

**INFORME DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LAS
CAUSAS Y TRASCENDENCIA DE LOS DAÑOS
EXISTENTES EN LOS FORJADOS DEL EDIFICIO
SITO EN C/ VOLCÁN FUJIYAMA (BLOQUE Nº 15) DE
SAN CRISTÓBAL DE LA LAGUNA (SANTA CRUZ DE
TENERIFE)**

**Peticionario: EXCMO. AYTO DE SAN CRISTÓBAL DE LA LAGUNA
GERENCIA DE URBANISMO
C/ Bencomo nº 16. 38201 La Laguna (Santa Cruz de Tenerife)**



ÍNDICE

	<u>Pág. nº</u>
1. ANTECEDENTES	3
2. OBJETO DEL INFORME.....	4
3. DATOS PREVIOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO	4
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EDIFICIO.....	4
3.2. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA FACILITADA.....	6
4. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	7
5. RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE INSPECCIÓN DE DAÑOS.....	8
6. RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN DE CALAS EN ESTRUCTURA.....	13
7. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE MATERIALES	17
8. COMENTARIOS.....	18
9. CONCLUSIONES	24
10. RECOMENDACIONES.....	25

ANEJO Nº 1: COPIA DEL ESCRITO SOBRE LA PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS A ADOPTAR EN FORJADOS DEL EDIFICIO SITO EN LA CALLE VOLCÁN FUJIYAMA BLOQUE 15 DE LAS CHUMBERAS (SAN CRISTÓBAL DE LA LAGUNA)

ANEJO Nº 2: RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN OCULAR

ANEJO Nº 3: RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN DE CALAS EN ESTRUCTURA

ANEJO Nº 4: INFORME DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EFECTUADOS SOBRE SEIS MUESTRAS DE HORMIGÓN ENDURECIDO PROCEDENTES DE VIGUETAS DE LOS FORJADOS DEL INMUEBLE SITO EN LA C/ VOLCÁN FUJIYAMA (BLOQUE Nº 15) DE SAN CRITÓBAL DE LA LAGUNA, EN TENERIFE



1. ANTECEDENTES

El EXCMO. AYUNTAMIENTO DE SAN CRISTÓBAL DE LA LAGUNA solicitó del Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) la realización de una inspección de los daños observados en los forjados del edificio sito en la calle Volcán Fujiyama (bloque nº 15) de las Chumberas (San Cristóbal de La Laguna), con objeto de establecer un plan de actuación con las actividades que resultasen necesarias para llevar a cabo el estudio de las causas y trascendencia de dichos daños, así como para la definición de las medidas correctoras oportunas.

Cabe señalar que anteriormente, de acuerdo con la información facilitada por la Gerencia de Urbanismo, a la vista de los daños aparecidos en la vivienda 4º izquierda, ésta había sido desalojada, procediéndose al apuntalamiento del forjado de techo de dicha vivienda (disponiendo algunos puntales en los dos niveles inferiores), así como al apuntalamiento de algunas viguetas dañadas en el techo del portal.

Con objeto de tomar datos básicos para la elaboración del plan de actuación antes referido, el día 17 de febrero de 2009 D. Enrique Calderón Bello, Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Jefe de la Sección I de Estudios de Patología de INTEMAC, realizó una inspección preliminar de algunas de las dependencias interiores del edificio objeto de consulta. Tras el análisis de los resultados de dicha inspección preliminar, el Instituto emitió, con fecha 2009-02-20 y referencia PR/OC-09039/E, una propuesta de servicios técnicos con las actividades que considerábamos necesario realizar para el trabajo solicitado.

Una vez adjudicado a INTEMAC el estudio referido, un equipo técnico del Área de Rehabilitación y Patología de la Construcción de INTEMAC, procedió entre los días 4 y 6 de marzo de 2009 a la inspección de daños, y a la supervisión de los trabajos apertura e inspección de calas en el edificio objeto de estudio. Dichos días se procedió además a la toma de muestras de las viguetas de forjado, para su posterior ensayo en el Laboratorio Central de INTEMAC, sito en Torrejón de Ardoz (Madrid).

Cabe señalar que una vez realizada la inspección antes referida, emitimos una *NOTA TÉCNICA SOBRE MEDIDAS PREVENTIVAS A ADOPTAR EN FORJADOS DEL EDIFICIO SITO EN LA CALLE VOLCÁN FUJIYAMA BLOQUE 15 DE LAS CHUMBERAS (SAN CRISTÓBAL DE LA LAGUNA)*, con fecha 2009-04-03, donde indicábamos la necesidad urgente de acceder al local izquierdo del inmueble para llevar a cabo la inspección de su forjado de techo y si fuese necesario el apuntalamiento del mismo, dadas las malas condiciones de seguridad que presentan otros paños de forjado del edificio. Dicho escrito se recoge como anejo nº 1 al presente documento.

En cuanto a la realización del estudio solicitado, una vez analizados los resultados de los trabajos de inspección, ensayos realizados y trabajos de gabinete, procedimos a la redacción del presente Informe.

2. OBJETO DEL INFORME

El objeto del presente documento es exponer los resultados del estudio de las causas y trascendencia de los daños existentes en los forjados del edificio sito en calle Volcán Fujiyama (bloque nº 15) de San Cristóbal de La Laguna (Santa Cruz de Tenerife), así como definir las posibles tipologías de reparación y/o refuerzo que pudieran resultar necesarias.

3. DATOS PREVIOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EDIFICIO

El edificio consta de cinco plantas sobre rasante. La planta baja está destinada a portal, escalera y locales comerciales, y el resto de las plantas están destinadas a viviendas. La cubierta del mismo es plana y no transitable.

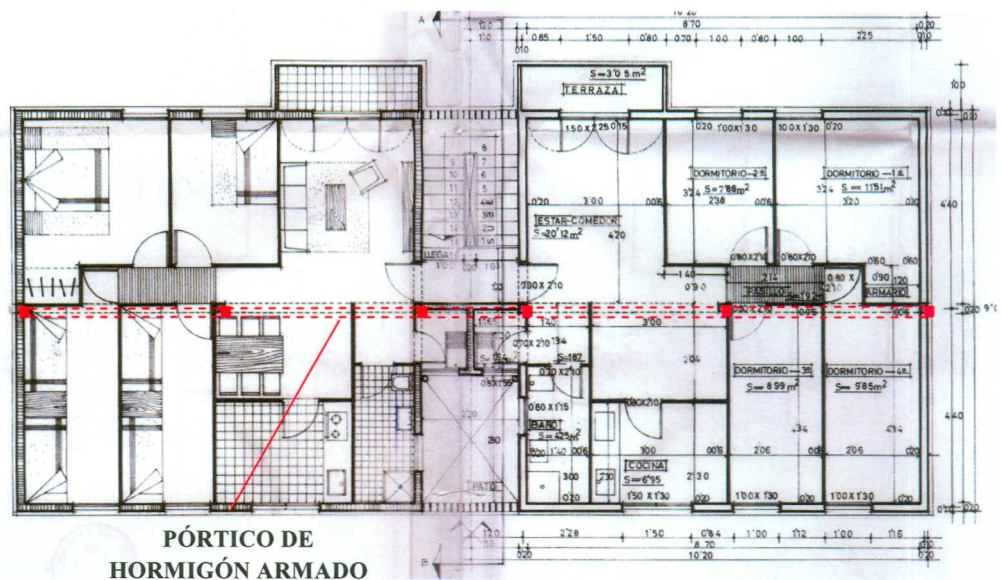


La estructura del edificio está formada, fundamentalmente, por forjados unidireccionales de viguetas prefabricadas pretensadas de hormigón, siendo el entrevigado de bovedillas de mortero. Dichas viguetas descansan sobre los muros de carga de fachadas y sobre un pórtico de hormigón armado paralelo a las mismas, situado aproximadamente en el punto medio entre ambas. El pórtico en cuestión está compuesto por vigas de canto de hormigón armado y pilares del mismo material.

Las fachadas del edificio están compuestas por muros de hormigón en planta baja y por muros de fábrica de bloques de mortero en el resto de plantas.

De acuerdo con la documentación técnica facilitada, la cimentación es de tipo directo, mediante zapatas de hormigón armado que apoyan sobre pozos de hormigón ciclópeo.

En la figura n° 1 mostramos un croquis de la planta tipo del edificio en cuestión, y en la figura n° 2 se muestra una vista general de la fachada principal del mismo.



Croquis de planta tipo extractado de la documentación técnica facilitada

Figura n° 1





Vista general del edificio objeto de estudio

Figura nº 2

3.2. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA FACILITADA

Para la realización del presente Informe el Peticionario nos ha facilitado copia de la siguiente documentación:

- Memoria justificativa del *PROYECTO DE EJECUCIÓN DE LA URBANIZACIÓN "LAS CHUMBERAS"* en La Laguna (Tenerife), fechada en agosto de 1964 y firmada por el Arquitecto, D Juan-Julio Fernandez Rodriguez.
- Planos de urbanización y viviendas del *PROYECTO DE EJECUCIÓN DE LA URBANIZACIÓN "LAS CHUMBERAS"* en La Laguna (Tenerife), fechados el 28 de agosto de 1964 y firmados por el Arquitecto, D Juan-Julio Fernandez Rodriguez.
- Pliego de condiciones del *PROYECTO DE EJECUCIÓN DE LA URBANIZACIÓN "LAS CHUMBERAS"* en La Laguna (Tenerife), fechado el 25



de agosto de 1964 y firmado por el Arquitecto, D Juan-Julio Fernandez Rodriguez.

- Presupuesto del *PROYECTO DE EJECUCIÓN DE LA URBANIZACIÓN "LAS CHUMBERAS"* en La Laguna, (Tenerife), fechada en agosto de 1964 y firmado por el Arquitecto, D Juan-Julio Fernandez Rodriguez.

4. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

Las actividades que consideramos necesarias para el estudio solicitado, y que se recogían en el plan de actuación de referencia PR/OC-09039/E y fecha 2009-02-20, fueron las siguientes:

- a) Revisión de la documentación técnica existente sobre el edificio objeto de consulta (Proyecto, datos sobre el Control de Materiales y Ejecución, etc.).*
- b) Inspección, por un equipo técnico del Área de Rehabilitación y Patología de la Construcción, de todas las dependencias accesibles del inmueble, con objeto de identificar aquellos síntomas que pudieran ser indicativos de un anómalo comportamiento estructural del mismo.*
- c) Redacción de un plan de apertura de calas de inspección para identificar aquellos elementos que por su tipología estructural y aspecto superficial puedan ser indicativos de haber sido fabricados con cemento aluminoso.*

Así mismo, dichas calas servirían para analizar el alcance de los eventuales daños por corrosión existentes en la estructura de hormigón. Para ello, analizaríamos el espesor del hormigón de recubrimiento, el avance del frente carbonatado en el hormigón mediante la aplicación de fenoftaleína diluida, la pérdida de sección resistente de las armaduras mediante su cepillado manual con cepillo de púas, etc.



Un Técnico Titulado supervisará la apertura de una cala de cada tipo.

- d) Sobre aquellos elementos estructurales que de la inspección de calas se deduzca que pueden haber sido fabricados con cemento aluminoso, se tomarán muestras (en principio está previsto tomar 6 muestras) para su posterior ensayo y determinación del tipo de conglomerante empleado.*

Sobre las muestras donde se confirme que han sido fabricados con cemento aluminoso se realizarán ensayos de difracción de rayos X. Dichos ensayos tienen por objeto verificar si se ha producido o no la conversión cristalina del conglomerante, y por lo tanto poder analizar el estado de degradación del mismo.

Así mismo, podría ser necesario, complementariamente, la toma de muestras del hormigón de las viguetas, con objeto de realizar ensayos de rotura a compresión simple.

- e) Análisis de las tipologías de las actuaciones de reparación y/o refuerzo que sean necesarias.*
- f) Emisión de un Informe de resultados de las actividades realizadas.*

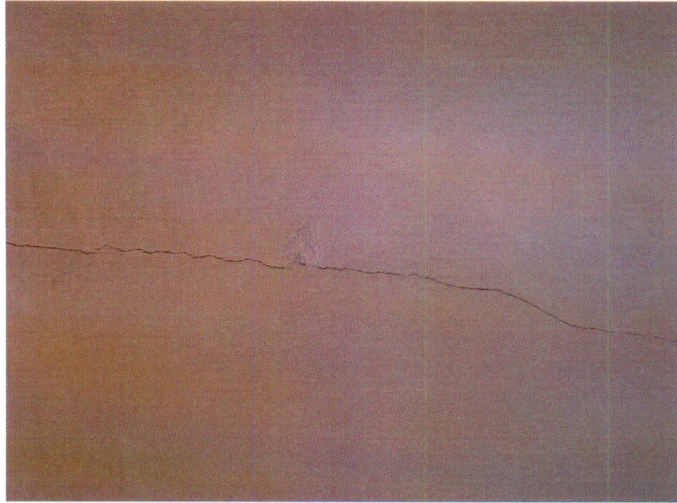
5. RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE INSPECCIÓN DE DAÑOS

Durante los días 4, 5 y 6 de marzo de 2009 un equipo Técnico dirigido por el ya referido D. Enrique Calderón Bello procedió a la realización de los trabajos de inspección de daños del edificio, fundamentalmente los existentes en los forjados y que son objeto de estudio.

Los resultados de dichas inspecciones se recogen mediante croquis y fotografías en el anejo n° 2 a este Informe. A continuación exponemos, de forma resumida, la tipología de las anomalías más significativas observadas:



- a) Fisuras en acabados de techo marcando la posición de las viguetas de forjado (véase la figura n° 3).



Fisura en acabados de techo en la vivienda 2° izquierda

Figura n° 3

- b) Desprendimientos del recubrimiento de los alambres de las viguetas pretensadas de hormigón del forjado, por oxidación de dichos alambres (véase la figura n° 4). En general, se aprecia una coloración marrón oscura del hormigón de las viguetas (véase la misma figura n° 4).

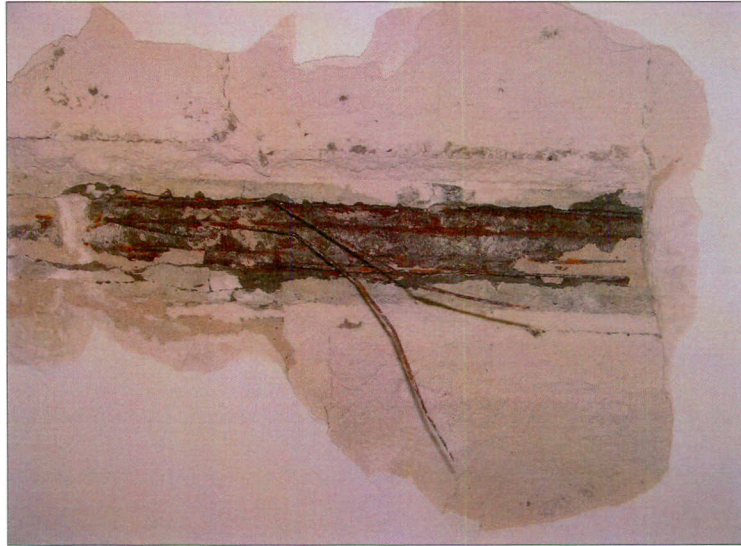


Desprendimiento del recubrimiento de alguna de las viguetas del forjado de techo de la vivienda 4° izquierda

Figura n° 4

En este sentido, cabe señalar que hemos detectado en los forjados inspeccionados en zonas húmedas (forjado de cubierta, cuartos de baño y cocinas) corrosión avanzada de los alambres de las viguetas con importantes pérdidas de sección de armado, llegando

en algunos casos a la pérdida total y por tanto a la rotura de las mismas (véase la figura n° 5). Los daños más severos (rotura de alambres) se localizan en el forjado de cubierta, en los forjados de techo de los locales¹ y en el techo del portal. En estas zonas la estructura se encuentra apeada.



Rotura del armado de una vigueta por pérdida total de sección por corrosión

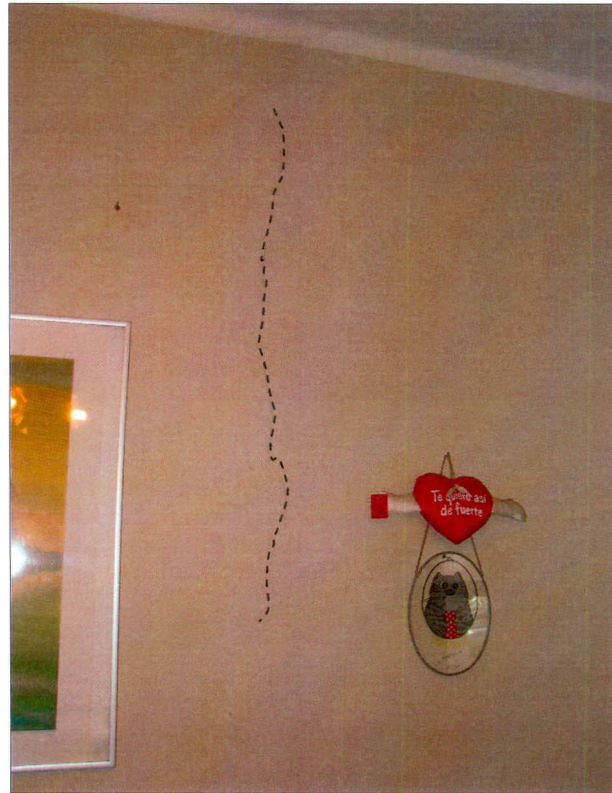
Figura n° 5

Además de los daños detectados en los forjados objeto de estudio, hemos observado las siguientes anomalías en el inmueble:

- c) Fisuras de diferentes trazados en la tabiquería y cerramiento de las viviendas (véanse algunas de las más significativas en las figuras n°s 6 y 7).
- d) Degradación y desprendimientos generalizados de los acabados de zonas interiores asociados a humedades (véase la figura n° 8).
- e) Fisura en borde de forjado en la fachada posterior del inmueble (véase la figura n° 9).

¹ Si bien no se nos ha permitido el acceso al local izquierdo.





Fisura de trazado vertical en cerramiento de la vivienda 2° izquierda

Figura n° 6



Fisuras de trazado horizontal y vertical en un tabique de la vivienda 2° izquierda

Figura n° 7





Degradación de acabados por humedades

Figura nº 8



Fisura en borde de forjado en la fachada posterior del inmueble

Figura nº 9



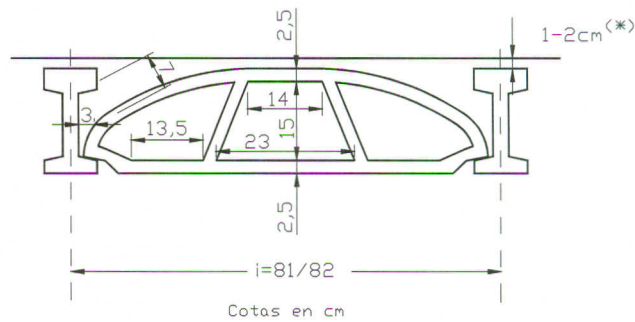
6. RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN DE CALAS EN ESTRUCTURA

Con objeto de caracterizar la configuración de los forjados y analizar el estado de degradación de las viguetas prefabricadas (pérdidas de sección de alambres por corrosión, avance del frente carbonatado en el hormigón, etc.) un equipo Técnico dirigido por el ya citado D. Enrique Calderón Bello procedió a la apertura de calas en estructura durante los mismos días en los que se llevó a cabo la inspección de daños (4 a 6 de marzo de 2009), en puntos fijados *in situ* por el Instituto.

En el anejo n° 3 recogemos mediante croquis y fotografías los resultados de la inspección de calas realizadas en la estructura. A continuación exponemos a modo de resumen los aspectos más significativos observados en las calas practicadas:

- La estructura horizontal objeto de estudio está constituida básicamente, como ya hemos indicado, por forjados unidireccionales de viguetas prefabricadas pretensadas de hormigón, siendo el entrevigado de bovedillas de mortero. Dichas viguetas descansan sobre los muros de carga de fachadas y sobre un pórtico de hormigón armado paralelo a las mismas situado aproximadamente en el punto medio entre ambas. El pórtico en cuestión está compuesto por vigas de canto de hormigón armado y pilares del mismo material.
- El canto de los forjados es del orden de unos 22 cm (viguetas de 20 cm de canto y una capa de compresión comprendida entre 1 y 2 cm), siendo el ancho del patín inferior de las viguetas de 10 cm y el intereje entre las mismas de 81 a 82 cm aproximadamente. La luz de los forjados inspeccionados es en todos los casos del orden de 4,0 m a 4,5 m a ejes de vigas. En la figura n° 10 mostramos un croquis de la sección tipo de forjado detectada.





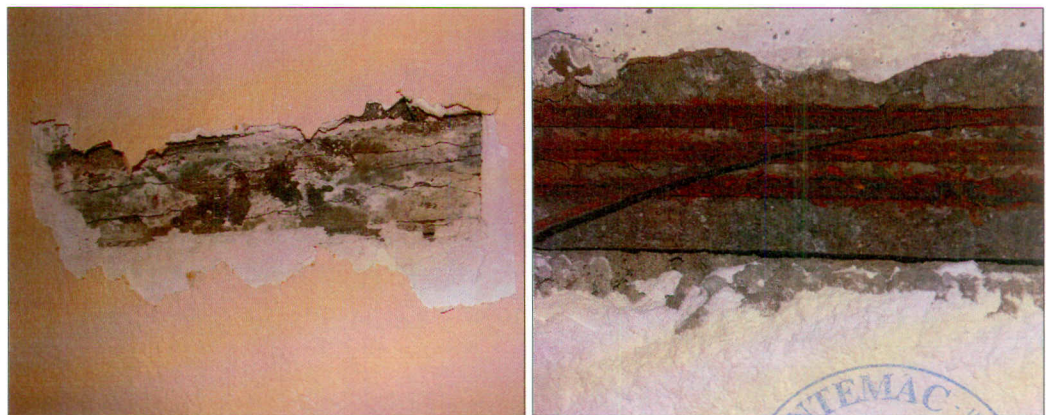
(*) Sólo se ha podido medir en una ubicación

Sección transversal tipo del forjado

Figura nº 10

- En las calas realizadas en las viguetas de hormigón que componen el forjado hemos detectado que la armadura inferior está compuesta por 12 alambres pretensados. El recubrimiento de dicha armadura está comprendido entre 0,5 y 1,5 cm.

En las calas realizadas en viguetas localizadas en zonas húmedas siempre se detecta fisuración del recubrimiento del hormigón de los alambres y corrosión de éstos (véase la figura nº 11). Sin embargo en el resto de zonas, los alambres no presentan oxidación (véase la figura nº 12).



Vista de una cala realizada en zona húmeda

Figura nº 11





Vista de una cala realizada en zona no húmeda

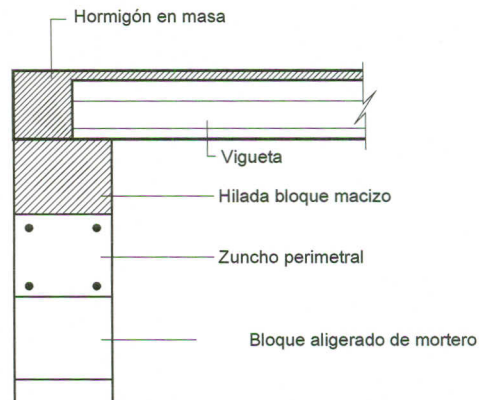
Figura n° 12

- De la aplicación de fenoftaleína diluida en las calas realizadas² se deduce que en todos los casos (tanto zonas húmedas como en el resto) el frente de carbonatación ha rebasado la posición de las armaduras.

Hemos realizado algunas calas en el resto de la estructura con objeto de tomar datos básicos para definir las posibles tipologías de refuerzo de los forjados, en el caso de que del estudio se dedujese necesario. A continuación exponemos algunos de los aspectos más significativos observados:

- Los muros muestreados en las calas presentan una configuración variable según su localización en altura. En planta baja los muros son de hormigón y presentan un espesor aproximado de 22 cm. En el resto de plantas dichos muros se resuelven con fábrica de bloques de hormigón. En la figura n° 13 mostramos la configuración detectada para los muros de fachada de planta bajo cubierta.

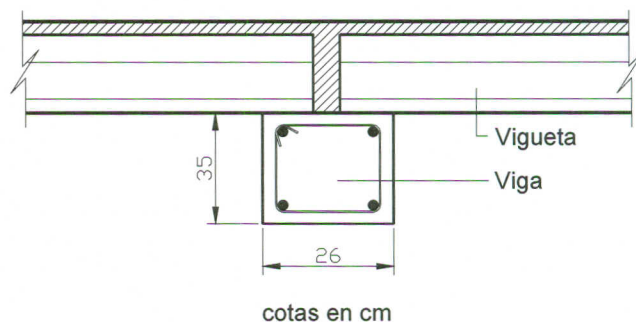
² Este aspecto se analiza con mayor detalle mediante los ensayos de Laboratorio realizados sobre las muestras seleccionadas.



Configuración del muro en planta bajo cubierta

Figura n° 13

- Las vigas del pórtico central son de *cuelgue* de sección rectangular, de unas dimensiones aproximadas de unos 35×26 cm (canto × ancho) en los vanos de mayor luz, y de 23×15 cm en los de menor luz. De las calas realizadas se deduce que las viguetas de forjado apoyan directamente sobre las vigas (véase la figura n° 14).



Detalle de encuentro entre la viga de canto y el forjado de techo

Figura n° 14

Cabe señalar que al retirar parte de los acabados en una viga de la vivienda izquierda de la 4ª planta, en la posición de una fisura, hemos detectado que la armadura longitudinal, constituida por barras de acero corrugado de diámetro aproximado de 16 mm, presentaba oxidación. En la figura n° 15 mostramos una vista del estado de corrosión que presentaba dicha viga.





Vista del estado de corrosión que presentaba dicha viga

Figura nº 15

7. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE MATERIALES

Con objeto de analizar el hormigón de las viguetas de forjado del edificio objeto de estudio, durante los trabajos de apertura de calas comentados en el apartado anterior procedimos a la toma de seis muestras de hormigón endurecido. La selección de dichas muestras fue realizada *in situ* por un equipo Técnico del Instituto dirigido por el ya citado D. Enrique Calderón Bello, abarcando tanto viguetas que presentaban daños por corrosión como viguetas en las que los alambres estaban en buen estado (de acuerdo con las calas realizadas).

Dichas muestras fueron posteriormente enviadas al Laboratorio Central de INTEMAC, sito en Torrejón de Ardoz (Madrid), donde se realizaron los siguientes ensayos:

- Preparación, molturación, homogeneización y tamizado de las muestras recibidas.



- Determinación del tipo de conglomerante, mediante análisis químico, según procedimiento interno M.2.01.06.Ed.7³ y UNE-EN 196-2:2006.
- Análisis cualitativo de fases cristalinas mediante difracción de Rayos X⁴.
- Porosidad y densidad, según ASTM C-642:2006.
- Determinación del frente de carbonatación con fenolftaleína, según UNE 112011:1994, y medición aproximada del pH, mediante disolución de material molido de la muestra en etanol absoluto y tinción del sobrenadante con indicadores ácido-base.

En el anejo nº 4 al presente Informe recogemos la metodología empleada y los resultados obtenidos en los ensayos realizados. Así mismo, en el apartado siguiente se comentan, entre otros aspectos, los resultados obtenidos.

8. COMENTARIOS

Con base en los aspectos referidos en los apartados anteriores, formulamos los siguientes comentarios:

- Las viguetas de forjado que componen la estructura horizontal del inmueble presentan daños asociados a procesos de corrosión de los alambres de pretensado de dichas viguetas. En efecto, hemos detectado fisuras en cara inferior de las viguetas indicativas del avanzado estado de oxidación de los alambres, que en algunos casos han provocado la expulsión del hormigón de recubrimiento (como consecuencia del incremento de volumen que experimentó el acero de los alambres al corroerse), e incluso, en casos puntuales, la rotura de los alambres.

³ Manual de Instrucciones Técnicas de INTEMAC: M.2.01.06.Ed.7: Métodos de ensayo de cementos. Análisis químico.

⁴ Ensayo efectuado por el Servicio de Rayos X del INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA JAUME ALMERA (ICTJA) del CSIC (Informes nº EX204099 a EX204104 de fecha 17/04/2009).



La tipología de daños antes referida, la coloración del hormigón en las zonas donde se habían producido desconchones, la tipología estructural de las viguetas empleadas y la época aproximada en la que se construyó el inmueble, pusieron de manifiesto que muy probablemente las viguetas de forjado empleadas habían sido construidas con cemento aluminoso⁵.

En este sentido cabe señalar que, a modo de resumen, la trascendencia del empleo de dicho conglomerante reside en que, si bien presenta unas adecuadas características resistentes y durables iniciales, a lo largo del tiempo se da en menor o mayor medida una evolución desfavorable de dichas propiedades, conllevando a que se produzcan, fundamentalmente, los siguientes fenómenos:

- Pérdida significativa de la resistencia a compresión del hormigón, lo que también se traduce como una afección sobre las condiciones de adherencia de los alambres.
- Drástica reducción en la protección que confiere el hormigón a las armaduras frente a la corrosión, como consecuencia del incremento de la porosidad y permeabilidad en el hormigón y el aumento de la velocidad de carbonatación en el mismo.

Por otro lado, una estructura ejecutada con cemento aluminoso no tiene por qué evolucionar de forma tan desfavorable (depende en gran medida de las condiciones de humedad y temperatura) como para requerir ser necesariamente reforzada, por lo que planteamos una campaña de ensayos sobre la calidad del hormigón de las viguetas, con objeto de confirmar la presencia o no de cemento aluminoso, y en caso afirmativo, poder analizar el grado de degradación del conglomerante.

⁵ Hacemos hincapié en que, si bien en la actualidad está totalmente prohibido el uso de cemento aluminoso como conglomerante de hormigón pretensado, en la época de construcción del inmueble aún se permitía su uso, dado que se desconocían los efectos desfavorables de su empleo pese a sus otras buenas cualidades.

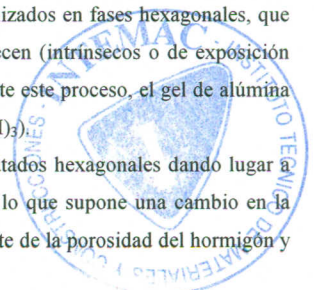


- De los resultados del análisis químico, efectuados para determinar el tipo de conglomerante empleado en la fabricación del hormigón de las muestras objeto de estudio y la dosificación de cemento empleada, se deduce que en la fabricación del hormigón de las muestras de viguetas ensayadas se empleó cemento aluminoso como conglomerante.

Los valores obtenidos en los análisis efectuados por difracción de rayos X sobre las muestras enriquecidas en conglomerante ponen de manifiesto que en la fabricación del hormigón se han empleado como áridos rocas ígneas plutónicas (augita y anortita). El empleo como árido de anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), feldespatos de la familia de las plagioclasas, soluble en ácido, distorsiona el contenido de óxido de aluminio (III) (Al_2O_3) y de óxido de calcio (CaO) en los análisis químicos efectuados, incrementando estos parámetros (que habitualmente corresponderían únicamente al cemento) en función de la contribución ponderal de este tipo de árido, lo que no permite calcular el contenido de cemento en el hormigón a partir de los valores de los análisis químicos de las muestras.

La elevada densidad de los áridos empleados y la porosidad derivada de su origen volcánico, en especial la augita (con una densidad de $3,4 \text{ kg/dm}^3$) distorsiona al alza los resultados de porosidad y densidad de estos hormigones, de modo que no resulta factible obtener información cualitativa sobre el proceso de conversión cristalina⁶ del cemento aluminoso a partir de los valores de porosidad obtenidos sobre las muestras.

⁶ La hidratación del cemento aluminoso da lugar a aluminatos cálcicos hidratados cristalizados en fases hexagonales, que pueden transformarse, por estabilidad termodinámica y por otros factores que lo favorecen (intrínsecos o de exposición ambiental), en aluminatos cálcicos cúbicos, muchos más estables. De igual modo, durante este proceso, el gel de alúmina (Al_2O_3) formado inicialmente tiende a estabilizarse en forma de gibbsita cristalina ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Este proceso de conversión cristalina de los aluminatos monocálcicos y bicálcicos hidratados hexagonales dando lugar a aluminatos tricálcicos cúbicos, lleva asociado una liberación de agua de cristalización, lo que supone un cambio en la microestructura de la pasta de cemento hidratado, que da lugar a un incremento importante de la porosidad del hormigón y a una merma significativa de su resistencia mecánica.



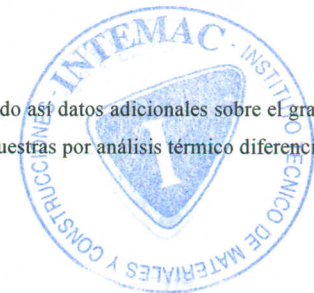
El análisis por difracción de rayos X de las muestras analizadas pone de manifiesto la presencia de gibbsita y bayerita, lo que confirma la utilización de cemento aluminoso, pero en los difractogramas no se detectan fases correspondientes a los aluminatos cálcicos hexagonales, por lo que se puede deducir que el proceso de conversión cristalina se ha desarrollado de forma generalizada⁷.

Tampoco se ha detectado la presencia de katoíta (aluminato tricálcico cúbico) originada por la transformación de los aluminatos hexagonales, lo cual suele ser habitual puesto que, normalmente, la katoíta se carbonata fácilmente, dado que una vez que los aluminatos se han transformado en la fase cúbica, el hormigón resulta mucho más poroso y accesible a una rápida carbonatación, lo que produce el descenso de pH y, por tanto, la pérdida de la reserva alcalina del hormigón. Este efecto, al quedar las armaduras despasivadas, posibilita su oxidación si las condiciones de humedad son las adecuadas para que se desencadenen los procesos de corrosión.

Las medidas de los extractos de las muestras objeto de estudio con indicadores de pH son significativas de que el hormigón ha perdido su reserva alcalina en todos los casos analizados, lo que confirma que la pasta de cemento se encuentra carbonatada (a su vez se han detectado fases de carbonatos cálcicos en todas las muestras procesadas por difracción de rayos X).

Debido a ello, aunque tanto la conversión cristalina de los aluminatos cálcicos como la posterior carbonatación de la pasta de cemento se habrían producido en un grado similar en todas las muestras ensayadas, la corrosión de las armaduras se habrá visto acrecentada en aquellas localizaciones en las que las condiciones de humedad sean las más favorables para el desarrollo del proceso de oxidación, de modo que la extensión y magnitud de los daños por corrosión (superficie de las áreas afectadas,

⁷ Para una identificación complementaria de las fases residuales presentes, obteniendo así datos adicionales sobre el grado de transformación de los aluminatos, se hubiera podido proceder al estudio de las muestras por análisis térmico diferencial, si bien los datos aportados hubieran sido meramente cualitativos.



cuantificación de las pérdidas de sección del acero, desprendimientos del hormigón de recubrimiento de las armaduras, etc.) en unas u otras zonas serán principalmente función de su nivel de exposición, tal y como se comenta más adelante. Téngase en cuenta que, una vez iniciados los procesos de corrosión en los alambres, evolucionan rápidamente al encontrarse la armadura con un nivel tensional elevado al tratarse de acero pretensado (fenómeno conocido como *corrosión bajo tensión*).

- En cuanto a la trascendencia estructural de los daños, de la inspección realizada y de los resultados obtenidos en las calas realizadas, se deduce que los daños por corrosión detectados se dan siempre en los puntos sometidos a unas condiciones de humedad más desfavorables (forjado de cubierta, cuartos de baño, cocinas, y puntos próximos a éstos). Del análisis de estas zonas observamos que en general se ha producido una afeción sobre las condiciones nominales de seguridad de las viguetas ante las pérdidas de sección resistente de los alambres, si bien es difícil de valorar en qué grado. No obstante, en algunas zonas concretas del edificio (portal de planta baja, forjado de cubierta y forjado de techo de locales) los daños ya son suficientemente severos como para, tal y cómo se ha hecho a lo largo del estudio, se hayan tomado medidas de emergencia como el desalojo y el apeo⁸.

En el resto de zonas, donde las condiciones de humedad no son tan desfavorables, no se han detectado daños por corrosión de los alambres de las viguetas, si bien, de acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de materiales realizados, sí se ha producido la degradación del conglomerante y por lo tanto una reducción de la resistencia del hormigón que puede comprometer las condiciones de seguridad de los forjados.

⁸ En este sentido queremos recordar que, a fecha de redacción del presente documento, no se ha permitido el acceso al local izquierdo del inmueble, donde en nuestra opinión, a raíz de los resultados de la inspección de su techo, es muy probable que deban tomarse medidas análogas a las realizadas en el local derecho (desalojo y apeo).

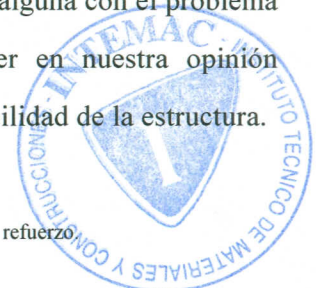


- Por todo lo anteriormente expuesto es necesario proceder con urgencia al refuerzo generalizado de las viguetas de forjado del inmueble, si bien, en tanto se lleve a cabo dicho refuerzo, no es necesario por el momento adoptar medidas de emergencia adicionales a las ya tomadas. Únicamente, las medidas que habría que llevar a cabo en tanto se acometa el refuerzo serían en nuestra opinión las siguientes:
 - Evitar la acumulación de cargas excepcionales en las zonas de cuartos húmedos y cocinas (fundamentalmente, acopio de objetos).
 - Mantener bajo seguimiento periódico⁹ la estructura en dichas zonas mediante la realización de inspecciones por un Técnico competente. Básicamente se trataría de analizar si se produce un aumento de los daños actuales en techo en estas zonas, y/o la aparición de nuevos daños en ellas.

En el apartado 10 recogemos unas recomendaciones para llevar a cabo dicho refuerzo. En este sentido queremos señalar que el refuerzo a disponer tiene por objeto garantizar unas adecuadas condiciones de seguridad de las viguetas de forjado del inmueble, no siendo objeto del mismo el corregir otras posibles deficiencias que pudiera presentar el inmueble. Ejemplo de este último aspecto es la falta de una adecuada losa superior de reparto sobre las viguetas existentes, aspecto que afecta a las condiciones de servicio del inmueble, pudiendo aparecer a lo largo del tiempo daños en solados y acabados de techo, incluso para la estructura ya reforzada, que en cualquier caso no tendrían trascendencia desde el punto de vista estructural.

- Por último, hemos observado otros daños en el inmueble (puntualmente daños por corrosión en vigas y daños en bordes de forjado en fachada) que, si bien no tienen en la actualidad trascendencia estructural (no guardando relación alguna con el problema asociado a la presencia de cemento aluminoso), deben ser en nuestra opinión reparados para garantizar unas adecuadas condiciones de durabilidad de la estructura.

⁹ Podría realizarse un seguimiento periódico trimestral hasta que se finalizasen las obras de refuerzo.



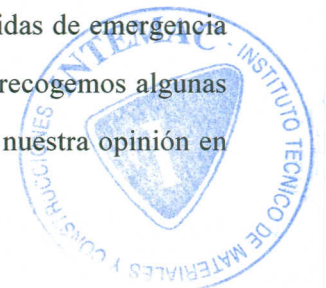
9. CONCLUSIONES

Con base en los aspectos referidos en los apartados anteriores, formulamos las siguientes conclusiones:

- a) El origen de los daños detectados en la cara inferior de los forjados del inmueble reside en la degradación por corrosión de los alambres de pretensado que conforman las viguetas de forjado. Dicha degradación viene motivada por el empleo de cemento aluminoso como conglomerante del hormigón de las viguetas prefabricadas dispuestas, y por los consiguientes procesos de degradación en dicho conglomerante, comentados en el apartado anterior, que han favorecido el desencadenamiento de los procesos de corrosión en los alambres en las zonas con condiciones de humedad más desfavorables.
- b) Los resultados de los ensayos de materiales realizados confirman el empleo de cemento aluminoso como conglomerante, así como el hecho de que se haya desarrollado por completo y de forma generalizada el proceso de conversión cristalina del mismo. Este hecho supone que se haya producido la desprotección de los alambres de las viguetas frente a la corrosión, tal y como se explica en detalle en el apartado anterior, así como una pérdida significativa de la resistencia del hormigón.

Ambos aspectos han supuesto el fin de la vida útil de las viguetas en las zonas donde las condiciones de humedad son más desfavorables (forjado de cubierta, cuartos de baño, cocinas, etc.), y conllevan una merma significativa de las condiciones de seguridad y durabilidad en el resto de zonas.

- c) Por todo lo anteriormente expuesto es necesario proceder con urgencia al refuerzo generalizado de las viguetas de forjado de todo el inmueble, si bien, en tanto se lleve a cabo dicho refuerzo, no es necesario por el momento adoptar medidas de emergencia adicionales a las ya tomadas. Únicamente, en el apartado anterior recogemos algunas medidas preventivas complementarias a tener en consideración en nuestra opinión en tanto se acometa el refuerzo.



10. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados del estudio realizado, es necesario proceder al refuerzo generalizado de las viguetas de forjado de la totalidad del inmueble. A continuación exponemos la tipología de refuerzo que en nuestra opinión resulta más adecuada para la configuración de los forjados existentes y el tipo de patología detectada:

- El refuerzo consistiría en la disposición de un perfil metálico bajo cada una de las viguetas existentes. Dicho perfil sería fijado en un extremo a la cara lateral de la viga del pórtico central, y en el otro a la cara interior del muro sobre el que apoya el forjado a reforzar. En la figura n° 13 mostramos unos croquis esquemáticos del refuerzo a disponer.

Del predimensionamiento realizado por el Instituto, se deduce que, para las cargas existentes y la sobrecarga de uso exigida por la normativa vigente para uso residencial (2 kN/m^2), por condiciones de seguridad y, fundamentalmente, de rigidez del refuerzo, es necesario disponer un perfil tipo *IPN180* bajo cada vigueta existente.

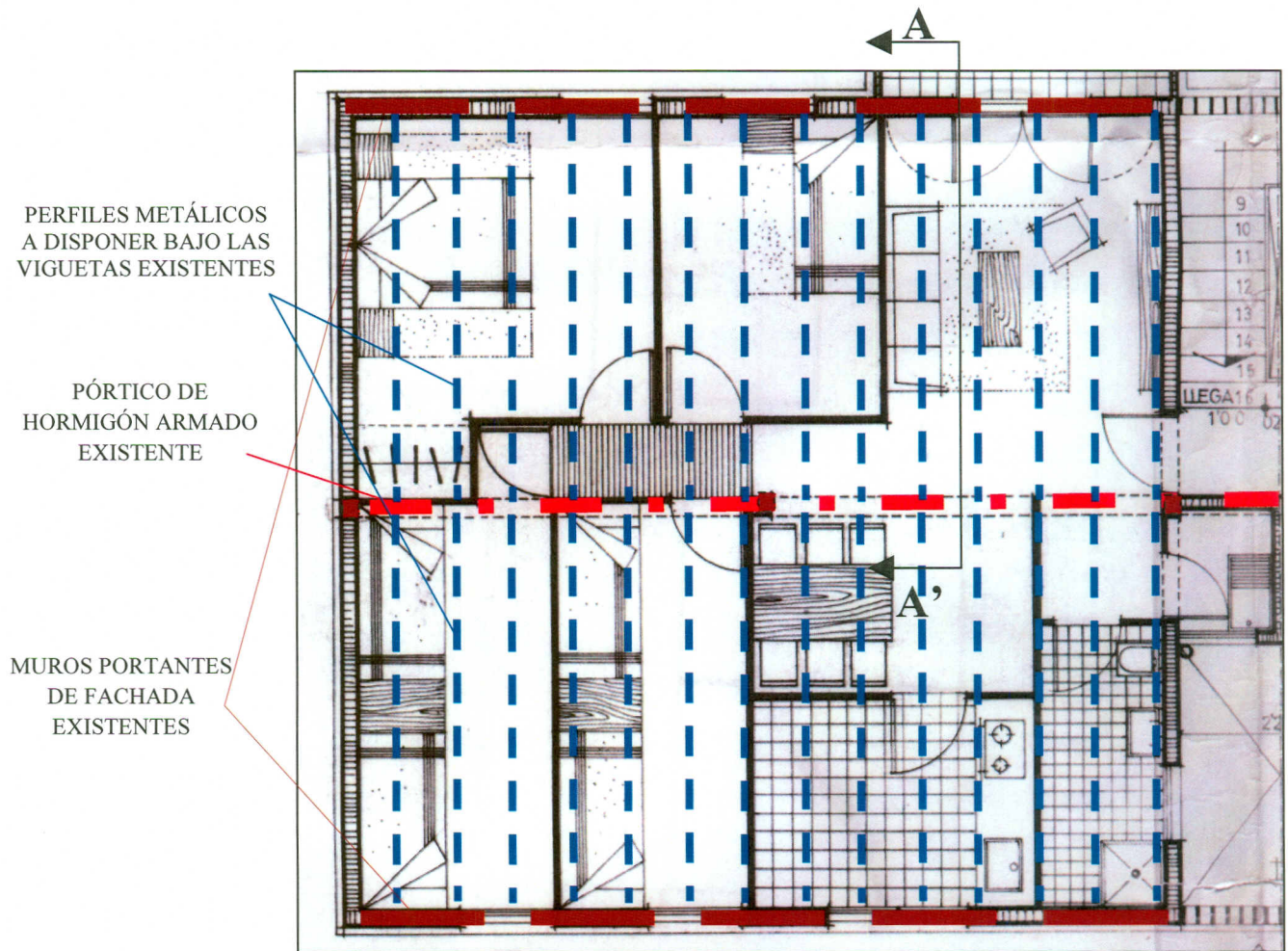
- Los perfiles se soldarán a unas chapas que habrán sido fijadas previamente mediante tacos de anclaje tipo químico a las caras laterales de las vigas y a la cara interior de los muros de fachada. Dichas chapas podrán ser, bien cuadrangulares de unos $200.200.7 \text{ mm}$, o bien unas pletinas corridas de 200 mm de alto y espesor de 7 mm .

En el caso de la fijación de las chapas a las vigas, si las viguetas de forjado de los dos vanos adyacentes están alineadas recomendamos que se dispongan barras roscadas pasantes de cara a cara de la viga, en lugar de tacos de anclaje independientes.

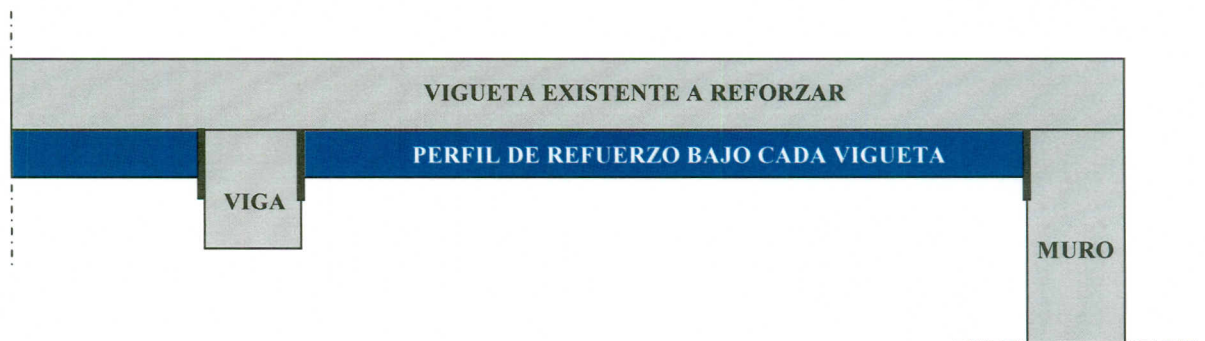
En el caso de los muros, en nuestra opinión, para la elección del tipo de anclaje químico deberán realizarse ensayos previos del anclaje seleccionado para analizar su idoneidad respecto del material base (bloque macizo¹⁰).

¹⁰ En el caso de que en alguna ubicación no se detectase bloque macizo, deberá analizarse de forma particular y específica el tipo de anclaje a disponer, y las medidas complementarias a adoptar.





Esquema de planta



Vista AA'

Croquis esquemáticos del refuerzo a disponer
Ejemplo para una de las viviendas tipo

Figura n° 16

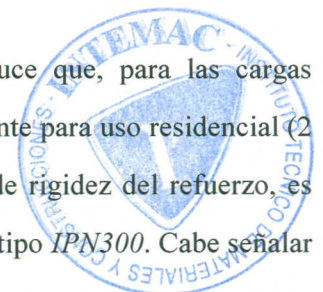


- Los perfiles deberán ser retacados con cuñas metálicas a la cara inferior de las viguetas existentes (previamente, deberán retirarse los acabados existentes en la cara inferior de las mismas), y posteriormente retacados con un mortero ligeramente expansivo. Cabe señalar que, previamente, habrá sido necesario sanear los fragmentos de hormigón no firmemente adheridos de recubrimiento de los alambres de las viguetas existentes.
- Por último, deberá protegerse el refuerzo ejecutado frente a la corrosión y frente a *fuego*.

Como se ha indicado en el apartado de *Comentarios* dicho refuerzo tiene por objeto garantizar unas adecuadas condiciones de seguridad de las viguetas de forjado del inmueble, no siendo objeto del mismo el corregir otras posibles deficiencias que pudiera presentar el edificio. En este sentido cabe señalar por ejemplo la falta de una adecuada losa superior de reparto sobre las viguetas existentes afecta a las condiciones de servicio del inmueble, pudiendo aparecer a lo largo del tiempo daños en solados y acabados de techo, incluso para la estructura ya reforzada, que en cualquier caso no tendrían trascendencia desde el punto de vista estructural.

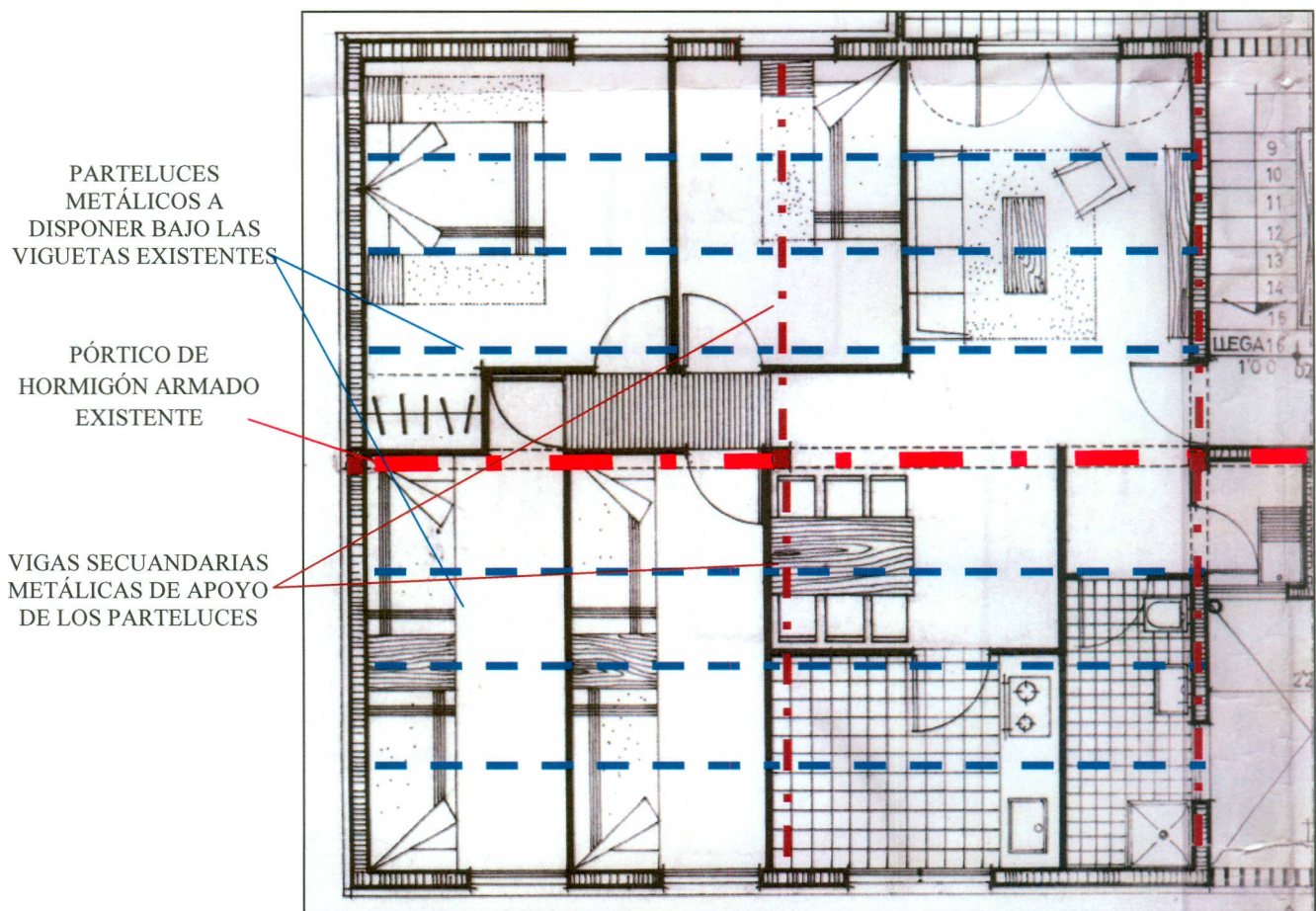
Como alternativa a la solución propuesta podrían disponerse parteluces metálicos bajo las viguetas, en dirección ortogonal a éstas, con un intereje de aproximadamente 1 m. Dichos parteluces apoyarían, dependiendo de su ubicación, en el muro de medianería y en vigas secundarias metálicas que recojan la carga y la lleven hasta los soportes de hormigón existentes (pórtico central). En la figura n° 14 mostramos un croquis esquemático de planta de la alternativa propuesta.

Del predimensionamiento realizado por el Instituto, se deduce que, para las cargas existentes y la sobrecarga de uso exigida por la normativa vigente para uso residencial (2 kN/m^2), por condiciones de seguridad y, fundamentalmente, de rigidez del refuerzo, es necesario disponer parteluces tipo *IPN200* y vigas secundarias tipo *IPN300*. Cabe señalar



que esta solución requeriría un análisis específico del detalle de apoyo de las vigas secundarias sobre los muros portantes.

En todo caso, en nuestra opinión la primera alternativa propuesta es más adecuada para solventar el tipo de anomalías detectadas.



Croquis esquemático de planta de la otra posible alternativa de refuerzo a disponer.

Ejemplo para una de las viviendas tipo

Figura n° 17



Este documento consta de veintinueve páginas numeradas y selladas, y cuatro anejos.

Madrid, 30 de abril de 2009

SECCIÓN I DE ESTUDIOS DE
PATOLOGÍA



Fdo. Lucía Díaz Lorenzo

Ingeniero de Caminos y Arquitecto Técnico

EL JEFE DE LA SECCIÓN I DE
ESTUDIOS DE PATOLOGÍA



Fdo. Enrique Calderón Bello

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

EL DIRECTOR DEL ÁREA DE
REHABILITACIÓN Y PATOLOGÍA



Fdo. Raúl Rubén Rodríguez Escribano

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos