Caracterización de materiales utilizados en la construcción del cabildo histórico de la provincia de Jujuy

Antequera, Teresa[1]; Gareca, Edith[1]; Aramayo, Martina[1]; Vargas, Emilia[2] y Ventura, Ezequiel[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
tessantequera@gmail.com; agareca@gmail.com; eze.agustin.v@gmail.com;
(2) Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Jujuy.
emiliavargasfhycs@gmail.com

RESUMEN

Actualmente, la Provincia de Jujuy, ha encarado la recuperación del Cabildo reconstruido entre 1864 y 1867, considerado Monumento Histórico Nacional. Los trabajos de reparación iniciados en el año 2017, en el sector de la recova, permitieron obtener muestras de ladrillos de techo y clavos metálicos de antigua data. Este trabajo presenta la caracterización físico–química, mecánica, mineralógica y metalográfica de estos elementos. El análisis microscópico de los ladrillos revela la presencia de cuarzo, feldespatos, filosilicatos, fracciones carbonáticas y arcillosas, estudio corroborado con los resultados de Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) con Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS) y los ensayos mecánicos muestran buenas propiedades; simultáneamente, la caracterización mineralógica permite identificar la composición de estas piezas. En el estudio realizado en los clavos, a través del análisis metalográfico, utilizando microscopía óptica y electrónica, y ensayos de dureza, se encuentra que las piezas presentan una estructura ferrítica, con granos grandes y presencia de macro inclusiones, lo que lleva a inferir que fueron confeccionados mediante forjado. Este tipo de estudios permite obtener una caracterización básica de las propiedades de los materiales utilizados en edificios históricos, para así poder contar con datos útiles para tomar decisiones en futuras intervenciones.

ABSTRACT

Currently, the Province of Jujuy, has faced the recovery of the Cabildo rebuilt between 1864 and 1867, considered a National Historic Monument. The repair work started in 2017, in the sector of the collection, allowed to obtain samples of roof bricks and metal nails of old date. This work presents the physical-chemical, mechanical, mineralogical and metallographic characterization of these elements. Microscopic analysis of the bricks reveals the presence of quartz, feldspars, phyllosilicates, carbonic fractions and clayey, study corroborated with the results of X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (MEB) with Dispersive Energy Spectroscopy (EDS) and mechanical tests show good properties; simultaneously, mineralogical characterization allows identifying the composition of these parts. In the study carried out on the nails, through metallographic analysis, using optical and electronic microscopy, and hardness tests, it is found that the parts present a ferritic structure, with large grains and presence of macro inclusions, which leads to infer that they were made by forging. This type of study allows us to obtain a basic characterization of the properties of the materials used in historical buildings, in order to have useful data to make decisions in future interventions.

Palabras claves: cabildo – caracterización – ladrillos - clavos

Keywords: council – characterization – bricks - nails

1. INTRODUCCIÓN

La compatibilidad de los materiales de intervención con la fábrica histórica original es el objetivo principal de la conservación y restauración de los materiales patrimoniales. Esto requiere de información y conocimiento de materiales históricos, sus técnicas de producción

y de los patrones de deterioro durante su periodo de vida. Materiales incompatibles pueden acelerar el deterioro de materiales históricos y puede causar daños irreversibles a las estructuras.
Las características de los ladrillos y clavos antiguos utilizados en la construcción del techo de la recova del Cabildo histórico se han determinado con el fin de conocer sus particularidades o propiedades y definir las características de los materiales compatibles que se podrían utilizar en el futuro en obras de conservación para prevenir problemas de deterioro continuo.

1.1 *Historia de la construcción del cabildo*

Después de la última fundación de Jujuy y para dar cumplimiento a las Leyes de Indias se estableció la necesidad de la construcción de un cabildo. No se cuenta con datos que acrediten la fecha exacta de su construcción.
Este cabildo fue protagonista y espectador de los grandes hechos que forjaron la Nacionalidad. Desde sus balcones los patriotas contemplaron el juramento de la bandera argentina realizado por los soldados comandados por Belgrano el 22 de mayo de 1813.
Por los escritos de la historia de Jujuy, se sabe que contaba originalmente de planta baja y un primer piso, pero un terremoto ocurrido el 14 de enero 1863 a las 11:00 horas, el cual registró una magnitud de 6,9 en la escala de Richter y en la escala Mercalli modificada registró una magnitud de VIII, destruyó parte de la edificación original. Su magnitud y duración fueron excepcionalmente devastadores, causando daños a la Catedral, al Cabildo y a muchos edificios.
En el mismo año de 1863 el gobernador Dr. Daniel Araoz decide realizar la reconstrucción del cabildo, actividad que llevó a cabo la empresa Piotti entre los años 1864 y 1867. Analizando los escritos del Archivo Histórico de la Provincia de Jujuy (1864), se encontraron los recibos de las minutas de gastos por material y mano de obra. Se tienen registros tales como recibos de compra de caños por parte de don Ignacio Carrillo (diputado provincial) a don Lorenzo Ramírez (proveedor) firmado el día 18 de agosto de 1863. Así también hay documentación sobre la compra de veinticuatro costales de paja para el revoque y dos cargas de cañas pagados por Don Carrillo a favor de don Félix Piotti el 8 de agosto de 1863. Se encontró, así mismo, recibos por la compra de ladrillos, tirantes, tirantillos, piedras para cimiento, caños de lata, clavos, clavos grandes, etc., realizadas a proveedores locales.
El edificio actual es una construcción de planta en L. El frente termina en una galería o recova con 19 arcos de media punta que se apoyan sobre columnas y pilastras de orden toscano, la galería muestra distintas etapas de construcción, los tramos más antiguos son el central de 5 arcos sobre pilares, y el derecho con 7 arcos sobre gruesas columnas, y posteriormente a 1872 se realizaron 7 arcos más (Fig. 1).

Figura 1. Cabildo de Jujuy. Fuente: Archivo General de la Nación

A lo largo del tiempo es probable que el cabildo haya sido restaurado superficialmente en muchas oportunidades (pintura, revoques). En el año 2017 se iniciaron los últimos trabajos de restauración, comenzando con la recova, lo que permitió obtener muestras de materiales utilizados, entre ellos, ladrillos de techo y clavos metálicos de antigua data, para el trabajo encarado en forma conjunta por investigadores de la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Jujuy. En ese contexto, este trabajo describe los estudios y análisis realizados sobre los elementos mencionados. Este tipo de estudio, permite indagar como fueron elaborados los materiales que se utilizaron en la construcción de edificios históricos, en este caso, el Cabildo de la Ciudad de San Salvador de Jujuy. Esta información, sumada a la investigación histórica y al aporte interdisciplinario de los distintos profesionales que intervienen en patrimonio arquitectónico, permiten la disposición de conocimiento de los materiales y las tecnologías de fabricación utilizados en los elementos de construcción de edificios de interés patrimonial, logrando así, una

contribución y aplicación directa en la toma de decisiones al momento de establecer las tareas de restauración y/o conservación de estos edificios.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Los primeros ladrillos de adobe, elaborados con materias primas arcillosas y mediante moldeo manual, se secaban al sol. Más adelante, posterior al secado, se les realizaba una cocción en hornos de leña. Las temperaturas de cocción de estas materias primas arcillosas han variado a lo largo de la historia entre 650 y 1000 °C. En los ladrillos antiguos, las dimensiones van cambiando con el tiempo y según la zona geográfica. La composición, las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos dependerán de la naturaleza de la arcilla empleada (caolinita, illita, esmectita), del tipo de horno usado para su fabricación, de las condiciones reinantes dentro de los hornos (oxidante o reductor), de la temperatura y procesos de cocción sufridos, de la naturaleza y cantidad del desgrasante añadido (cuarzo, carbonatos, etc.).

Para la realización de este estudio se recogieron muestras de ladrillos de techo colocados en la cubierta plana accesible de la recova del cabildo, Fig. 2a y Fig. 2b. La cubierta está realizada con una trama de vigas de madera de sección rectangular separadas por una distancia de un metro y cabios cruzados sobre los que se apoyan la primera hilada de ladrillos (Otero, 2014). Los cabios y vigas estaban unidos por clavos, los que fueron extraídos para su estudio. Estos clavos son piezas con un cuerpo de cuatro caras, con una sección aproximadamente rectangular, y punta alargada. La longitud se encuentra entre los 4 y 6 cm. (Fig. 2c).

Las muestras se seleccionaron siguiendo criterios identificados para los fines de la investigación que se deseaba realizar. La caracterización de los ladrillos de techo se llevó a cabo mediante la combinación de una serie de estudios. Para la realización de los ensayos mecánicos de compresión (10 probetas de 25mm x 25mm x 25mm), y flexión (10 probetas de 25mm x 120mm x 80mm); se utilizó una máquina de ensayo universal INSTROM modelo 5985 250 kN, según la Norma IRAM 12511(1988) / ASTM C-133 (1997), con control de carga. Se definieron las características químicas y mineralógicas utilizando técnicas analíticas de Difracción de Rayos X, Fluorescencia de Rayos X, SEM-EDS y microscopía óptica (cortes delgados). La composición química fue llevada a cabo en un equipo de Fluorescencia de Rayos X, Marca RIGAKU, Modelo RIX 2000.

Figura 2. a) Vista del techo de la recova del Cabildo- b) Zona de los lugares de la recova de donde fueron extraídas las muestras de ladrillos- c) Clavos extraídos del techo de recova

La evaluación mineralógica se efectuó en un difractómetro Philips 3020 utilizando radiación

CuKα filtro de Ni (a 35 kV, 40 mA). El equipo SEM - EDS utilizado para relevar la microestructura de los ladrillos fue un Microscopio Electrónico Jeol JCM-6000 Neoscope. Para los cortes delgados se empleó un microscopio óptico de luz transmitida y dispositivo de polarización Leica DM750P, cámara LEICA EC3 y programa LAS EZ.
Los elementos metálicos se estudiaron a través del análisis metalográfico, utilizando microscopio óptico Metalux II, a un aumento 50X y 100 X y por microscopía electrónica de barrido con analizador marca Philips, modelo FEI Quanta 200. El detalle de los porcentajes en peso de los elementos químicos se obtuvo utilizando el mapeo EDS. Para la obtención de valores de dureza, su utilizó un microdurómetro marca Isotest, en escala Vickers.

2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 *Ladrillos de techo*

Del relevamiento de ladrillos de techo se determinó que las dimensiones de los mismos variaban entre los valores expuestos en la Tabla 1

Tabla 1: Dimensiones de ladrillos (cm)

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)
L1	37,6	18,5	3,2
L2	37,9	18,8	3,3
L3	38,9	19,1	3,1
L4	37,3	18,4	3,3

De acuerdo con las condiciones de resistencia, los ladrillos cerámicos macizos se clasifican según la norma IRAM 12.518, en Clase A (debe ser no menor que 120 kg/cm^2) y Clase B (debe ser no menor que 75 kg/cm^2). Los resultados de resistencia promedio a la rotura dieron para el módulo MOR 19,37 Kg/cm^2 (1,9 MPa) con una desviación estándar de 0,40 y una varianza de 0,16, mientras que para la resistencia a la compresión dio como resultado promedio de 323 Kg/cm^2 (31,72 MPa) con una desviación estándar de 9,76 y una varianza de 96,19, lo que implica que los ladrillos presentan muy buenos valores de resistencia a la compresión, resultando ser de clase A. La composición química obtenida del análisis de Fluorescencia de Rayos X reveló que los ladrillos estaban formados de altas cantidades de SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 y cantidades considerablemente bajas de Na_2O, K_2O, MgO y CaO (Tabla 2).

Tabla 2. Composición química por FRX

Óxidos W%	Muestras		
	L1	L2	L3
SiO_2	63,51	62,85	67,23
TiO_2	0,86	0,86	0,80
Al_2O_3	17,72	18,67	16,16
Fe_2O_3	6,60	6,98	6,00
MnO	0,15	0,16	0,13
MgO	2,25	2,34	2,12
CaO	1,43	0,93	1,18
Na_2O	1,37	1,38	1,33
K_2O	4,16	4,51	3,77
P_2O_5	0,18	0,17	0,24
Loid	1,22	1,18	0,97
Total	99,47	100,03	99,95

Las fases mineralógicas identificadas en los ladrillos por DRX (Fig.3) fueron cuarzo, feldespato K, hematita y moscovita. En algunas muestras se observaron compuestos de calcio en trazas, que indica materias primas pobres en calcio utilizadas para la fabricación de los ladrillos. La ausencia de picos de productos de alta temperatura (mullita y cristobalita) muestra que la temperatura de cocción no superó los 900°C.

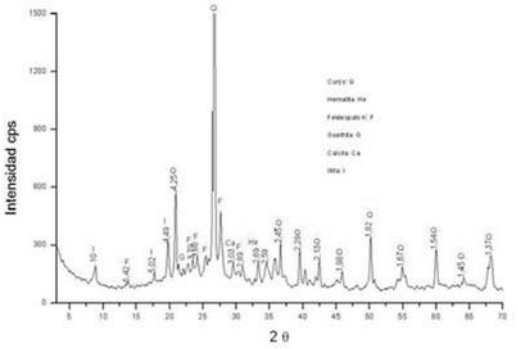

Figura 3: DRX de muestra de ladrillo con picos de cuarzo, feldespato, hematita, goethita, calcita e illita.

En las observaciones y análisis por Microscopía Óptica de láminas delgadas, las piezas presentaban una litología constituida por cuarzo, feldespatos K, fragmentos de rocas de origen metamórfico y/o ígneo, identificándose en algunas fracciones carbonáticas y arcillosas, en otras, escasos filosilicatos, como moscovitas y

biotitas. Estos agregados están inmersos en una matriz soporte de tipo ferruginosa en la cual se evidencian minerales opacos. Además, presentan una porosidad orientada paralelamente.
En la Fig. 4 se pueden apreciar fragmentos de cuarzo policristalino. Nódulos esferoidales de tipo arcilloso. En la matriz ferruginosa hay presencia de moscovitas finas y alargadas.

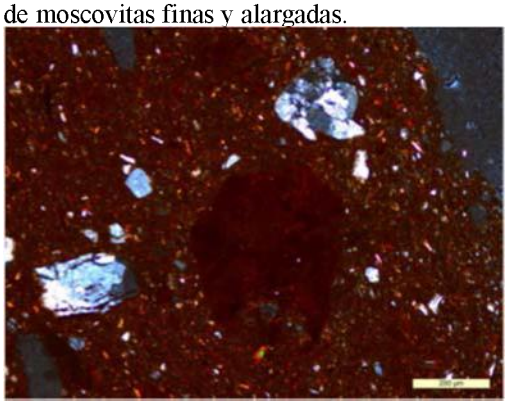

Figura 4: Fotomicrografía de muestra (corte delgado) nicoles cruzados.

La técnica de análisis SEM-EDS, fue empleada sobre las muestras de ladrillos para relevar la microestructura de estos materiales y obtener información acerca de su morfología de partículas, tamaños y características de granos, etc. (Fig. 5)

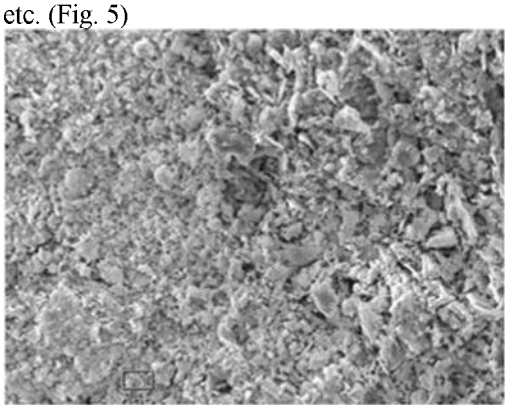

Figura 5: Imagen SEM de ladrillo.

Los resultados del SEM-EDS (Fig. 6 y Tabla 3) mostraron la presencia de valores altos de oxígeno, le siguen en nivel de presencia el hierro, silicio, característicos de los materiales arcillosos. Los valores de carbono presente se deben probablemente a la existencia de componentes orgánicos en la muestra (impurezas o agentes biológicos).

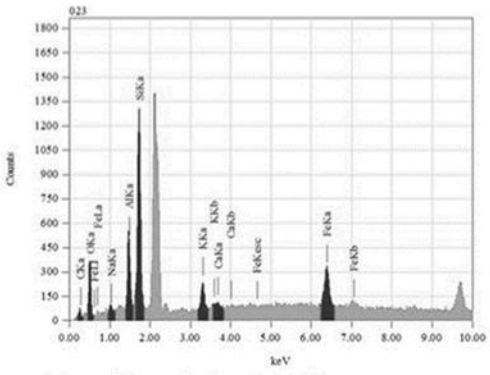

Figura 6. Espectro EDS de muestra de ladrillo.

Tabla 3: Cuantificación del análisis SEM/EDS de la muestra

Elemento	Muestra	
	Wt%	At%
O	34,17	
Fe K	19,07	13,65
Si K	17,72	25,23
C K	15,49	51,58
Al K	7,92	5,86
K K	3,64	1,86
Na K	1,35	1,17
Ca K	0,65	0,65

La presencia de un bajo contenido de calcio, mostrado en los resultados de la Difracción de rayos X como en la Microscopía electrónica, pone en evidencia que se utilizaron arcillas pobres en calcio en la fabricación de los ladrillos. Se puede decir entonces que los ladrillos estudiados fueron cocidos a temperaturas no mayores a 900 °C, lo que se corrobora por la ausencia de compuestos de alta temperatura (mullita y cristobalita).
Estos estudios de caracterización realizados sobre la pieza cerámica son necesarios cuando en un edificio histórico se hace imprescindible la sustitución de piezas cerámicas dañadas, es decir, no basta con considerar solamente aspectos estéticos sino que es indispensable que las unidades de reemplazo guarden similitudes con las originales en facetas relacionadas con su comportamiento mecánico, físico – químico y mineralógico con el fin de evitar que se produzca una migración de condiciones de carga o humedad, respectivamente, hacia otras zonas del edificio.

2.2 *Clavos de sujeción*

En el análisis metalográfico realizado se puede observar una matriz ferrítica, con granos equiaxiales. Se observa también la presencia de una gran cantidad de carburos, inclusiones del tipo sulfuros y macroinclusiones (Fig. 7a).
En la Fig. 7b, que se trata de una ampliación del sector marcado como A en la figura anterior, se nota claramente que la matriz presenta granos muy grandes, que pueden identificarse con un tamaño de grano 4, según la Norma ASTM E 112 (1996).

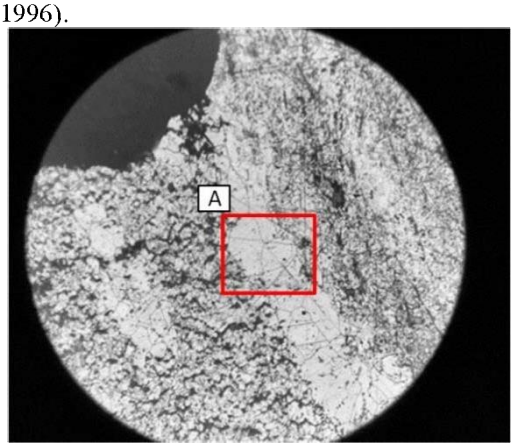

Figura 7a. Microestructura de la zona central del cuerpo del clavo. Muestra I (100 X).

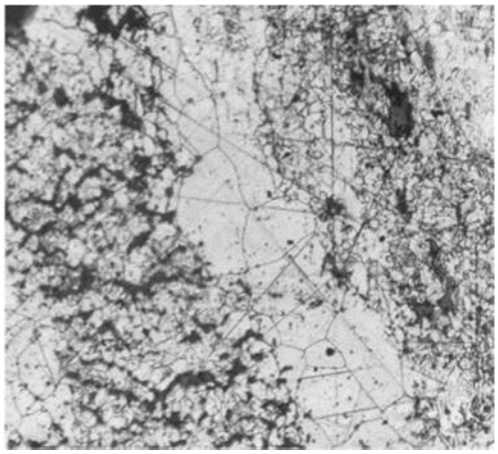

Figura 7b. Ampliación de la foto de la figura 7a.

La Fig. 8 muestra la fotomicrografía obtenida en la región central del clavo de la Muestra I
El mapeo EDS realizado en la zona central del clavo evidencia la presencia predominante de óxidos ricos en P y Si, en una matriz de hierro. En la Fig. 9 se muestra el espectro obtenido y en la Tabla 4 el detalle de los porcentajes en peso de los elementos químicos del mapeo.

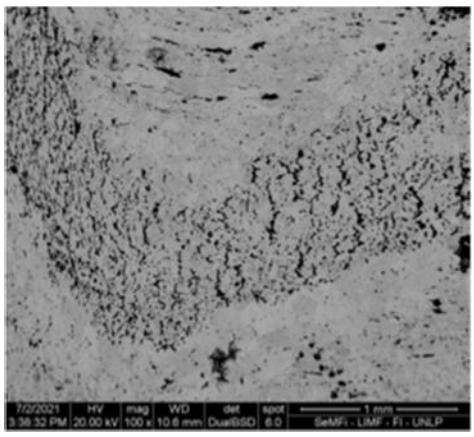

Figura 8. Muestra I. Micrografía SEM. Región central del clavo

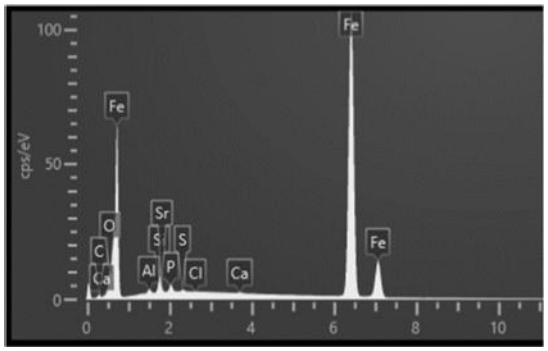

Figura 9. Map Sum Spectrum. Mapeo EDS sobre la región mostrada en la Figura 8.

Tabla 4. Composición química región central del clavo. Mapeo EDS.

Map Sum Spectrum				
Element	Line Type	Weigth (%)	Weigth % Sigma	Atomic (%)
P	K series	0,77	0,01	1,16
Fe	K series	90,49	0,11	74.96
Si	K series	1,66	0,02	2,73
C	K series	2,36	0,10	9,09
O	K series	3,68	0,03	10,63
Al	K series	0,52	0,01	0,89
S	K series	0,19	0,01	0,28
Ca	K series	0,11	0,01	0,13
Cl	K series	0,03	0,01	0,03
Sr	K series	0,19	0,03	0,10
Total		100,00		100.00

Un análisis similar se realizó en una zona cercana a la superficie de esta muestra. Los resultados obtenidos son similares a los mostrado para la región central. También se pone en evidencia, la existencia de óxidos ricos en P y Si, como así también la oxidación superficial, producto del efecto del medio ambiente sobre el componente (Figura 10).

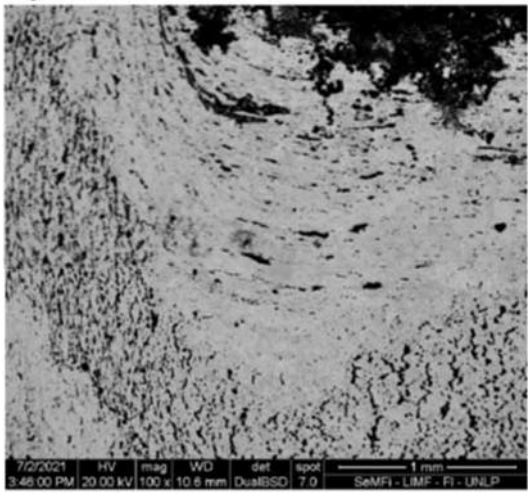

Figura 10. Micrografía BSD. Corte longitudinal cercano a la superficie del clavo, Muestra I.

La determinación de la dureza se realizó en un microdurómetro utilizando la escala Vickers. En el ensayo se utilizó un indentador con punta de diamante. Se obtuvieron resultados variables, con durezas que oscilan entre los 195 y los 124 HV. En todos los casos, las durezas son coherentes para el tipo de acero del que están realizados los clavos. Los resultados se presentan para tres muestras, en la tabla (Tabla 5) presentada a continuación.

Tabla 5. Dureza de distintos clavos

Muestra	Dureza HV
Muestra 1	174-175
Muestra 2	124-150
Muestra 3	170-195

Entre la documentación encontrada de compra de materiales, no se halló nada en relación a la adquisición de aceros para estos clavos. Esto se explica porque en la época de reconstrucción del Cabildo, Argentina no tenía una industria siderúrgica. Por lo tanto, la materia prima (acero) para estas piezas puede haber sido importada de Europa (Otero, 2005). Lo más probable es que la confección de los clavos sea de elaboración local. El acero utilizado es de baja calidad en cuanto al contenido excesivo de impurezas, como el P, S y el Si, característico de la tecnología de producción del siglo XIX. Estos elementos químicos son perjudiciales para el acero, ya que forman compuestos no metálicos que fragilizan el material. A modo de ilustrar este estado del acero, se menciona que, por ejemplo, actualmente, el contenido de estos elementos tiene límites máximos de aceptabilidad que están alrededor del 0,04 % en peso, para P y S y de 0,25 %, para el Si.

El acero estudiado responde a las características del hierro conocido como pudelado (Casadas, 2011) presentando una estructura ferrítica, con granos grandes y bordes de grano fino y con presencia de macro inclusiones. Otra condición de este material es que en su producción retenía gran cantidad de escorias de silicatos, lo cual es coincidente con el análisis EDS mostrado anteriormente.

Con respecto al método de elaboración, se puede inferir que los clavos fueron sometidos a un proceso de conformado en caliente, una forja artesanal, lo que explicaría el tamaño y forma de los granos, ya que este proceso permite la recristalización del hierro. También, la presencia de macroinclusiones pueden deberse a este forjado, ya que aparentemente podrían tratarse de partículas del material utilizado para el calentamiento del material.

La dureza obtenida es coherente para este tipo de aceros, que al ser ferríticos deben mostrar durezas bajas. No obstante, la presencia de las inclusiones no metálicas, pude hacer que eleven esta dureza localmente, por lo que también es esperable la dispersión de esta propiedad a valores más altos. En el caso de estudio, la dispersión de valores en el conjunto de muestras estudiadas, se mantiene dentro de lo previsible para una medición de dureza. En el caso de la muestra 2, que es la que presenta menor dureza, puede explicarse por la gran cantidad de macroinclusiones y nivel de oxidación.

Recién a partir de la mitad del siglo XIX, se desarrollaron técnicas que permitieron obtener un acero con menor contenido inclusionario, por lo que las características del acero empleado para la elaboración de los clavos y la técnica de elaboración son consistentes con la fecha de restauración.