

REFUERZO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UNA ESCUELA EN LA CIUDAD DE SALTA

Roberto Adolfo Caro – Ing. en Construcciones

Profesor Asociado–Facultad de Ingeniería–Universidad Nacional de Salta

Asesor Profesional Secretaría de Obras Públicas – Gobierno de la Provincia de Salta

María Alejandra Ceballos - Ing. Civil

Profesor Adjunto–Facultad de Ingeniería–Universidad Nacional de Salta

RESUMEN

Se describe el procedimiento de Refuerzo Estructural Sismorresistente elegido en este caso en particular, para recuperar un edificio escolar que presentaba fisuras y grietas en sus muros de bloques huecos de hormigón, originalmente portantes (a cargas verticales y fuerzas sísmicas), los cuales sufrieron importantes asentamientos, originando la patología descrita, llevando esto a una importante reducción en la seguridad frente a cargas sísmicas.

Se eligió la Técnica de Refuerzo en ambas caras de los muros con Malla de Acero y Mortero Proyectado.

Para verificar la nueva estructura, se utilizaron:

1. Método Aproximado: Utilizando formulaciones ya determinadas a través de ensayos de muros en escala natural, para obtener la capacidad resistente del Refuerzo.
2. Modelando el Sistema con el Programa SAP2000.

Podemos ver los resultados de ambos métodos y verificar la validez del Método Aproximado, lo cual nos garantiza el uso de los mismos en situaciones similares.

Se muestran fotografías de la obra antes, durante y después de los trabajos del Refuerzo Estructural.

Finalmente, se hacen algunas recomendaciones constructivas en cuanto a este tipo de Refuerzo.

ABSTRACT

The procedure of structural reinforcement for seismic resistance, used in this case, to recover a school building with fissures and cracks in its hollow concrete block walls, originally load-bearing (to vertical loads and seismic forces) is described. These walls underwent significant settlement, resulting in the pathology previously described, and leading to a considerable diminished safety when bearing seismic loads.

A Reinforcement with Steel Mesh and Projected Mortar Technique was selected for both faces of the walls.

To check the new structure, the following was used:

1. Approximate method: Using formulations already determined by testing on actual-size walls, to obtain the resistance capacity of the Reinforcement.
2. Modelling the System with the SAP2000 Program.

We can see the results of both methods and verify the validity of the Approximate Method, which guarantees their use in similar situations.

Pictures of the work, taken before, during and after the Structural Reinforcement work was performed, are shown.

Finally, some constructive recommendations are made as for this type of Reinforcement.

DESARROLLO

El estado del Edificio Escolar (10 aulas, Patio Central Interno, Dirección, Secretaría, Sala de Profesores y Depósito) se encontraba en un estado de agrietamiento en sus muros que hacía dudar sobre su seguridad frente a cargas verticales, más aún frente a cargas sísmicas. El riesgo se presentaba ya que los muros agrietados eran de bloques huecos de hormigón y portantes (sobre ellos apoyaban las losas de ladrillón cerámico hueco y armadura longitudinal). En el sector del Patio Central, las losas apoyan sobre vigas de hormigón armado y éstas en columnas del mismo material, conformando en este sector una estructura aporticada.

Al no haber documentación de estructura del edificio (construido en los años 70 a 71), se realizaron una serie de sondeos para determinar las características de la estructura existente, tipo y dimensiones, tanto de la fundación como de los demás elementos. Se realizaron estudios de suelos, habiendo confirmado la existencia de arcillas altamente expansivas en los niveles de fundación de los cimientos y bases. Estas arcillas se activaron por el ingreso de agua durante muchos años (esta agua era proveniente de cañerías de cloacas y desagües pluviales rotas, además de estar las veredas perimetrales totalmente destruidas).

El procedimiento de refuerzo elegido (Malla de Acero y Mortero Proyectado), consiste en la aplicación de una malla de acero en ambas caras del muro, vinculadas entre sí en puntos regularmente espaciados recubriéndola luego con un mortero cementicio proyectado.

La secuencia de trabajo es la siguiente:

Remoción del revoque existente.

Picado de la superficie a reparar para aumentar la rugosidad y mejorar la adherencia del mortero proyectado y el muro.

Ejecución de perforaciones cada 0.50m (en ambas direcciones) para colocar los pasadores que materializarán el anclaje de las mallas.

Colocación de separadores (espesor 0.01m) o bien aplicar una primera capa de mortero cementicio del mismo espesor.

Colocación de los anclajes y fijación de la malla.

Aplicación de una segunda capa de mortero cementicio recubriendo totalmente la malla. En este caso la capa de mortero cementicio tiene un espesor total de 0.04m.

Previo a la colocación de la malla, se ejecutó una viga de fundación a ambos lados del muro, la cual se apoyó sobre sendos dados de hormigón ciclópeo (hormigón de piedra), los cuales se fundaron a una profundidad de 1,50m bajo el nivel del terreno natural. Esta viga cumple dos funciones:

- La primera es la de anclar la malla de refuerzo de los muros a la fundación.
- La segunda es lograr una mayor superficie de asiento de los muros y cimientos existentes, logrando una superficie corrida de 1,00m mayor a la existente, con lo cual reducimos la tensión de contacto suelo-fundación.

Para la resolución del problema, se decidió plantear dos métodos y comparar sus resultados:

1. Método Aproximado.
2. Modelando el Sistema con el Programa SAP2000.

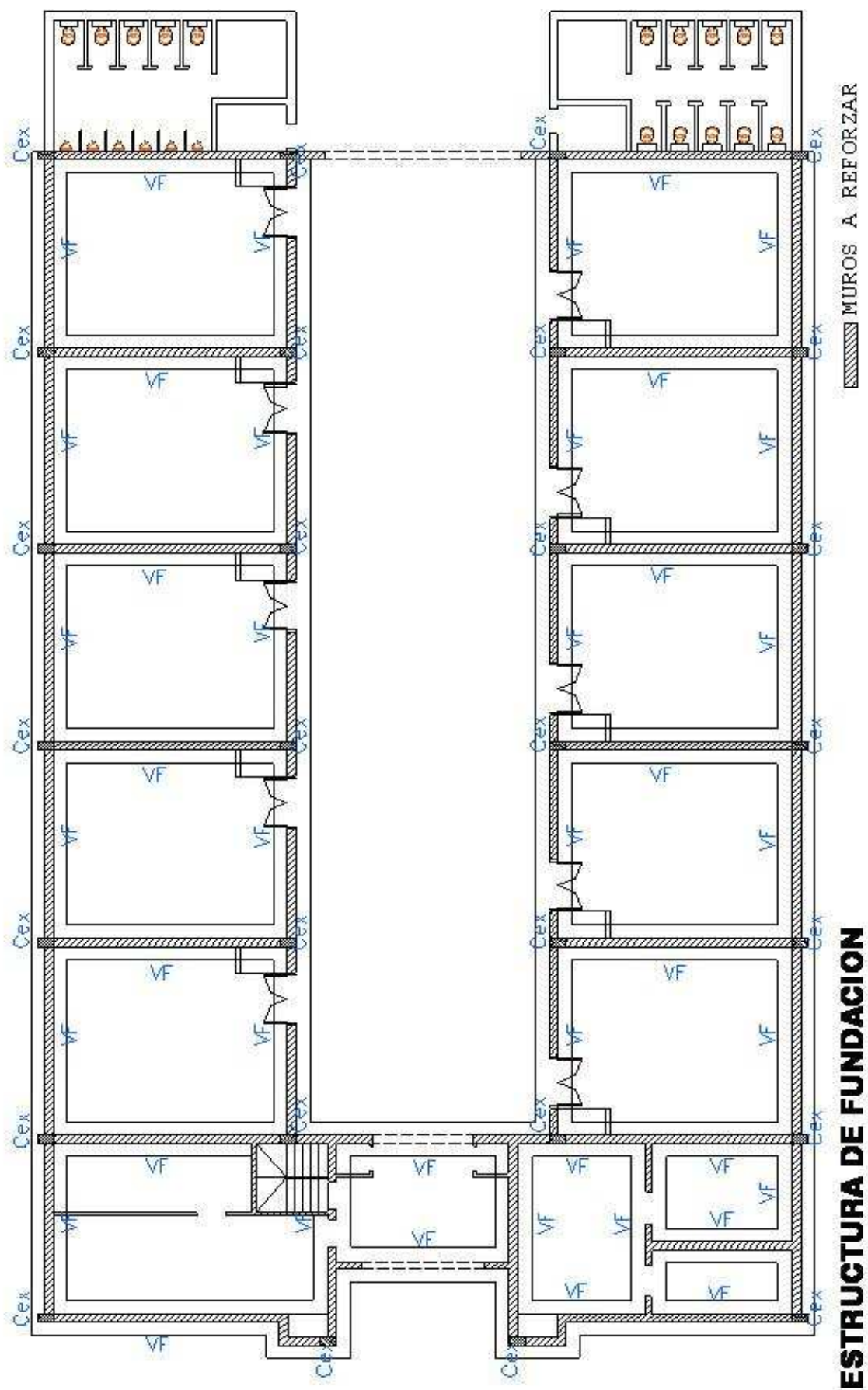


Figura 1: Planta de Fundación

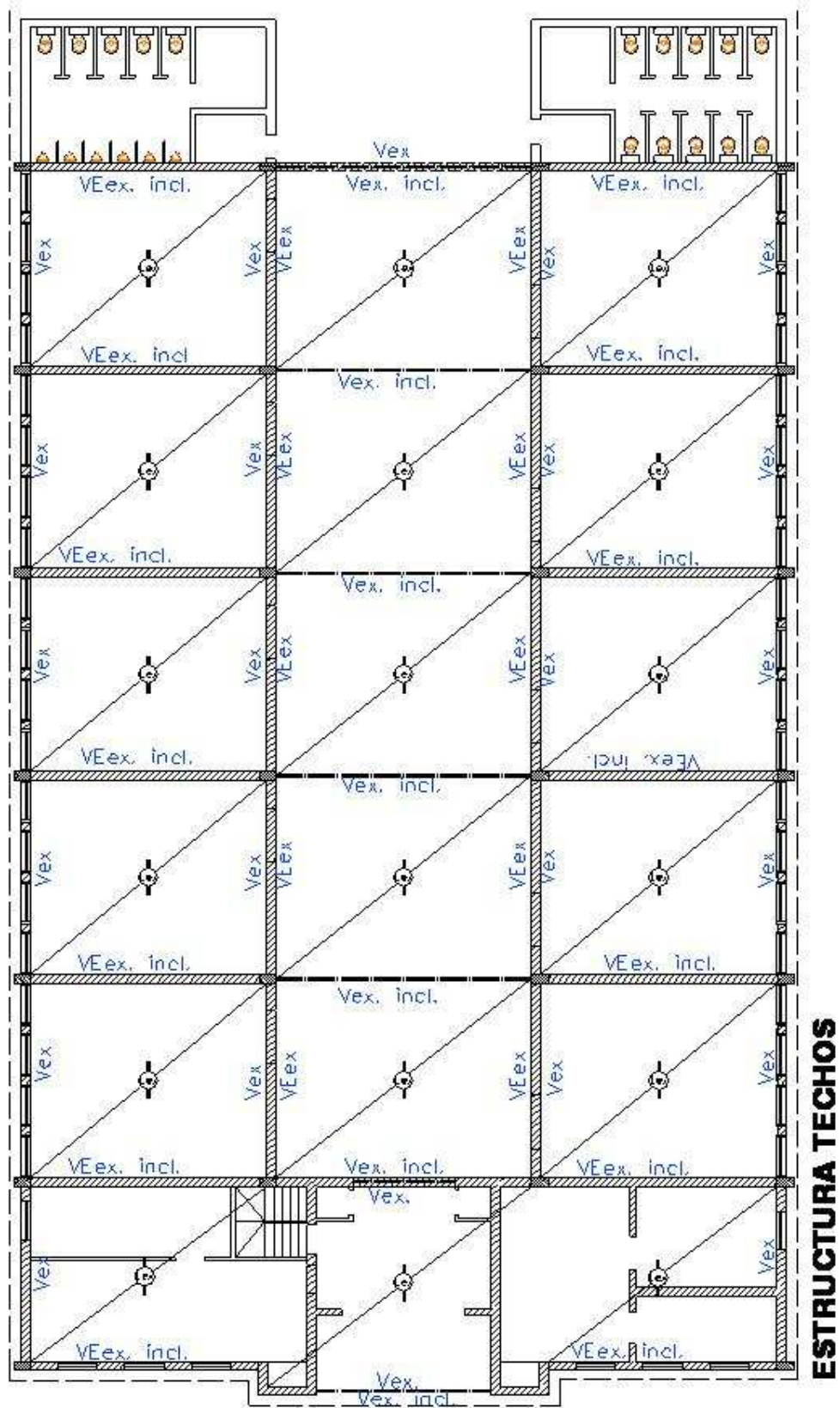


Figura 2: Planta de Techos

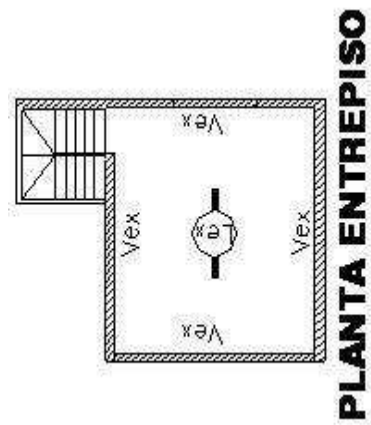


Figura 3: Planta de Entrepiso

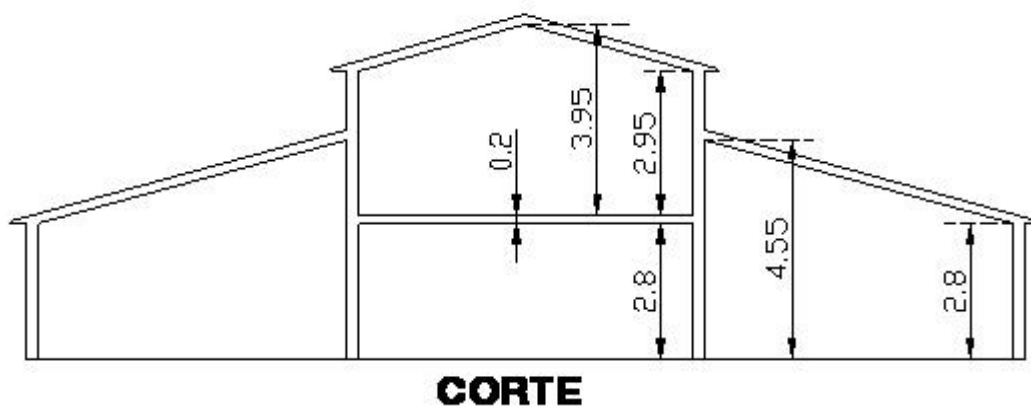


Figura 4: Corte Esquemático del Edificio

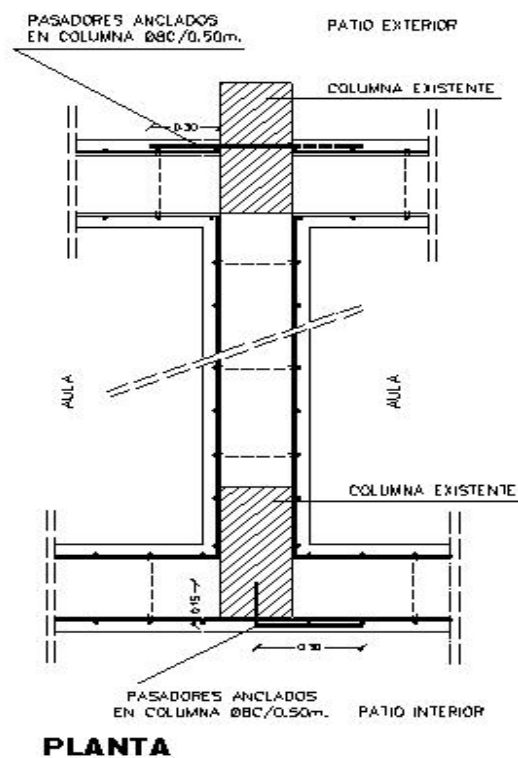


Figura 5: Detalle en Planta del Refuerzo

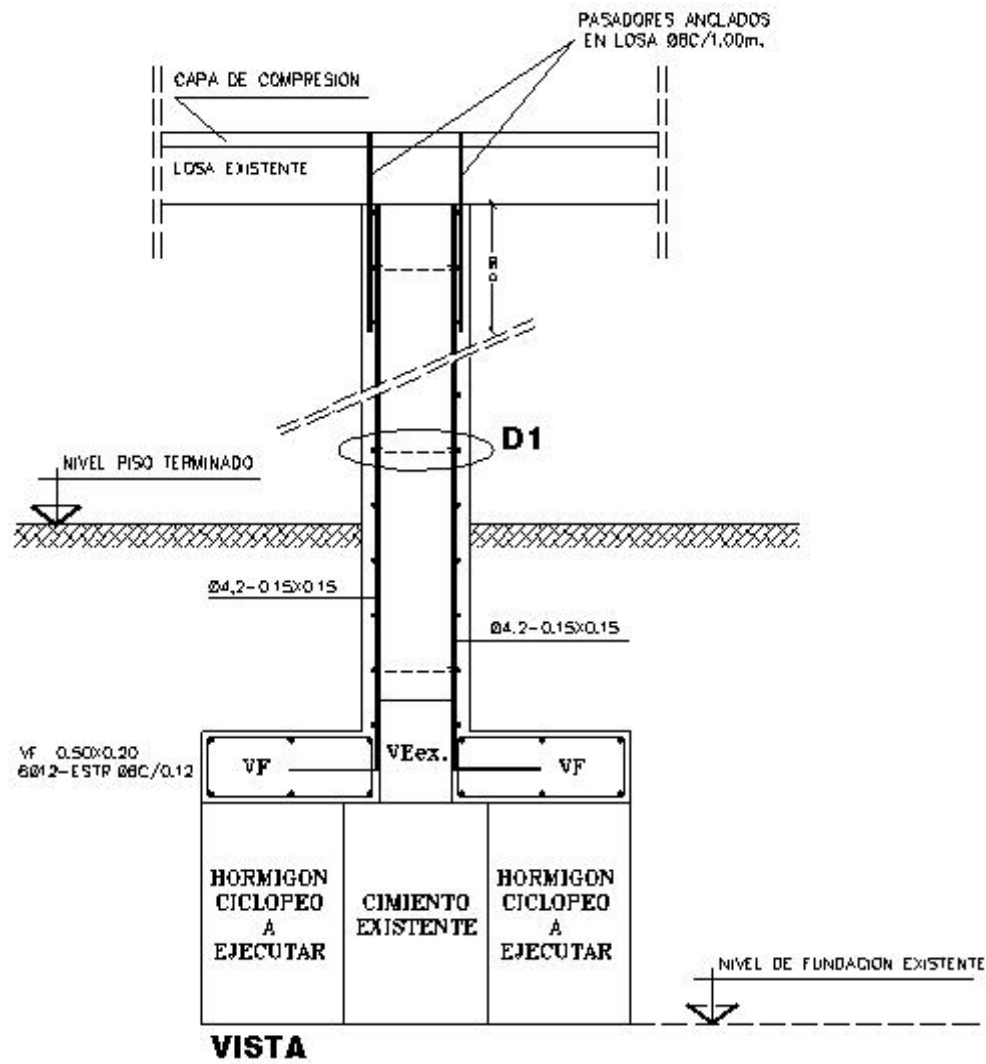


Figura 6: Detalle en Vista del Refuerzo

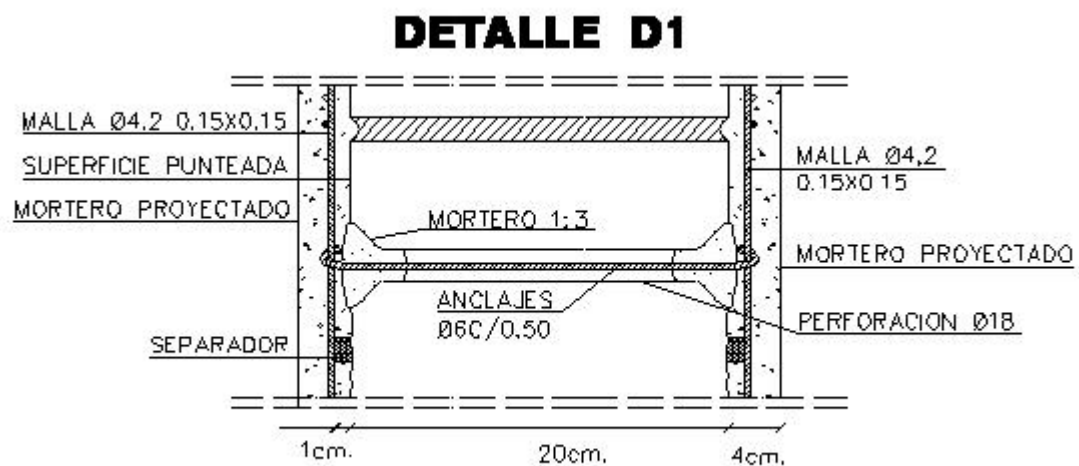


Figura 7: Detalle D1 del Refuerzo

- **MÉTODO APROXIMADO**

De acuerdo a las investigaciones realizadas por Decanini y Ochat ¹, basándose en ensayos de muretes efectuados en EE. UU., Italia, Yugoslavia y Chile, ejecutaron ensayos de muros a escala natural, sin refuerzo y luego de la rotura, con el refuerzo.

En éstas investigaciones se llegó a determinar que la relación entre la Tensión de Corte Máxima del Refuerzo (T_c) y la Resistencia a Compresión del Mortero Proyectado (f'_c) está dada, para cargas cíclicas, por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} T_c &= 2,12 \cdot (f'_c)^{1/2} \text{ [k/cm}^2\text{]} - (f'_c \text{ en k/cm}^2\text{)} \\ T_c &= 21,2 (f'_c)^{1/2} \text{ [KN/m}^2\text{]} - (f'_c \text{ en KN/m}^2\text{)} \end{aligned} \quad (1)$$

En esta primera parte del trabajo, se analizó la estructura reforzada, obteniéndose los esfuerzos de origen sísmicos aplicando el Método Estático del Reglamento Inpres-Cirsoc 103 ², comparándolos con la Tensión de Corte Máxima del Refuerzo según la expresión **(1)**. También se verificó la armadura de la malla, para que absorba la totalidad del esfuerzo de corte.

Para este análisis se obtuvo:

Peso Total de la Construcción: 6200 KN

Período en la Dirección x: 0,10 s

Período en la Dirección y: 0,11 s

Para Zona Sísmica 3 y Suelo Tipo III, la Pseudoaceleración es: $S_a=0,3875$

Coeficiente de Reducción $R=1,55$

Por lo tanto el Coeficiente Sísmico C, vale:

$$C = 0,3875 \cdot 1,3 / 1,55 = 0,325$$

El Esfuerzo de Corte Basal V_o , vale:

$$V_o = 0,325 \cdot 6200 \text{ KN} = 2020 \text{ KN}$$

A este Esfuerzo de Corte Basal lo distribuimos en los muros, tanto en la dirección x como en la dirección y, teniendo en cuenta la torsión, obtenemos:

Para los paños de muros en la dirección x (con una longitud de 5,5m)

$$V_{kx} = 200 \text{ KN}$$

Para los paños de muros en la dirección y (con una longitud de 7,0m)

$$V_{ky} = 220 \text{ KN}$$

Si despreciamos la colaboración de la mampostería por su estado de agrietamiento (situación más desfavorable) y consideramos solo las dos capas de mortero proyectado, la tensión de corte solicitante sería:

En la dirección x: 650 KN/m²

En la dirección y: 560 KN/m²

Si adoptamos para el mortero proyectado una resistencia a compresión de 8000 KN/m², aplicando la expresión **(1)**, tenemos que la Tensión de Corte Máxima del refuerzo vale:

$$T_c = 1896 \text{ KN/m}^2$$

Con lo cual se puede observar que tanto en la dirección x como en la dirección y, los Esfuerzos Solicitantes son menores a los Esfuerzos Máximos Resistentes.

Para que la estructura tenga una adecuada ductilidad, la armadura horizontal del refuerzo la dimensionaremos para que resista el total del Corte Solicitante. Como colocamos una armadura mínima (una malla de Ø 4,2 0,15x0,15 en cada capa de refuerzo), calcularemos el Corte Resistente de la misma:

$$V_{rx} = 2 \cdot 6 \cdot 1,4 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{m} \cdot 5,5 \text{ m} \cdot 420000 \text{ KN/m}^2 = 388 \text{ KN}$$

$$V_{ry} = 2 \cdot 6 \cdot 1,4 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{m} \cdot 7,0 \text{ m} \cdot 420000 \text{ KN/m}^2 = 494 \text{ KN}$$

Valores que son superiores a los solicitantes (200 KN y 220 KN respectivamente), por lo tanto la armadura colocada verifica para los esfuerzos actuantes.

VERIFICACIÓN DE CARGAS PERPENDICULARES AL PLANO DEL MURO:

De acuerdo al Reglamento Inpres-Cirsoc 103 ², el valor de la carga q_s perpendicular al plano del muro por efecto de la acción sísmica, vale:

$$q_s = 3,5 \cdot C \cdot q_u = 3,5 \cdot 0,325 \cdot 5,320 \text{ KN/m}^2 = 6,05 \text{ KN/m}^2$$

Con esta carga se verifica el muro como una placa de hormigón armado apoyada en los cuatro bordes. Tomando el muro más desfavorable, la malla colocada en cada cara del refuerzo verifica los esfuerzos solicitantes.

• MODELANDO EL SISTEMA CON EL PROGRAMA SAP2000

Se modeló con el Programa SAP2000 toda la estructura existente y los muros con el Refuerzo elegido.

Las propiedades elásticas de los muros reforzados se estimaron considerando la Teoría de Mezcla Clásica para el Módulo de Elasticidad Longitudinal E y para determinar el Coeficiente de Poisson (comportamiento en paralelo). Para la obtención del Módulo de Elasticidad Transversal G, se consideró un comportamiento en serie. ^{3,4}

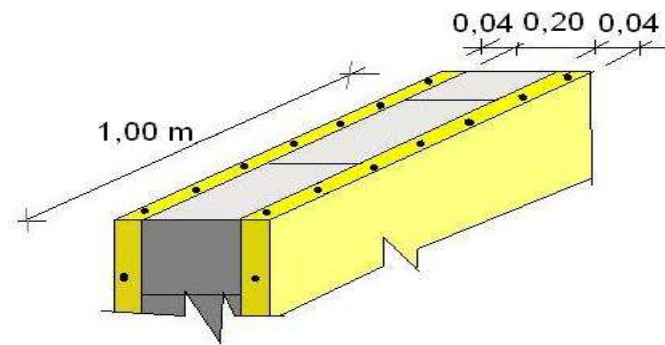


Figura 8: Muro Compuesto

Para Cada Lámina de Hormigón Armado

Datos

Modulo de Elasticidad del Acero

$$E_a = 210.000.000 \text{ KN/m}^2$$

Modulo de Elasticidad del Hormigón

$$E_{h^\circ} = 27.500.000 \text{ KN/m}^2$$

Coeficiente de Poisson del Acero

$$\mu_a = 0,3$$

Coeficiente de Poisson del Hormigón

$$\mu_{h^\circ} = 0,2$$

Módulo de Elasticidad del Hormigón Armado

$$E_{h^a} = V_a E_a + V_{h^\circ} E_{h^\circ}$$

Dado que el refuerzo del Hormigón es una malla bi-direccional se ha considerado en ambas direcciones ortogonales el mismo Módulo de Elasticidad: $E_{1h^\circ} = E_{2h^\circ}$

Siendo

V^a = proporción de acero en la dirección 1

V_{h° = proporción del hormigón (matriz)

A_a = área de la sección de acero

A_{h° = área de la sección de hormigón

A_t = área total

$$V_a = A_a / A_t = 0,000096 / 0,04 = 0,0024$$

$$V_{h^\circ} = A_{h^\circ} / A_t = (A_t - A_a) / A_t = 0,9976$$

$$E_{h^{\circ}a^{\circ}} = 27.938.000 \text{ KN/m}^2$$

Coeficiente de Poisson del hormigón armado

$$\mu_{h^{\circ}a^{\circ}} = \mu_{h^{\circ}} + \mu_a \cdot G_a = 0,20024$$

Módulo de Elasticidad Transversal del Hormigón Armado

$$G_{h^{\circ}a^{\circ}} = G_{h^{\circ}} \cdot G_a / (V_{h^{\circ}} \cdot G_a + V_a \cdot G_{h^{\circ}})$$

Módulo de Elasticidad Transversal materiales homogéneos: $G = E / [2(1+\mu)]$

Módulo de corte para el acero: $G_a = 80.769.200 \text{ KN/m}^2$

Módulo de corte para el hormigón: $G_{h^{\circ}} = 11.458.300 \text{ KN/m}^2$

Módulo de corte para el hormigón armado: $G_{h^{\circ}a^{\circ}} = 11.482.000 \text{ KN/m}^2$

Para el muro reforzado

$V_{h^{\circ}a^{\circ}}$ = proporción de la sección de hormigón armado

V_{mamp} = proporción de la mampostería de bloques de hormigón

$A_{h^{\circ}a^{\circ}}$ = área de la sección de hormigón armado

A_{mamp} = área de la sección de mampostería de bloques de hormigón

A_t = área total del refuerzo

$$V_{h^{\circ}a^{\circ}} = A_{h^{\circ}a^{\circ}} / A_t = 0,08 / 0,28 = 0,28$$

$$V_{mamp} = A_{mamp} / A_t = 0,2 / 0,28 = 0,71$$

Módulo de Elasticidad longitudinal del muro reforzado

$$E_{MR} = E_{h^{\circ}a^{\circ}} \cdot V_{h^{\circ}a^{\circ}} + E_{mampdañada} \cdot V_{mamp}$$

Para la determinación del Módulo de elasticidad longitudinal de la mampostería nueva de bloques de hormigón E_{mamp} se consideró:

Bloques huecos de hormigón tipo III y mortero de resistencia normal (Inpres-Cirsoc103 parte III ²).

Se obtuvo el valor de resistencia básica a la compresión de la mampostería $\sigma'_{m0} = 1200 \text{ KN/m}^2$

$$E_{mamp} = 300 \sigma'_{m0}$$

$$E_{mampdañada} = E_{mamp} / F = 120.000 \text{ KN/m}^2$$

F: Factor de reducción para considerar el daño que presenta la mampostería existente. Para este caso se adopta $F = 3$.

$$E_{MR} = 8.067.900 \text{ KN/m}^2$$

$$\mu_{mampdañada} = 0,2$$

Coeficiente de Poisson del muro reforzado

$$\mu_{MR} = \mu_{h^{\circ}} \cdot V_{h^{\circ}} + \mu_{mamp} \cdot V_{mamp}$$

$$\mu_{MR} = 0,2$$

Módulo de Elasticidad Transversal del muro reforzado

$$G_{MR} = G_{h^{\circ}} \cdot G_{mampdañada} / (V_{h^{\circ}} \cdot G_{mampdañada} + V_{mamp} \cdot G_{h^{\circ}})$$

$$G_m = 0,3 E_m$$

$$G_{mampdañada} = 36.000 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{MR} = 50.300 \text{ KN/m}^2$$

Se utilizó el Análisis Modal Espectral, con el Espectro del Reglamento Inpres-Cirsoc 103 ² para zona sísmica 3 y suelo tipo III y se ejecutaron las distintas combinaciones de cargas que indica dicho reglamento.

Con las tensiones obtenidas en los muros con el Programa SAP, se estudiaron las armaduras y espesores de hormigón utilizados en el refuerzo, como así mismo las armaduras y secciones de los elementos existentes (vigas y columnas), las cuales verifican ampliamente.

SALIDA DEL PROGRAMA SAP2000

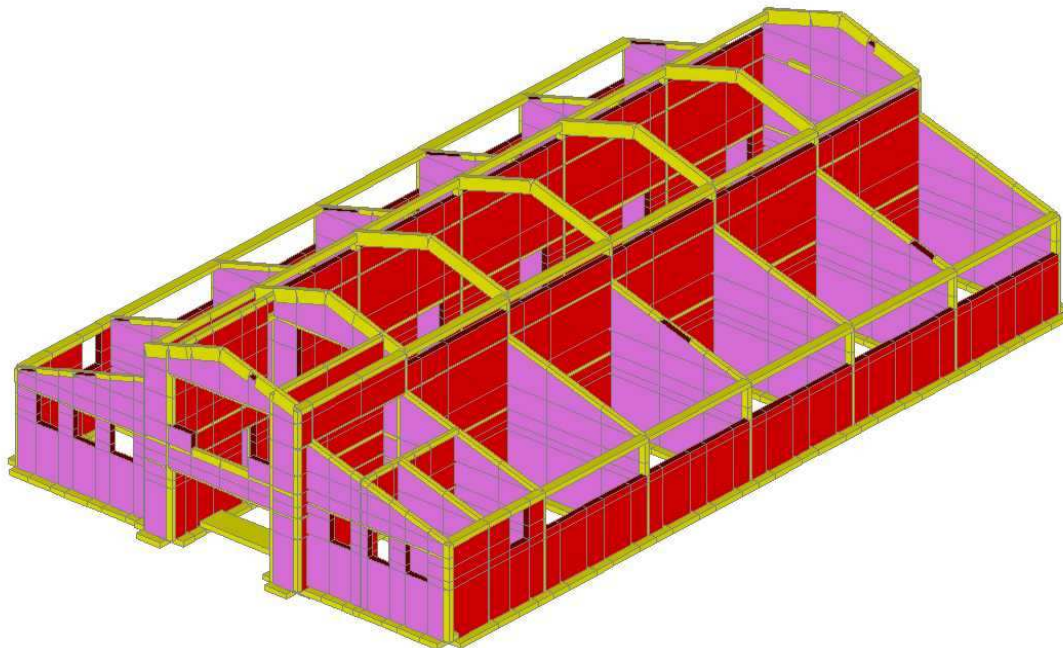


Figura 9: Perspectiva de la estructura

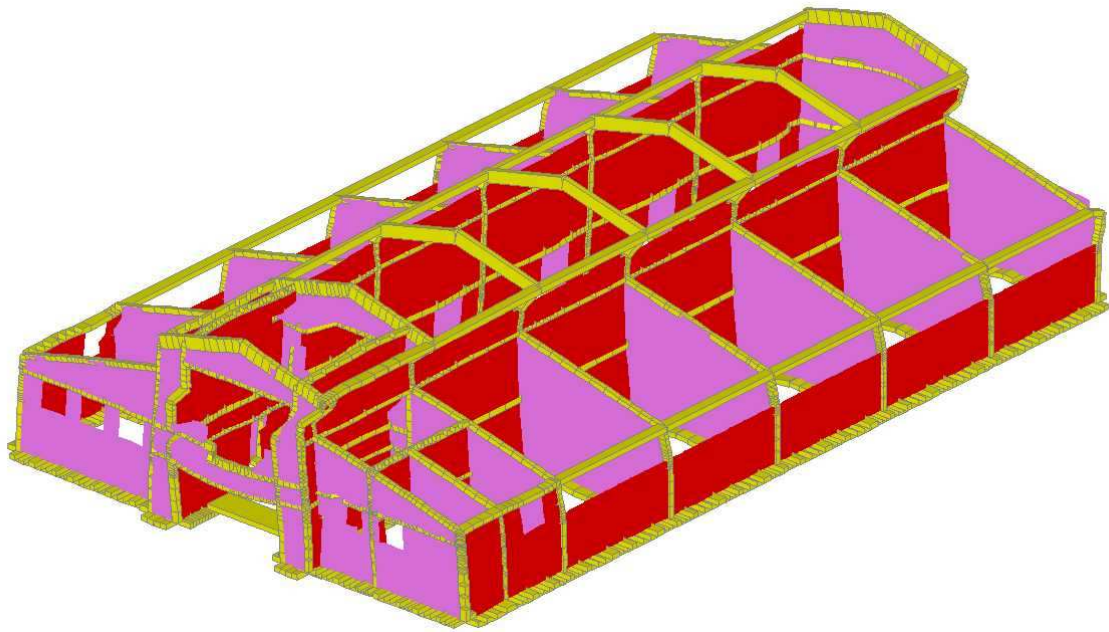


Figura 10: Deformaciones Estado 1,3 $E_w + E_{sx}$

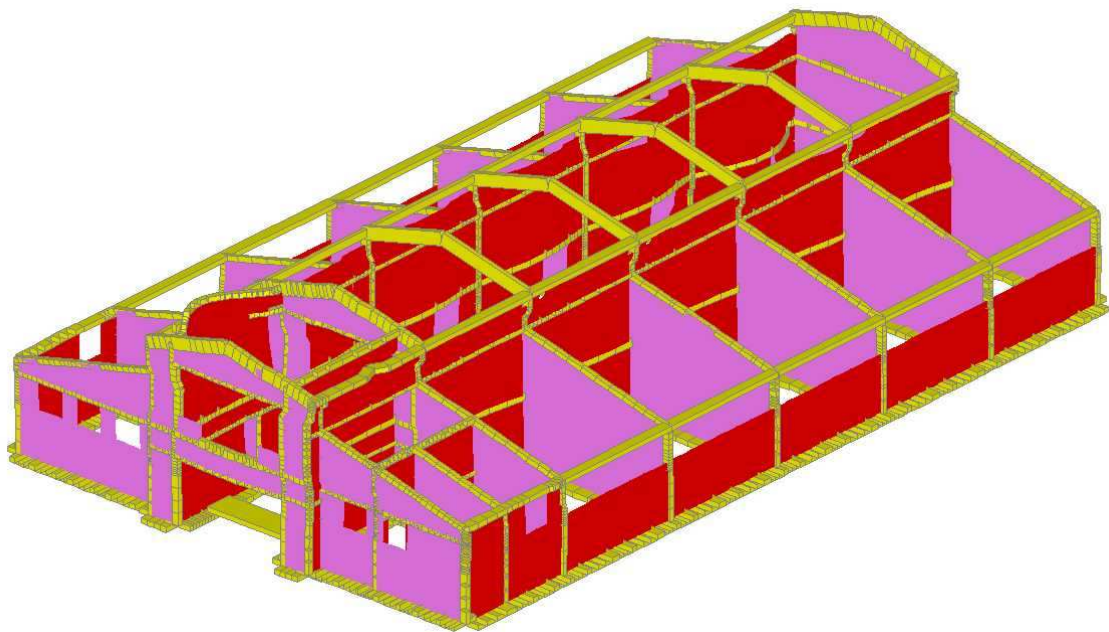


Figura 11: Deformaciones Estado 1,3 $E_w + E_{sy}$

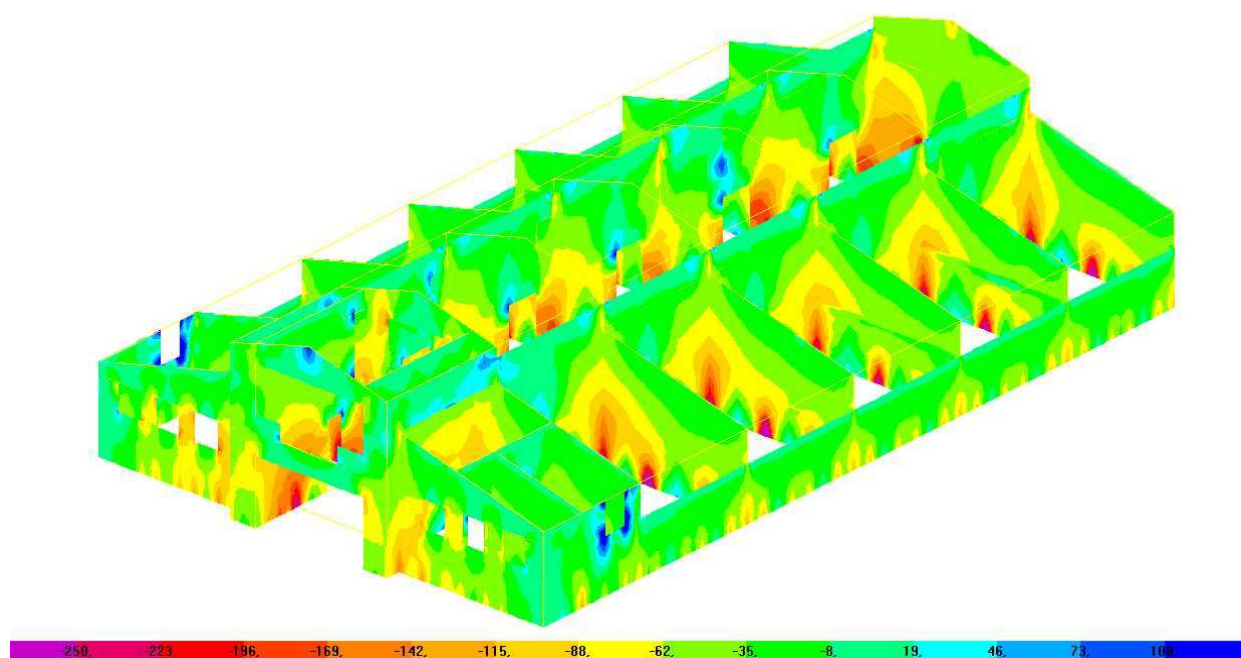


Figura 12: Tensiones F22 Estado 1,3Ew + Esx

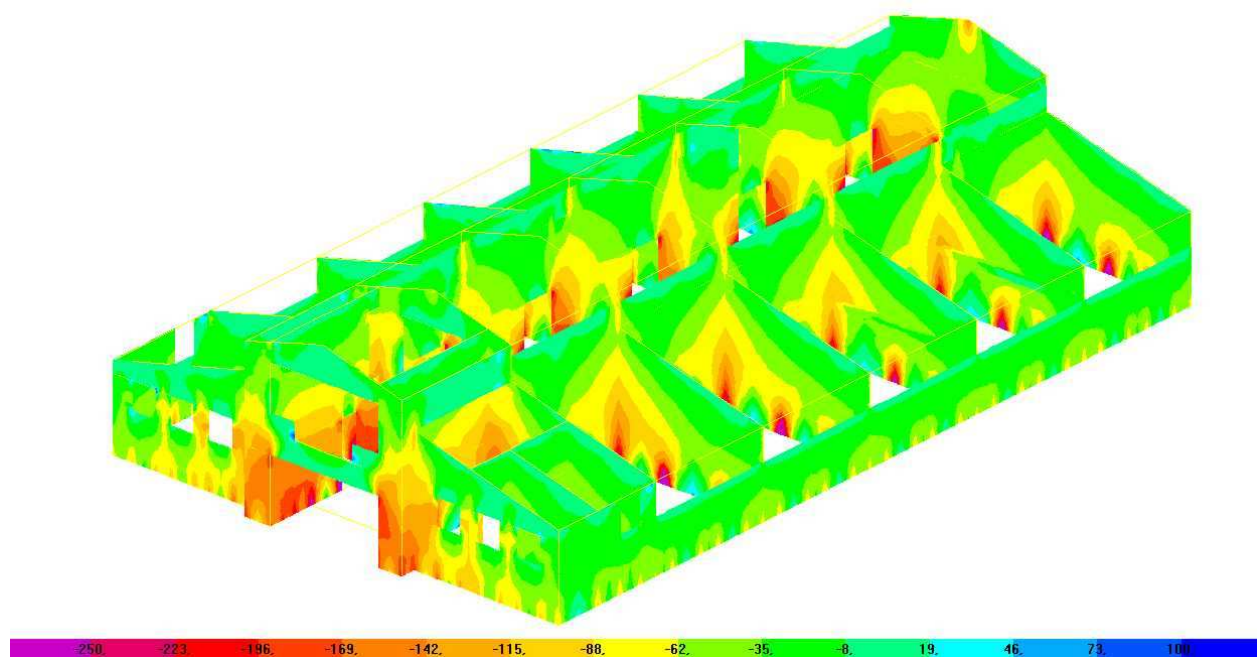


Figura 13: Tensiones F22 Estado 1,3Ew + E sy

FOTOGRAFIAS DE LA OBRA
(Antes, durante y después de los trabajos)



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6



Foto 7

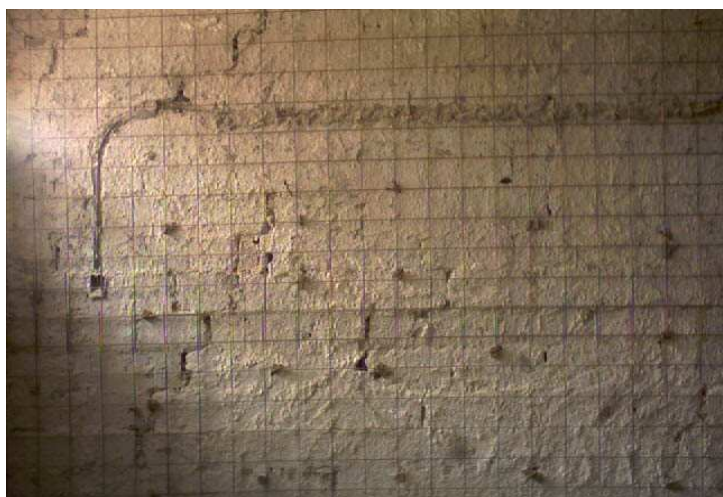


Foto 8



Foto 9



Foto 10



Foto 11



Foto 12

CONCLUSIONES:

Como conclusión principal, podemos decir que en los casos de construcciones regulares, tanto en planta como en elevación, son aplicables las formulaciones planteadas en el **Método Aproximado**¹, con las verificaciones expresadas en el mismo. Esto nos permite utilizar la técnica del Refuerzo con Malla de Acero y Mortero Proyectado en una forma sencilla y rápida, sabiendo que sus resultados son altamente confiables y el funcionamiento sismorresistente del conjunto tiene una buena performance.

RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS:

El Proceso constructivo del Mortero Proyectado obliga a tener juntas constructivas (ya sea verticales u horizontales, dependiendo de las superficies a proyectar) y para no tener fisuras es recomendable usar en estas juntas puente de adherencia. Para evitar pequeñas fisuras en el resto del refuerzo, también es recomendable agregarle fibras al mortero, sobre todo teniendo en cuenta que la terminación de este mortero debe ser tal que se aplique sobre el mismo una pintura elástica (no es necesario el revoque).

AGRADECIMIENTOS:

Agradecemos la valiosa colaboración prestada para llevar adelante este trabajo, a la Dra. Liz Nallim, Mg. Mario Toledo y a los alumnos Ximena Milia e Ivan Vargas.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:

1. Decanini Luis, Ochat Ernesto – “Refuerzos de Paneles Dañados de Mampostería mediante Capas de Mortero y Armaduras en Mallas – Resultados Experimentales y Criterios para el Proyecto” – Departamento de Estructuras – Universidad Nacional de Córdoba - Argentina.
2. Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) - “Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes – Parte I, Parte II y Parte III” – Reglamentos INPRES-CIRSOC 103 – Argentina.
3. Jones R. M. – “Mechanics of Composite Materials” – Taylor and Francis - U.S.A.
4. Vinson J. R. and Sierakowski R. L. – “The Behavior of Structures Composed of Composite Materials” – Kluwer Academic Publishers - London.
5. Rizza Roberto – “Aspectos Estructurales de la Restauración y la Conservación” – Università La Sapienza di Roma – Facoltà di Architettura Valle Giulia – Dipartimento d’Ingegneria Strutturale – Italia.
6. Gavarini Carlo et al – “Costruzioni e Terremoto” – E.S.A. – Roma – Italia.
7. Rosenblueth Emilio et al – “Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos” – Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C. – México.