

Universidad Nacional de La Plata / Facultad de Ingeniería / Departamento de Construcciones / Laboratoto L.E.M.E.I.C.

Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

PUESTA EN VALOR DE ESTRUCTURAS AFECTADAS POR UN SINIESTRO, EJEMPLO DE APLICAIÓN.

Cozzarin Ana Laura, Giannecchini Sebastián, Vicente Ariel, Vitale Gustavo.

giannecchinisebastian@yahoo.com.ar

Palabras Claves: Investigación aplicada. Patrimonio histórico. Reciclado y puesta en valor.

1.- INTRODUCCION

En vista a la intervención del edificio correspondiente a los hangares del ferrocarril pertenecientes a la Universidad de Lanus, para su restauración y puesta en valor, se llevó a cabo una evaluación de la estructura afectada por el incendio y del estado de conservación del edificio. A tal efecto se analizó la documentación existente, se realizaron relevamientos y determinaciones de parámetros físicos y químicos del acero. En base a los resultados obtenidos se plantea el proyecto de reparación del edificio.

2.- RELEVAMIENTOS Y DETERMINACIONES REALIZADAS

2.1.- Análisis de la documentación técnica y antecedentes

Lo mismo tuvo como objetivo precisar los datos mas relevantes de la estructura, tales como dimensiones, tipologías y disposiciones de los elementos estructurales.

2.2.- Relevamiento de la estructura y arquitectura del edificio

Se relevó la estructura y arquitectura de los sectores de interés del edificio, a los efectos de conocer la geometría y materiales de los elementos resistentes, y determinar las cargas actuantes en la misma.

2.2.1 Disposición general y geometría

El sector en estudio está conformado por una caja muraria con dos muros divisorios transversales y una cubierta metálica a dos aguas. Los muros están materializados por mampostería de ladrillo común y su espesor es de 60 cm. La cubierta metálica está conformada por un techo de chapa y cielorraso de ladrillos comunes tomados por juntas de mortero cementicio. Este conjunto descansa sobre correas de madera, las cuales están

vinculadas, mediante grapas, a cerchas metálicas que son las encargadas de transferir las cargas de la cubierta hacia los muros laterales de la nave.

Las cerchas se encuentren vinculadas longitudinalmente entre si por su cordón superior mediante las correas de madera en los laterales y por perfiles L en el sector central.

2.3.- Relevamiento del deterioro del edificio

2.3.1.- Muros perimetrales

Estos se encuentran en general sin manifestaciones patológicas de importancia estructural. Existen pequeñas fisuras verticales en correspondencia con sectores de aberturas del muro y fisuras horizontales y oblicuas en el sector de apoyo de las cerchas.

2.3.2.-Muros divisorios

Los muros transversales se encuentran con importantes fisuras de posición horizontal, generadas estas como consecuencia de la traslación longitudinal que sufrió la cubierta del edificio.

2.3.3- Estado de las cerchas metálicas de la cubierta.

Las cerchas en su conjunto, han sufrido corrimientos, respecto de su plano vertical, consecuencia de los desplazamientos que experimentaron los cordones longitudinales superiores que vinculan las cabreadas reticuladas, producto de las tensiones inducidas por la temperatura en el sector del incendio.

La estructura se encuentra actualmente bajo un estado de equilibrio entre las sollicitaciones y los esfuerzos resistentes que generó la misma como consecuencia de las deformaciones elasto-plásticas que sufrió al momento del incendio. Dichas deformaciones fueron generando sucesivas configuraciones resistentes en búsqueda del equilibrio, en cuyo proceso los elementos que veían superada su capacidad resistente transmitían tensiones a todos los elementos aledaños que materializan el conjunto de la cubierta tales como correas de madera, mampuestos del cielorraso y chapas. Es así que hoy la cubierta en su conjunto se encuentra sometida a un estado tensional no deseado que impide por un lado la recuperación elástica de la estructura y por otro generar un desplazamiento para llevarla a su posición original. Para recuperar su posición original se deben eliminar tanto las deformaciones elásticas como las deformaciones plásticas y además generar un corrimiento en las cerchas reticuladas que contrarreste el inducido por el incendio.

2.3.3.1- Grado de afectación de las cerchas reticuladas.

Se llevo a cabo un relevamiento de los elementos, en lo que se refiere a deformaciones plásticas. El mismo se realizó por tramos entre nudos de cada elemento.

Los perfiles “T” que materializan el cordón superior de las cabreadas reticuladas, se encuentran pandeados. La magnitud de este fenómeno se da en diferentes escalas, siendo de mayor magnitud a medida que nos acercamos al sector de incendio.

El cordón inferior y las diagonales no sufrieron en general daños irreversibles, habida cuenta que los mismos estuvieron siempre sometidos, aun con el cambio de sollicitaciones inducido por el incendio, a esfuerzos de tracción no muy diferentes a los previstos en el diseño.

Respecto de los montantes que están materializados por un par de planchuelas, los mismos tuvieron gran libertad para acompañar los desplazamientos y en general solo sufrieron deformaciones irreversibles de pequeña magnitud, en el nudo de encuentro con el cordón superior.

3.- PROBABLES CAUSALES DE LAS MANIFESTACIONES PATOLOGICAS

La acción del fuego sobre el acero modifica la respuesta elástica del mismo y con ello el estado de sollicitaciones para las cargas actuantes. De esta manera, se modifican los valores de las propiedades de interés estructural consideradas al momento del diseño de la estructura, originándose, al menos transitoriamente, una pérdida de su estabilidad.

Otro efecto negativo es la dilatación producida en los elementos que constituyen la estructura, aumentando las tensiones que pueden producir el colapso de la misma.

Resumiendo, la estructura además de perder resistencia mecánica, esta sometida a tensiones mayores.

4.- RECOMENDACIONES Y ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA REPARACION Y PUESTA EN VALOR DEL EDIFICIO EN ESTUDIO

4.1.- Generalidades

El edificio en estudio posee un sector en el que la estructura metálica (que materializa la cubierta) colapsó por efecto del fuego y sectores contiguos que se vieron afectados por tal causa. Con respecto al primer sector, se pretende el desarme total de la estructura metálica sin perjuicios sobre el resto del edificio. En los sectores contiguos, se busca devolverles su funcionalidad estructural y arquitectónica y teniendo en cuenta que se trata de un edificio de carácter patrimonial, se buscara resolverlo con la mínima intervención posible.

4.2.- Desarmado de la estructura metálica del sector colapsado

Dado que la estructura metálica del sector colapsado está vinculada a los sectores contiguos formando un sistema en equilibrio, antes de cualquier intervención, se debe realizar un sistema de “apuntalamientos y tensores” de modo que a medida que se valla cortando la vinculación entre ambos se genere una redistribución de esfuerzos hasta lograr una nueva condición de equilibrio en la que intervengan los puntales y tensores.

4.3.- Sector a preservar

Dado que se trata de un edificio de características patrimoniales se deberá adoptar un criterio de intervención adecuado a tales características. La intervención que se propone consiste en la estabilización de los muros divisorios y la recuperación de las cerchas reticuladas, entendiéndose como tal al conjunto de acciones a seguir a los efectos de asegurar la funcionalidad de los mismos mediante procedimientos que no alteren factores estéticos y físicos del bien a preservar.

4.3.1- Procedimientos.

Habida cuenta del estado tensional no deseado existente en todos los elementos que materializan la cubierta, se debe proceder al desarme parcial de la misma. El procedimiento se indica a continuación.

- 1_ Retirar el techo de chapa y el entramado de cabeos, listones y ladrillos que materializan el cielorraso de la cubierta.
- 2_ Desmontar las correas de madera que vinculan las cerchas entre si.
- 3_ Reemplazar los elementos afectados de las cerchas reticuladas.
- 4_ Estabilizar los muros divisorios mediante tesado y sellado de fisuras.

5.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

5.1.- Metodología de reemplazo de los elementos afectados de las cerchas reticuladas

5.1.1.- Materiales

En caso de considerar la alternativa de reemplazo de los perfiles afectados, se pueden utilizar los que se obtengan del desarme del ala derecha del sector incendiado. Los mismos conservan inalteradas las propiedades mecánico-resistentes. Esta afirmación se desprende de los análisis metalográficos y de los ensayos de resistencia mecánica realizados en muestras extraídas de dicho sector, tema sobre el que volveremos más adelante.

5.2.- Estabilización de los muros divisorios mediante pretensado

A los efectos de restituir la estabilidad de los muros divisorios afectados se considera una alternativa de mínima intervención visible, dada esta por el postesado de los mismos.

Los muros a ser tratados se deben atensorar desde ambas caras, luego se deben limpiar las fisuras y verticalizar los muros mediante una fuerza externa. Para ello se pueden usar puntales y gatos hidráulicos. El muro será llevado a su posición original de manera lenta y progresiva mediante la siguiente secuencia de trabajo: aflojar los tensores de la cara anterior, luego accionar los gatos y finalmente tensar los cables de la cara posterior, y así sucesivamente hasta alcanzar la verticalidad.

Con el muro en su posición definitiva, se deben realizar perforaciones verticales, desde su cara superior, separadas medio metro entre sí. La profundidad de las mismas debe ser tal de atravesar todas las fisuras transversales más 1.5 m a partir de la última fisura atravesada, para empotrar la varilla a tesar.

Inmediatamente de colado el mortero en la perforación se debe colocar la barra de manera vertical hasta hacer tope en el fondo de la perforación. La longitud de las barras debe ser tal que luego de ancladas sobresalgan 1 metro por encima del coronamiento del muro.

Transcurridos tres días de realizado el hormigonado del anclaje, se debe llenar el resto de las perforaciones con mortero y posteriormente colocar en la cara superior del anillo de hormigón una planchuela perforada para la fijación de las varillas. Con el mortero aún en estado fresco se deben tesar las varillas con una fuerza exterior. El pretensado del muro se debe realizar de manera progresiva desde los extremos hacia el centro y tesando pares de varillas de posición simétrica respecto al centro del muro.

La planchuela será cuadrada y tendrá en el centro una perforación. El diámetro de tal perforación debe permitir el pasaje de la varilla. La planchuela permitirá la transferencia de carga de la varilla al hormigón.

5.3.- Restauración de la mampostería fisurada a través de inyección de resinas.

La finalidad de la inyección será la de restablecer la continuidad mecánica y la impermeabilidad exterior de la mampostería, mediante la inyección de las discontinuidades desde la superficie de los muros a ser tratados, de modo de procurar la obtención de fisuras selladas y estabilizadas.

5.3.1.- Técnica de la inyección.

El procedimiento para la reparación de muros de mampostería fisurados tiene como ventaja la rapidez en la ejecución y como inconveniente el que fisuras profundas, eventualmente, pueden no quedar inyectadas correctamente.

El proceso de inyección consiste en abrir los labios de la fisura en toda su longitud, a modo de preformado de junta, mediante amolado con disco de corte para mampostería; seguidamente, se eliminará el polvo formado mediante corriente de aire a presión provisto por un equipo motocompresor.

A intervalos de entre 20 y 30 cm se marcarán, sobre la traza de la fisura con la superficie interior o exterior del paramento según corresponda, los puntos de inyección. En tales puntos se ejecutarán perforaciones contenidas en el plano de la fisura a los efectos de materializar el alojamiento de tubos roscados o boquillas de inyección con sus correspondientes válvulas esféricas.

Una vez endurecido el adhesivo epoxi de sellado se inyectará aire seco por las boquillas de inyección, tomadas estas en conjuntos de dos consecutivas, habiéndose cerrado el resto de las mismas. De esta manera podrá asegurarse que no existirán obstrucciones y que se expulsará, en la medida de lo posible, toda la humedad contenida en las fisuras.

Tan pronto como el producto salga por la boquilla inmediatamente superior, la cual actuará como indicador de llenado, se conectará a esta el tubo de inyección cerrándose la boquilla inferior. Este proceso habrá de continuar hasta llenar toda la fisura.

Finalmente, se sugiere la extracción de microtestigos en coincidencia con la fisura inyectada a los efectos de verificar su relleno.

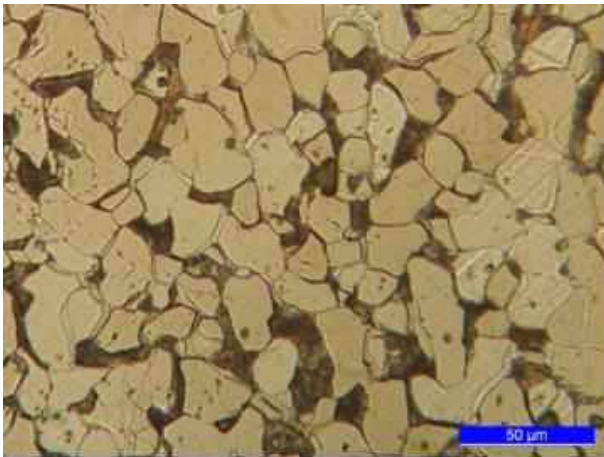
6.- ANALISIS METALOGRAFICO Y DETERMINACION DE PROPIEDADES DE INTERES DEL ACERO DE CABRIADAS

Se analizaron 6 muestras de acero de tensores cuyas identificaciones se listan en la tabla que sigue.

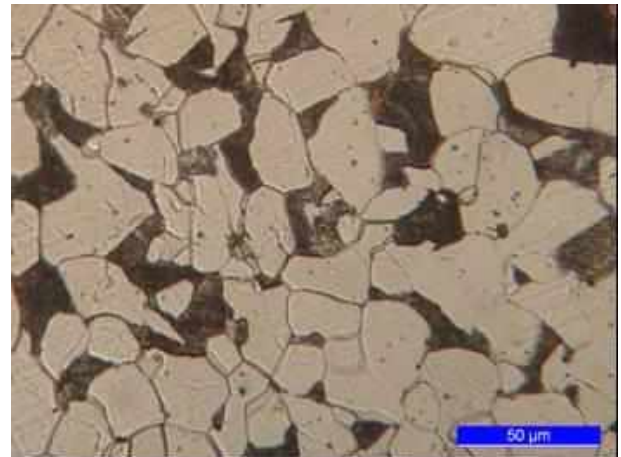
| Muestra | Identificación |
|----------------|-----------------------|
| 1 | Referencia |
| 2 | Cabriada 41 derecha |
| 3 | Cabriada 43 derecha |
| 4 | Cabriada 39 derecha |
| 5 | Cabriada 38 izquierda |
| 6 | Cabriada 42 izquierda |

6.1.- Análisis metalográfico.

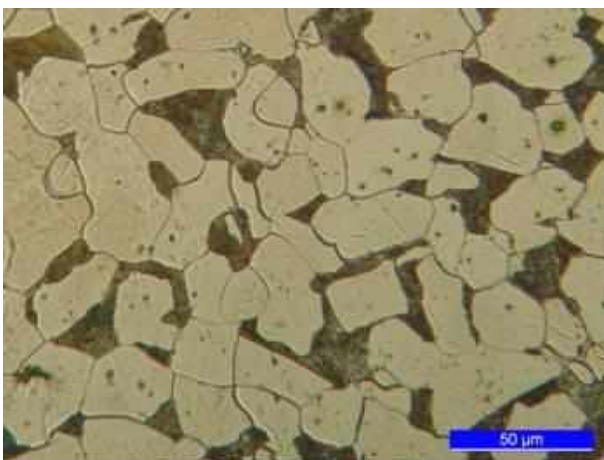
Se realizó un análisis metalográfico comparativo, de manera de establecer el grado relativo de afectación de la estructura cristalina del acero constitutivo de la estructura portante de cubiertas. Las muestras contienen ferrita, y perlita en borde de grano. Al comparar la muestra inalterada de referencia con las nombradas como 2, 3, 4, 5 y 6, se observó que estas últimas tienen un tamaño de grano relativamente mayor. Además, en las muestras nombradas como 5 y 6 se observó en la zona periférica de barra un crecimiento del tamaño de grano aún mayor en comparación con las muestras identificadas como 2, 3 y 4, como así también menor cantidad de perlita en los límites de grano. A continuación se presentan micrografías obtenidas con un aumento de 500X.



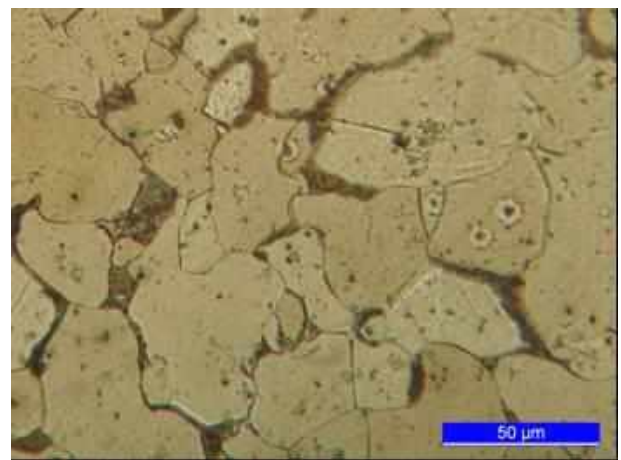
Micrografía sobre Muestra 1



Micrografía sobre muestra 3



Micrografía sobre zona central de Muestra 5



Micrografía sobre zona periférica de Muestra 5

6.2.- Análisis químico.

Se realizaron análisis químicos sobre el acero de la muestra de referencia a los efectos de su caracterización. Los resultados de tales análisis, en términos porcentuales, se presentan en las tablas que siguen, pudiendo tipificarse al material como acero de bajo carbono y de clase IRAM IAS 1020 o similar.

| C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | Al |
|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 0.16 | 0.078 | 0.57 | 0.053 | 0.044 | 0.010 | 0.027 | 0.0047 | 0.0018 |

| Cu | Co | Ti | Nb | V | W | Pb | B | Sn |
|-------|-------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|
| 0.050 | 0.013 | 0.0031 | <0.0030 | 0.0022 | <0.010 | <0.0030 | <0.0005 | 0.0040 |

| Zn | As | Bi | Ca | Ce | Zr | La | Fe |
|--------|-------|--------|---------|---------|--------|---------|------|
| 0.0052 | 0.035 | 0.0071 | <0.0001 | <0.0030 | 0.0028 | <0.0010 | 98.9 |

6.3.- Determinación de propiedades mecánicas de interés.

A través de ensayos de tracción estática realizados sobre probetas confeccionadas a partir de muestras de barras de tensores, se determinaron las propiedades mecánicas de interés estructural. En la tabla que sigue se presentan los resultados de tales determinaciones.

| Muestra | Identificación | Tensión de fluencia [MPa] | Tensión de rotura [MPa] | Alargamiento de rotura [%] | Módulo de elasticidad [GPa] |
|---------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Referencia | 315.9 | 484.9 | 30.5 | 200 |
| 2 | Cabriada 39 derecha | 319.6 | 473.3 | 27.6 | 200 |
| 3 | Cabriada 41 derecha | 325.5 | 475.3 | 27.4 | ----- |
| 4 | Cabriada 43 derecha | 321.6 | 475.3 | 28.4 | 200 |
| 5 | Cabriada 36 izquierda | 277.6 | 393.5 | 26.0 | 200 |
| 6 | Cabriada 38 izquierda | 293.6 | 457.4 | 26.0 | 200 |
| 7 | Cabriada 40 izquierda | 289.6 | 437.4 | 26.8 | ----- |
| 8 | Cabriada 42 izquierda | 291.6 | 441.4 | 29.0 | 200 |
| 9 | Cabriada 43 izquierda | 269.6 | 431.4 | 29.6 | 200 |
| 10 | Cabriada 44 izquierda | 279.6 | 447.4 | 27.6 | 200 |

6.4.- Análisis de resultados

Respecto de las propiedades metalográficas del acero analizado, las micrografías indican la presencia de granos de ferrita, y perlita en borde de grano. Cuando se considera el tamaño de grano se observa en todas las muestras un aumento en relación al tamaño de grano de la muestra de referencia, siendo mayor el crecimiento en la zona periférica de las muestras extraídas de la parte izquierda de las cerchas. En estas muestras se evidenció también una disminución de la cantidad de perlita de límite de grano, es decir, una menor cantidad de carbono en la zona periférica de muestra, producto de la decarburación superficial provocada por la acción del fuego sobre las barras.

Este efecto de decarburación superficial, que no fue observado en las micrografías de muestras de la zona derecha, trajo aparejado una disminución de la resistencia mecánica, el cual se ve reflejado en los resultados de ensayos de tracción estática a través de las reducciones, del orden de 10% respecto de la referencia, verificadas en términos de valores medios de tensión de fluencia y tensión de rotura de muestras de barras de tensores.

Por otro lado, y en total acuerdo con lo esperable, se registró además, una disminución de la ductilidad en todas las muestras, medida en términos de alargamiento porcentual de rotura, del orden de 10% con respecto a la referencia.

De todas maneras, debe expresarse finalmente que, en términos prácticos, en las muestras del lado izquierdo no se produjeron cambios metalográficos significativos ni, consecuentemente, en las propiedades mecánicas de interés estructural.

Se debe corroborar que tales perfiles estén rectos, o en caso contrario enderezarlos en caliente. Adicionalmente deben recibir una protección superficial antioxidante.

6.- CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El entramado materializado por cabeos, listones y ladrillos que conforman el cielorraso de la cubierta dándole protección acústica y térmica desempeña, además, un papel importante para la estabilidad de la cubierta ante la acción de las cargas de viento. Por esta razón no puede ser eliminado.

La alternativa de estabilización de los muros no es la más económica pero se adecua a los requerimientos que de alguna manera exigen las intervenciones en edificios de carácter patrimonial, es decir modificaciones mínimas de la estética, orden y funcionalidad originales.

De manera que haciendo una investigación detallada de todos los factores y parámetros relevantes, se puede concluir la propuesta de reparación de una estructura afectada por un siniestro determinado, teniendo en cuenta situaciones que, sin comprometer aspectos

estructurales, intentan resolver problemas estéticos producto de su carácter de edificio histórico.

7.- REFERENCIAS

- Norma IRAM IAS U500 – 502.
- Norma IRAM IAS U500 – 528.
- SAMUELS L.E. Optical Microscopy of Carbon Steel. 4º Edition. American Society for metal..