la independencia nacional.

Este monumento de valor patrimonial, fundición en bronce de 40 toneladas, está sustentado por una estructura de hormigón armado, la cual incluye instalaciones adecuadas para vivienda de un cuidador con subsuelo. Lo rodea un muro de sostenimiento de mampostería de piedra bola que soporta un relleno de grava.

Entre otras patologías que presenta el conjunto, la estructura de hormigón armado del subsuelo ha sufrido la acción de un incendio del archivo que albergaba. Por otra parte, las piedras de revestimiento del monumento fueron sometidas a acciones vandálicas y para su limpieza se han seguido procedimientos inadecuados que, lejos de mejorarlas, perjudicaron su aspecto.

Se muestran en este trabajo las investigaciones realizadas en la piedra ornamental, tendientes a definir la metodología más adecuada para devolverle su apariencia original y también los estudios del hormigón para determinar el grado de daño producido por el fuego.

Introducción

Humahuaca, en su ubicación geográfica, fue una zona estratégica entre las conexiones de los virreinos del Perú y del Río de La Plata y puerta de entrada a este último por parte de las tropas españolas. Muchos pueblos americanos resistieron al embate europeo, en este particular caso hacemos



referencia a los “omaguacas”, pueblo aguerrido que ocupaba la región limítrofe norte de Argentina, cuyos habitantes tuvieron una importante participación en la lucha de la independencia del territorio [1].

Los omaguacas habitaron en lo que hoy denominamos Quebrada de Humahuaca, caracterizada por quebradas montañosas que ocupan la región subandina del este, se extiende a lo largo de unos 180 km, se encuentra enmarcada por cordones montañosos y es atravesada por el Río Grande (antiguamente río Omaguaca) [2].

La resistencia que opusieron los pueblos del norte Argentino fue primordial para la consolidación de la independencia en 1816. Es por ello que en el seno de la Quebrada de Humahuaca se eleva una obra monumental denominada “**Monumento a los Héroes de la Independencia**”, ya que fue escenario estratégico y campo de las hazañas más bravas e imperecederas de la Guerra Gaucha [3].

En el curso del año 1924 el gobierno del presidente de la Nación, Dr. Marcelo Torcuato de Alvear, llamó a concurso para levantar un monumento en homenaje a los Héroes de la Independencia Nacional. Trece escultores y arquitectos participaron del llamado a concurso adjudicándose la obra a Ernesto Soto Avendaño, reconocido escultor [4].

Dicho Monumento está compuesto por tres cuerpos con altos relieves ubicados sobre un basamento de hormigón armado revestido en piedra. Sobre la colina de Santa Bárbara, se orienta hacia el este abriéndose a la calle a través de una imponente escalinata de 150m de longitud por 20m de ancho realizadas con piedras de la región. La parte artística, trabajada en bronce, se inserta por el oeste en la propia colina de Santa Bárbara, sosteniendo la figura principal que encarna un hombre originario de estas tierras. Esta imponente figura del homenaje a la independencia, visible desde los cuatros rumbos y de grandes proporciones, simboliza la nueva raza de los argentinos y fue denominada “el grito de libertad” [5].



a)



b)

Figura 1: (a) Fachada principal con escalinata de acceso; se observa la escultura principal y los altos relieves a sus pies sobre el basamento de hormigón revestido en piedra – (b) Fachada sur



Elaborar la figura central del monumento -el indio- y el grupo central, insurmieron al artista diez años hasta concluir la magnífica obra de 40 toneladas de bronce (Fig. 1), inaugurándose el 23 de agosto de 1950.

La obra. Estructura y materiales

El conjunto escultórico se apoya sobre una estructura de hormigón armado revestida en piedra ornamental, cuyo interior aloja un tanque de reserva de agua potable (Figs. 1 y 2), hoy en desuso. Esta estructura se encuentra flanqueada por dos muros curvos independientes de mampostería de piedra. El conjunto forma un recinto ocupado parcialmente por un edificio, cuya finalidad es la de constituir vivienda del cuidador del monumento y a la que se accede por la fachada sur (Figs. 3.c y 3.d). La estructura de este último es de hormigón armado, como también la del subsuelo bajo la casa. El espacio restante entre muros es ocupado por un relleno de tierra de la zona (Figs. 3.a y 3.c).

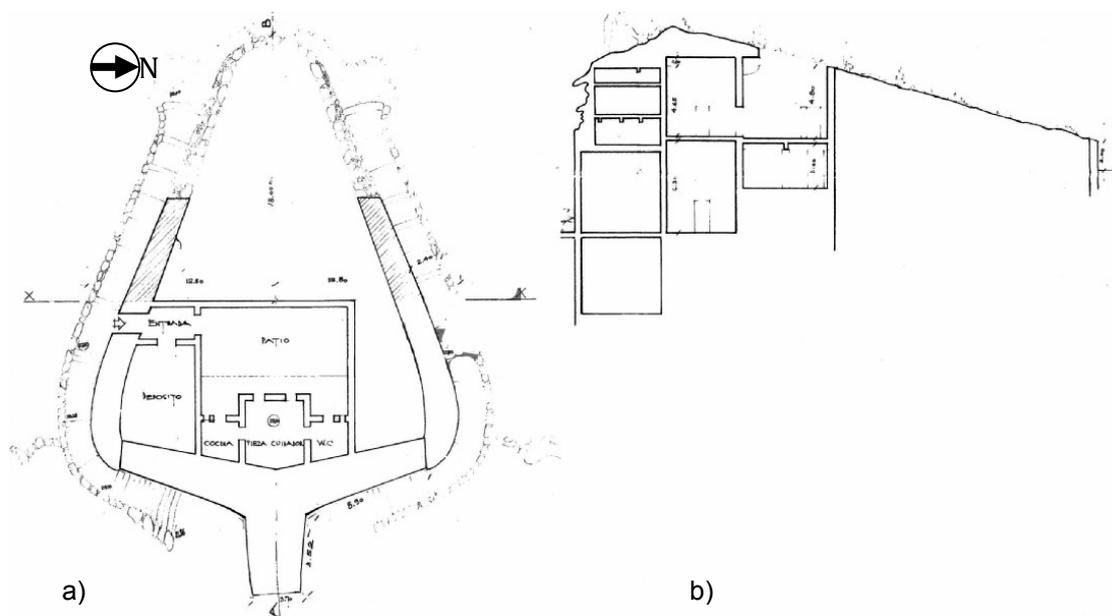


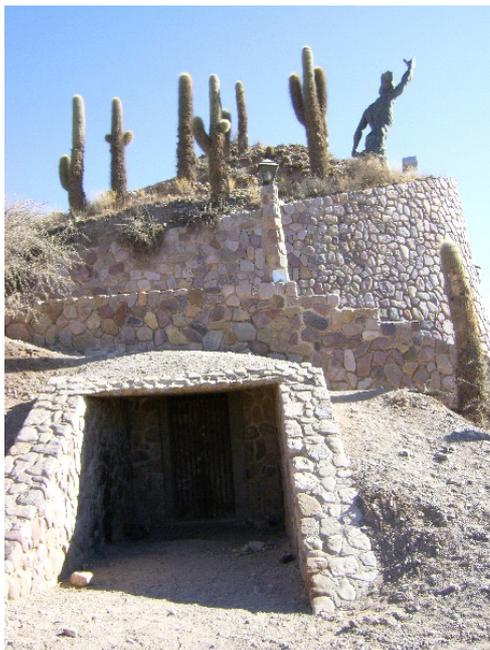
Figura 2: Planos originales de la obra de basamento. (a) Planta; (b) Corte A-B (gentileza CeDIAP)



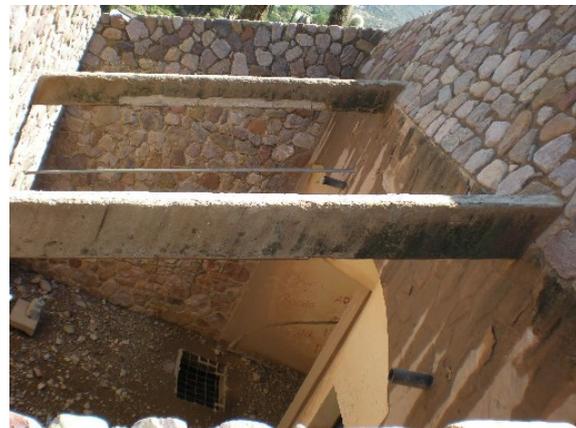
a)



b)



c)



d)

Figura 3: (a) Relleno entre muros; (b) proceso de colocación de los bloques de revestimiento; (c) acceso a la vivienda por la fachada sur; (d) patio de la vivienda visto desde arriba sobre el relleno.

Patologías observadas en los materiales y propósito de la investigación

1. Piedra de revestimiento del basamento de hormigón armado.

La Fig. 4 permite observar inscripciones con pintura sobre la piedra de revestimiento. En el afán de restaurar la superficie, el proceso utilizado dejó



marcas muy visibles. Es necesario caracterizar la roca y efectuar experiencias de laboratorio con el fin de determinar la metodología a emplear para quitar la pintura, restaurando el aspecto original del monumento. Con la finalidad de cumplir con los objetivos propuestos, es que se desarrollaron tareas de campo y gabinete (microscopio y laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Salta). Para ello se realizaron observaciones oculares al monumento, se recolectaron muestras de la piedra labrada original existente en depósito municipal (es decir, sin daño a la obra) y fueron tomadas fotografías diversas.



a)



b)

Figura 4: Pintura sobre la piedra de revestimiento. Se observa también los efectos de la limpieza efectuada (Gentileza C. Demergassi)

2. Hormigón estructural en la vivienda del cuidador

Estando deshabitado el edificio, cuando años atrás el recinto era utilizado como archivo municipal, se produjo un incendio en el interior del subsuelo bajo la casa. La Fig. 5 evidencia el estallido del recubrimiento por diferencias de dilatación térmica. Con el fin de evaluar la seguridad de la estructura de hormigón armado, se tomaron muestras del hormigón a fin de realizar estudios de laboratorio que permitieran determinar los efectos del fuego en el material.

En una primera instancia se decidió que estas muestras involucraran solamente el recubrimiento de hormigón, y en función de los resultados preliminares de la investigación, proceder o no a la extracción de testigos que



comprendan todo el espesor de los elementos estructurales. Esto último, fundamentado en la intención de intervenir lo menos posible en la obra.



a)

b)

Figura 5: (a) Efectos del incendio en el subsuelo y (b) detalle del estallido del hormigón en viga, indicando con la flecha el lugar de toma de muestra del material para análisis.

Estudio de la piedra de ornamentación

1. Características ambientales del sitio.

El monumento se encuentra en plena puna jujeña a una altura sobre el nivel del mar de 3000m, con un clima árido de carácter continental intenso, bajas precipitaciones que ocurren en el verano y con inviernos secos y fríos, con insolación intensa y fuerte irradiación.

Consecuente con el tipo de clima, los procesos de meteorización por excelencia son de tipo físico, es decir de desagregación predominante con una reducida alteración de los macizos rocosos. Idéntico comportamiento registran las edificaciones. El monumento no registra mayores consecuencias derivadas de los procesos de meteorización, dada las características intrínsecas de la piedra, es decir su composición mineral y demás elementos constituyentes, como se verá más adelante y, sobre todo, porque se mantiene el contexto ambiental de la cantera.

2. Metodología de trabajo

Con las muestras recolectadas, ya en gabinete, fueron realizados cortes delgados para determinar el tipo de roca, desde el punto de vista petrográfico en forma microscópica y megascópica; es decir, en una muestra de mano con lupa binocular de varios aumentos y las secciones delgadas en un microscopio petrográfico. Algunos registros fotográficos se muestran en las Figs. 6 y 7.



Otro tipo de estudio consistió en aplicar pinturas sobre una de las muestras con distintos colores con aerosoles y posteriormente eliminarla a) mediante abrasión con chorro de arena y b) empleando solventes.

3. Análisis petrográfico

Los materiales rocosos utilizados en el emplazamiento de la obra son sedimentitas de edad Terciaria, pertenecientes a la Formación Peñas Coloradas [6], cuyos macizos rocosos conformando canteras se encuentran muy próximos a la ciudad de Humahuaca. Se trata de una arenisca de grano medio a grueso predominante, moderadamente seleccionada, de color 10R 4/6 (castaño rojizo moderado, según Tabla de Colores de la Geological Society of America), maciza, compacta y con pátina de alteración hematítica (Fig. 6).



Figura 6: Muestra de mano de la roca empleada como revestimiento

De la observación al microscopio (Fig. 7) se describe sintéticamente el material como de textura clásica condensada, con esqueleto de granos subredondeados y redondeados predominantes, de moderada selección, con tamaños variables entre arena gruesa y fina.

Los contactos entre los granos varían entre recto, puntuales y cóncavo-convexos. La matriz es limo-arcillosa, presente en menos del 10%; está compuesta por partículas de tamaño limo angulosas y películas de arcillas que rodean a los componentes del esqueleto y de la matriz. El material cementante es silíceo y ferruginoso; el primero se presenta como crecimiento secundario y el segundo como fina película que rodea a los clastos.

La composición mineralógica de la muestra está constituida por cuarzo (90%), principalmente monocristalino. Los feldespatos están representados por granos de arena mediana a fina de microclino fresco y ortosa alterada, plagioclasas de doble origen; unas se presentan frescas y otras muy alteradas en arcillas.

Se clasifica la muestra como arenita cuarzosa subfeldespática, mediana a fina, ferruginosa.

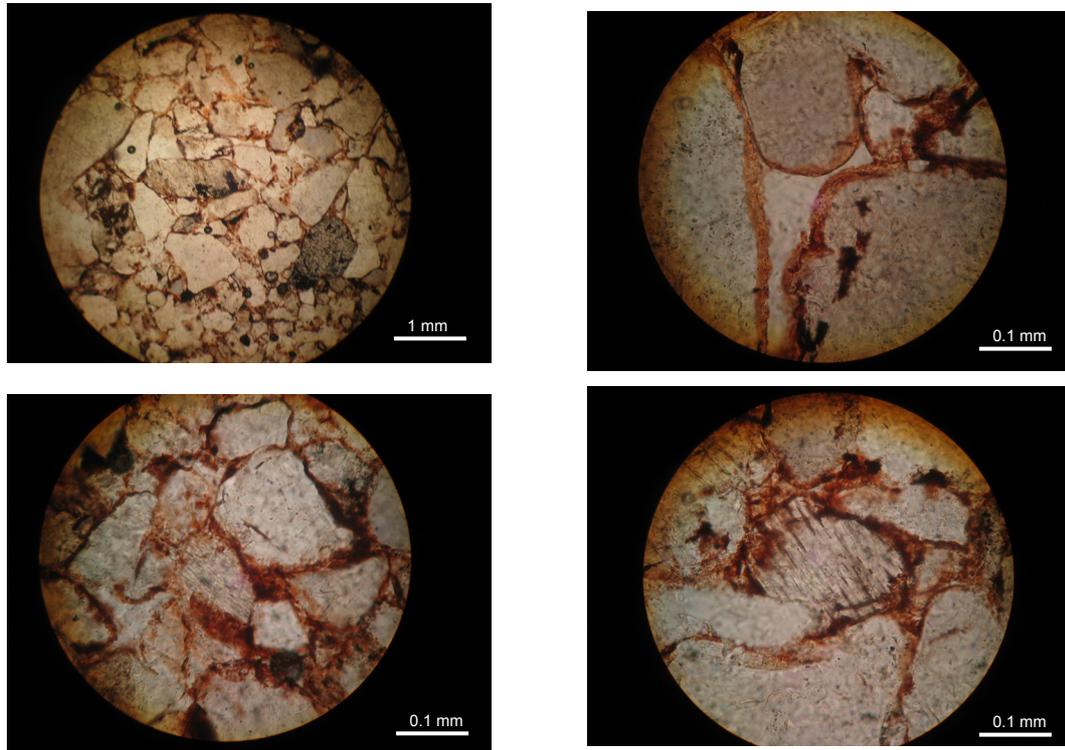


Figura 7: Microfotografías ópticas del material rocoso empleado en el revestimiento, con detalle de los poros ocupados por material cementante silíceo y film hematítico rodeando a los granos del esqueleto de la roca

4. Resistencia a la compresión

Fueron moldeadas y ensayadas a compresión probetas prismáticas de 5cm x 5cm de área y 10cm de altura, resultando una resistencia promedio de 78 MPa (resistencia mediana a alta, según Vallejos [7]).

5. Observaciones y evaluación de la piedra labrada

Comúnmente las piedras de ornamentación-mampuestos son obtenidas de los frentes extractivos de las canteras en bloques de diversos tamaños y formas, luego son labradas dándoles cierto tamaño y formas en consonancia con las propiedades intrínsecas geológicas que poseen y desde luego tratando de satisfacer las necesidades del mercado consumidor. En este caso en particular fueron canteadas manualmente, obteniéndose formas poliédricas más o menos regulares, tanto como la piedra lo permitía, quedando así superficies rugosas en general, apreciables en las caras expuestas a la intemperie.

Luego del reconocimiento visual del monumento, del estudio macro y microscópico de sus elementos constructivos y de la evaluación de la resistencia a compresión, es posible afirmar lo siguiente:



- La piedra labrada, por su composición mineralógica y textura es compacta y dura, resistiendo con éxito los procesos naturales de meteorización.
- Posee una alta rugosidad como consecuencia del labrado y de sus características de fábrica. Por ello, presenta una gran superficie específica, permitiendo que cualquier elemento se adhiera a su superficie con facilidad.
- Lo anterior dificultaría cualquier tipo de limpieza manual.
- El elevado contenido de cuarzo y su material cementante natural silíceo, hacen que la roca sea resistente a los ataques químicos, ya sean estos provocados en forma natural o antrópicos.
- El cambio de color que se observa en la Fig. 4 se debe, con seguridad, a un proceso de raspado manual sobre la pintura anterior. Esta acción mecánica produce la mezcla del polvillo de todos los minerales constituyentes, siendo principalmente los feldespatos los que generan un material pulverulento blanco que torna el color rojo en rosado.

6. Prueba de limpieza por abrasión

Se pintó una muestra con dos tipos diferentes de pintura.

Luego se la sometió a abrasión con chorro de arena, cuya granulometría muestra la presencia de un 90% de material que pasa en el tamiz 30 (abertura de malla de 0.6mm).

La relación entre el tamaño de los granos de la roca y los de la arena es tal que estos no penetran en los poros, produciendo un pulido superficial.

La pintura se quita con facilidad, con muy leve modificación del color y la textura de la roca (Fig. 8).



a)

b)

Figura 8: Limpieza por abrasión. (a) Superficie pintada y parcialmente limpiada con chorro de arena; (b) aproximación que muestra a la izquierda la roca inalterada y a la derecha, un corte del sector sometido a limpieza



7. Prueba de limpieza con solvente

Se utilizaron distintos tipos de removedores y solventes comerciales, quitando la pintura con gran dificultad y sólo parcialmente.

Estudio del hormigón sometido al fuego

1. Metodología de trabajo

El desconocimiento de las características del fuego que incidió sobre la estructura de hormigón armado del subsuelo (carga de fuego y tiempo de exposición) no permite inferir directamente sus consecuencias en el hormigón.

De acuerdo a los estudios realizados por Handoo et al. [8], la reducción en el contenido de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (portlandita) con el gradiente de temperatura desde la superficie expuesta hacia el interior del hormigón puede ser utilizado para determinar la temperatura a la cual este ha sido expuesto y la consecuente profundidad del daño producido por fuego accidental. La presencia de la portlandita se detecta con facilidad por medio de difracción por rayos X (XRD, por sus siglas en inglés).

Por otra parte, las investigaciones realizadas por el mismo autor con microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) en hormigón endurecido, muestran cambios en la morfología cristalina como consecuencia de la exposición a elevadas temperaturas, por lo que se utilizó esta técnica en una muestra del hormigón mencionado más arriba.

Como se trata de un hormigón de más de 60 años, las muestras extraídas (Fig. 5) fueron estudiadas también por espectroscopía infrarroja, a fin de determinar los compuestos en la superficie exterior y también a una profundidad de 1 cm.

2. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Handoo et al. [8] y Sydney [9] mostraron que especímenes de hormigón expuestos a temperatura moderada; es decir hasta 200°C , no evidencian ningún cambio distintivo en la morfología, mientras que a 300°C la morfología del hormigón muestra cristales de portlandita y de gel de CSH deformados, vacíos y la transformación de la portlandita en CaCO_3 (calcita). Mayores incrementos de la temperatura hasta 500°C llevan a la predominancia de microfisuras entremezcladas con los vacíos conjuntamente con portlandita y gel de CSH distorsionados. Este proceso se incrementa para temperaturas mayores a 500°C , en que se reduce rápidamente la resistencia del hormigón. Si la temperatura de exposición supera los 600°C hasta los 800°C , se producen cambios masivos en la morfología del hormigón afectado, debido al predominio de microfisuras, vacíos que incrementan la porosidad, cristales deformados de portlandita y límites desordenados de las interfases de CSH.

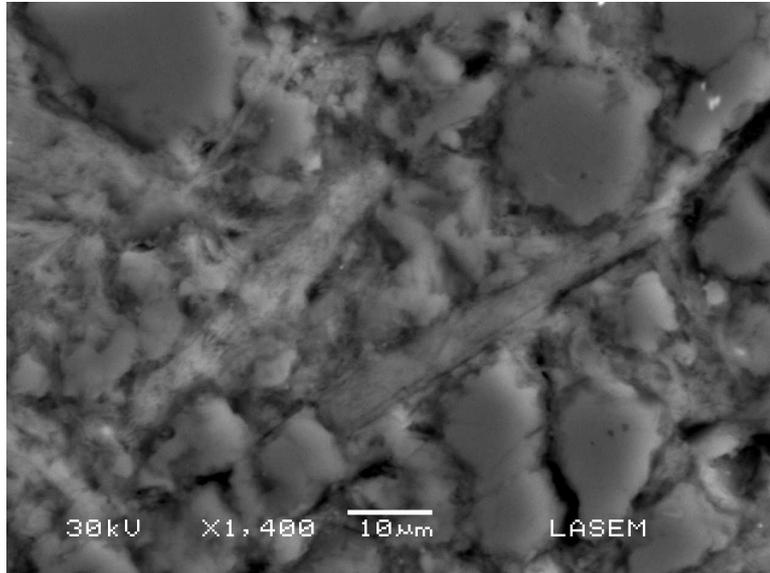


Figura 9: Micrografía SEM de hormigón superficial

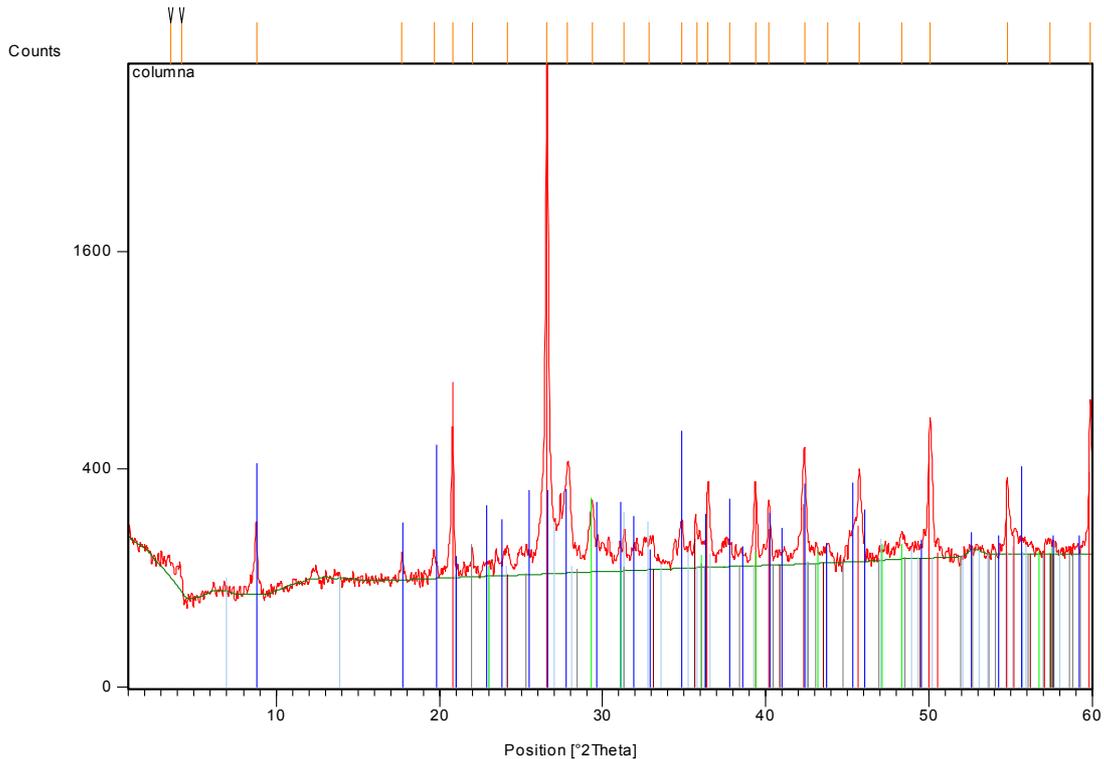
La Fig. 9 corresponde al estudio de la cara expuesta al fuego del hormigón de una viga de la estructura (Fig. 5.b), observándose cristales deformados y la presencia de vacíos y fisuras que evidencian la acción de elevadas temperaturas sobre la muestra. En ninguna de las micrografías tomadas se pudo identificar la presencia de portlandita.

3. Difracción por rayos X (XRD)

Para poder comparar contenidos de portlandita se tomó, además de la muestra superficial de la viga (ya que no se tiene muestra del núcleo de hormigón como se explicó anteriormente), una muestra adicional extraída del pie de una de las columnas del subsuelo, que presenta una superficie apenas tiznada y por lo tanto fue menos expuesta a la acción del fuego.

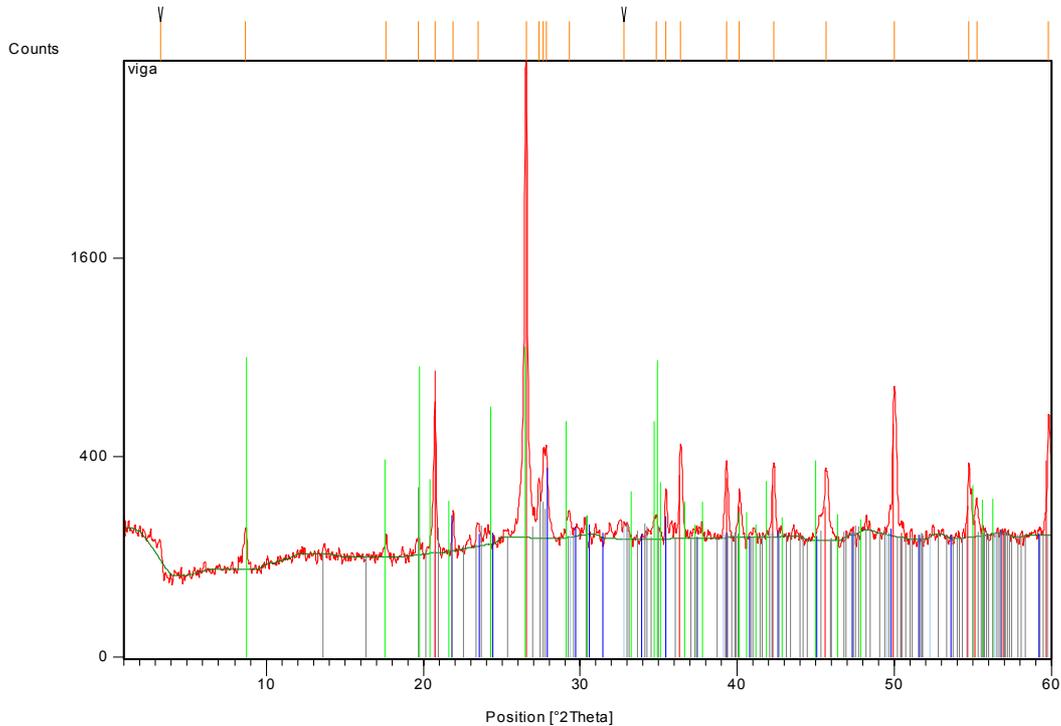
Ambas fueron estudiadas por XRD y los difractogramas se muestran en las Figs. 10 y 11.

En ninguna de las muestras se encuentra portlandita; es decir, tanto en el hormigón afectado por el fuego como en otro en que esta acción fue mínima, ha desaparecido este compuesto.



Visible	Resultado	Nombre del compuesto	Fórmula química
Rojo	60	Cuarzo α -alfa	Si O ₂
Azul	37	Muscovita	H ₄ K ₂ (Al , Fe) ₆ Si ₆ O ₂₄
Verde	33	Calcita	Ca (C O ₃)
Gris	26	Cristobalita baja	Si O ₂
Marrón	19	Hematita, sin.	Fe ₂ O ₃

Figura 10: XRD de hormigón de pie de columna, no afectado por el fuego



Visible	Resultado	Nombre del compuesto	Fórmula química
Rojo	59	Quarzo α -alfa	Si O ₂
Azul	32	Labradorita	(Na _{0.4} Ca _{0.6}) Al _{1.6} Si _{2.4} O ₈
Verde	13	Muscovita-1\ITM\RG, sin	K Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (O H) ₂
Gris	24	Sulfato de calcio y magnesio hidratado	Na ₂ Mg (S O ₄) ₂ (H ₂ O) ₄

Figura 11: XRD de hormigón de viga, afectado por el fuego

4. Espectroscopía infrarroja (FT-IR)

La investigación con SEM y XRD que aporta la literatura sobre el proceso de deterioro del hormigón producido por altas temperaturas se realiza normalmente en muestras jóvenes, por lo que la pérdida de portlandita es un buen indicador de las mismas.

Investigaciones realizadas en hormigones envejecidos (más de 40 años de edad) muestran, por lo menos hasta una profundidad de 5cm, un alto grado de carbonatación de la matriz de cemento, como reacción con el CO₂, tanto de



la portlandita como de los hidratos del cemento. Esta reacción produce la descomposición del equilibrio original en el sistema del material, llevando a la formación y acumulación de calcita [10].

A fin de complementar la información obtenida por SEM, dos muestras fueron estudiadas con espectrofotómetro de infrarrojo Perkin Elmer modelo FT-IR Spectrum G-X: una constituida por material superficial de la viga (“Exterior”) y la otra, por hormigón de la misma muestra, pero a 1cm de profundidad (“Interior”).

Se observa (Fig. 12) una desaparición total de hidroxilos estructurales en la muestra Exterior, banda a 3624cm^{-1} .

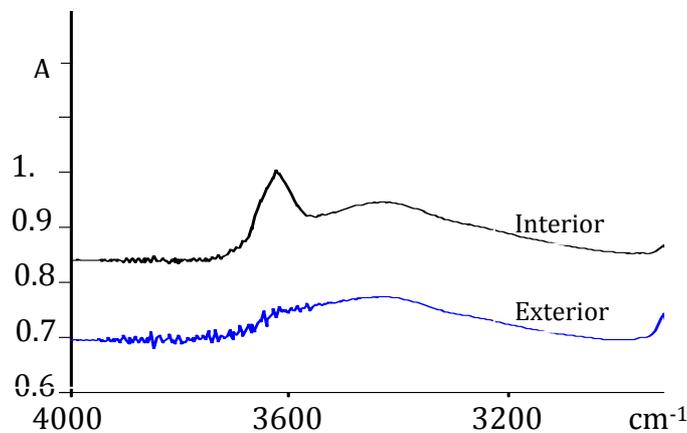


Figura 12: Comparación de la presencia de hidroxilos estructurales en espectros de absorción FT-IR de muestra superficial (Exterior) y a 1cm de profundidad (Interior)

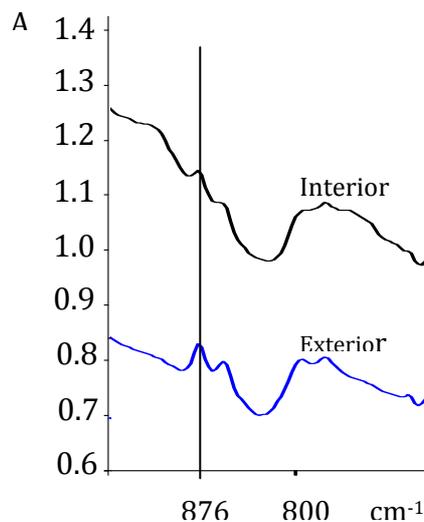


Figura 13: Comparación de la presencia de calcita en espectro de absorción FT-IR de muestra superficial (Exterior) y a 1cm de profundidad (Interior)



Esto indicaría un cambio estructural importante por calcinado o tostación (tratamiento a alta temperatura), ya que a pesar del tiempo transcurrido desde el incendio (algunos años) el hidroxilo no se ha recuperado por absorción de agua. Es decir, se ha producido un cambio estructural permanente.

Por otra parte, en la banda 876cm^{-1} (Fig. 13) aparece un incremento en el contenido de calcita en la muestra Exterior respecto de la Interior.

Conclusiones

1. Estudios para la recuperación del aspecto de las piedras ornamentales.

- La matriz silícea del mampuesto le confiere una buena cohesión, que queda demostrada en su resistencia a compresión y gracias a la cual la arasión con chorro de arena provoca sólo muy leves cambios morfológicos.
- Las condiciones ambientales no producen cambios químicos en el material, por lo cual la abrasión tampoco conlleva a modificación del color de la piedra tratada.
- Estas dos últimas observaciones tienen importancia económica, ya que el tratamiento de restauración se realizaría sólo en las superficies dañadas, sin necesidad de intervenir en el resto del basamento para lograr un aspecto uniforme, ni tampoco en la superficie de las importantes escalinatas construidas con la misma roca natural.

2. Estudios de las muestra del hormigón sometido a fuego

- Se puede inferir que la acción del fuego elevó la temperatura de la superficie del hormigón de la viga, por lo menos hasta 500°C
- Por tratarse de hormigón envejecido, el estudio del contenido de portlandita no aportó información referente a la acción del fuego. La ausencia de este compuesto puede deberse, en general, al proceso de carbonatación natural del hormigón por acción del CO_2 .
- El estudio por FT-IR permite apreciar una reducción importante de los efectos del fuego a 1 cm hacia el interior. Si esta importante información puede confirmarse con el análisis SEM de nuevas muestras del material a 1cm de profundidad, será suficiente para afirmar que el fuego sólo afectó el recubrimiento de hormigón.
- En el caso de contradicción en los resultados de estos estudios con respecto a los de FT-IR, será necesaria la extracción de testigos de hormigón que involucren todo el espesor de la viga.
- Estudios complementarios con ultrasonido aportarán información sobre la uniformidad del deterioro en la dirección longitudinal de todas las vigas y columnas del subsuelo.



Referencias

- [1] M. A. Vergara: *Estudios sobre Historia Eclesiástica de Jujuy*, Tucumán (1968)
- [2] A. E. Nielsen: *Ocupación indígena de territorio Humahuaca en los periodos de desarrollo regionales e INCA*. UNJu, (1989)
- [3] R. Rojas: *Archivo Capitular de Jujuy*, Tomo n° 4,
- [4] R. Ceballos: *En Jujuy comienza la patria*. Ed. Del Autor (2001)
- [5] Gobierno de la Provincia de Jujuy: *Diccionario General de Jujuy* (1993).
- [6] V. Méndez, J. C. M. Turner, A. Navarini, R. Amengual, V. O. Viera. *Geología de la región noroeste, provincias de Salta y Jujuy*. Dirección General de Fabricaciones Militares, Buenos Aires.
- [7] L. I. González de Vallejo, M. Ferrer, L. Ortuño y C. Oteo. *Ingeniería Geológica*. ISBN 84-205-3104-9. Prentice Hall. Madrid, 2002.
- [8] S. K. Handoo, S. Agarwal y S.K. Agarwal: *Physicochemical, mineralogical and morphological characteristics of concrete exposed to elevated temperatures*. Cement and Concrete Research 32 (2002) 1009-1018.
- [9] D. Sidney, *Identification of hydrated cement constituents using a scanning electron microscope-energy dispersive X-ray spectrometer combination*, Cement and Concrete Research 2 (5) (1972) 617-632.
- [10] V. W. Y. Tam, X.F. Gao, C.M Tam, *Carbonation around near aggregate regions of old hardened concrete cement paste*. Cement and Concrete Research 35 (1972) 1180-1186.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración desinteresada del Ing. Silvano Locatelli en los análisis de FT-IR, del Sr. José Galcerán en las tareas de laboratorio, del Arq. Carlos Demergassi y del CeDIAP por facilitarnos las fotografías indicadas en el presente trabajo.