

CASA VAZCO

Juan Ramón Velárdez

Ingeniero Civil. Desde Mayo de 2008 calculista de los Proyectos PROAS en la Secretaría del Agua. Junio de 2006 a Mayo de 2008, Ing. de ITY Construcciones SA. Jefe de Micromedición y ANC en Aguas de La Rioja SA. Diversos cálculos estructurales y proyectos de ingeniería. Jefe de Trabajos Prácticos de la materia Elasticidad y Plasticidad, 4to año UTN La Rioja 2004-2006.

Gonzalo Bustos

Arquitecto. Desde Junio de 2008, Jefe de Obras de ITY Construcciones SA. Proyectista particular. Diversos proyectos en forma privada, enfocados en lo morfológico.

RESUMEN

En este proyecto de vivienda unifamiliar, único para la zona dada su morfología, se plantearon situaciones que fueron de características especiales, tanto en el cálculo estructural, como en la construcción de la vivienda.

Los principales desafíos de la propuesta arquitectónica fueron el techo en doble curvatura, los dos arcos de altura variable de más de 20 metros de longitud, que sostienen el vuelo lateral de la losa, así como la estructura cilíndrica de 7 metros de alto, que refuerza el concepto morfológico del proyecto.

Dada esta propuesta arquitectónica, se buscaron las soluciones ingenieriles en cuanto a los cálculos y verificaciones utilizadas, como así también en las técnicas desarrolladas para la construcción.

En esta situación, se siguieron dos líneas para la resolución estructural. Por un lado, se estudiaron configuraciones geométricas que logren hacer de la respuesta estructural, lo necesario para absorber las demandas sísmicas de la zona de la Provincia de La Rioja.

Del análisis dinámico surgió la otra metodología utilizada: Reforzar zonas puntuales de la estructura. Dichos refuerzos, y las configuraciones utilizadas, permitieron dar solución a la propuesta arquitectónica, llegando a una estructura que no afecta la belleza original del proyecto, sino que incluso la refuerza.

Summary

In this Project of familiar residence, unique for this area because of the morphology, special situation were planted in the structural calculation and in the build it self.

The main arquitectonics challenges of the project were the double curve roof, the two variable hight and over 20 metters long arcs that hold the side fly of the slab, and the 9 metters hight cylindric structure that accentuate the morphology concept of the project.

Because of this particular architectonics proposal, engieneery solutions will be find for the calculations and verifications, as also for the construction techniques.

In this situation, two lines of work were followed for the structural solutions. In one side, there were studied the geometric configuration than can make the structural answer adequate for the seismic demands of La Rioja area.

From the dynamics analysis, it came the second methodology used: To reinforce specific areas of the structure. This reinforcement and the previously used configurations allowed to give a solutions for this architectonical proposal, giving as a result a structure that do not affect the original beauty of the project but in fact increase it.

INTRODUCCION

En el presente trabajo se desarrollan los puntos de principal interés ingenieriles del proyecto de la vivienda unifamiliar construida. Para un ordenamiento del trabajo, en primer lugar, se presentaran las ideas generales, para luego exponer los análisis realizados y las soluciones adoptadas.

SISTEMA Y MATERIALES UTILIZADOS

El proyecto se desarrolló para ser construido en un sistema liviano compuesto por paneles de poliestireno expandido (telgopor) reforzado en sus caras con mallas de acero de alta resistencia. El mismo, de origen comercial, tiene como característica sobresaliente su peso final, alrededor de 120 kg/m, lo que hizo posible llevar al límite el diseño en cuanto a su forma y utilización de voladizos.

El sistema resistente lo disponen dos capas de concreto que son gunitadas sobre ambas caras del panel. Este sistema armado, ofrece una relación resistencia – peso muy elevada, posibilitando los usos aquí realizados.

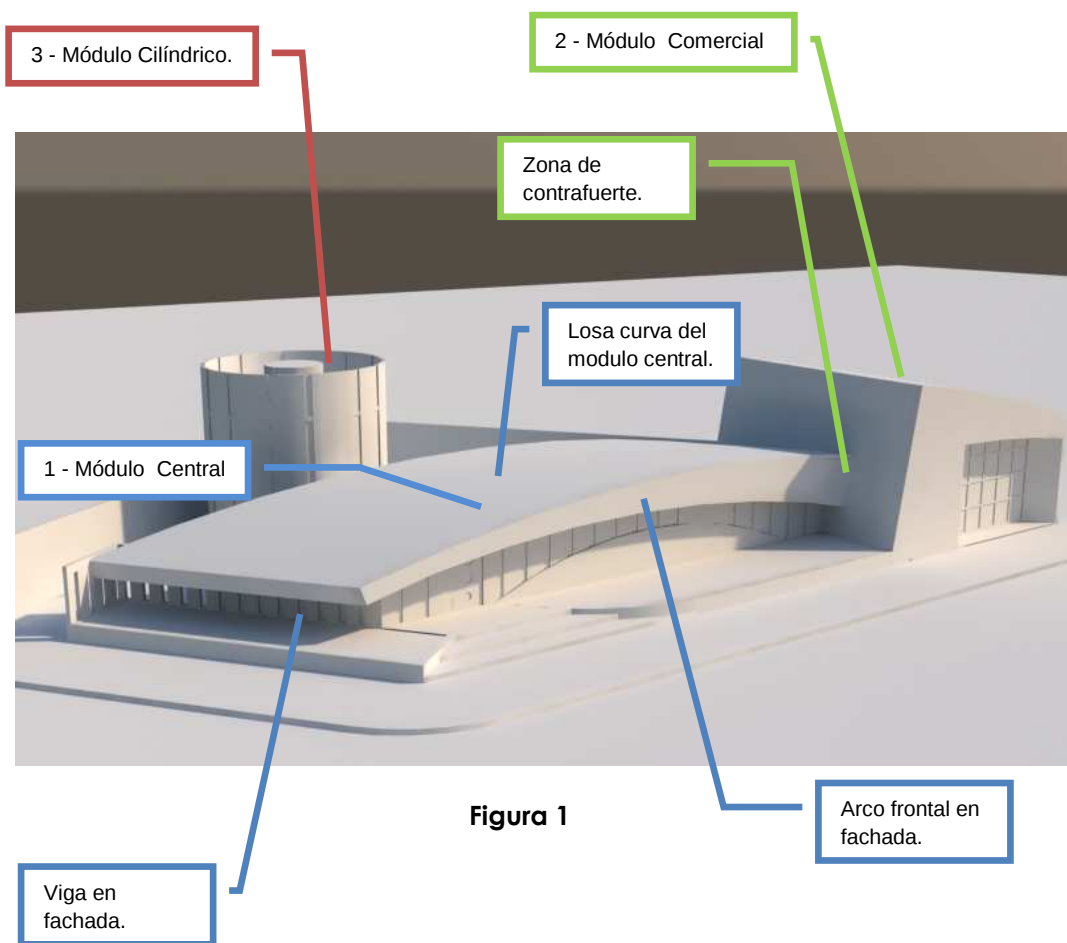
CONCEPTO DE DISEÑO INGENIERIL

Dadas las premisas arquitectónicas se procedió a evaluar la estructura en forma general, para luego dar soluciones particulares, respetando las ideas morfológicas arquitectónicas originales en su totalidad.

DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

El conjunto puede dividirse en tres módulos principales (Figura 1):

- 1) Módulo central: se desarrollan los ambientes principales, abordando los siguientes problemas ingenieriles:
 - a. Arco posterior en galería interna.
 - b. Arco frontal en galería de fachada.
 - c. Losa de doble curvatura.
- 2) Módulo cilindro: se desarrollan los ambientes secundarios de la vivienda (dormitorios secundarios en PA y biblioteca en PB). Los temas planteados son los siguientes:
 - a. Configuración estructural general.
 - b. Núcleo central con escalera.
 - c. Vigas circulares.
- 3) Módulo comercial: En el mismo se desarrolla un local comercial en PB y un departamento de tres ambientes en planta alta.



MODULO CENTRAL

Arco frontal en fachada

Este elemento estructural surge de una premisa morfológica arquitectónica.

La longitud total del mismo es de 21 metros, teniendo una altura en su nacimiento de 1,5 m, para rematar con una altura de 0,40 m. El borde superior del arco tiene un radio de 61 m, mientras que el inferior tiene un radio de 54 m (Figura 2).

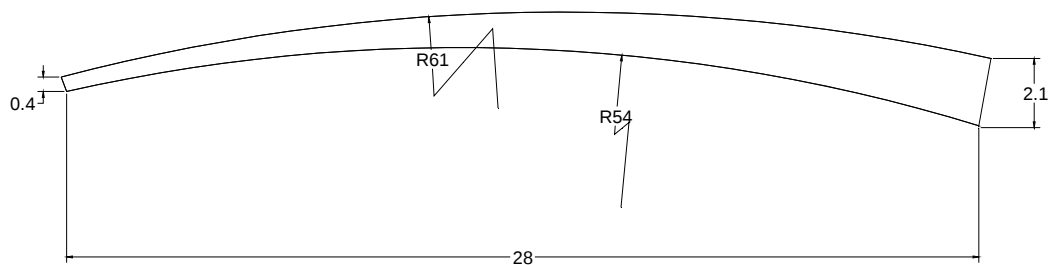


Figura 2

La configuración estructural definida es la siguiente:

- El arco nace en un muro, por lo que en el análisis este punto se consideró como un vínculo empotrado.
- El arco termina en una viga; no se considera un empotramiento a los efectos del cálculo, sino que se dimensiona dicha viga para soportar la carga del arco.
 - o En base a la imposibilidad constructiva de lograr un vínculo que soporte un posible empuje del arco, se considero al mismo como una viga de cinco tramos, en donde los apoyos intermedios son ménsulas que nacen de la estructura del módulo, y sostienen el arco en sus extremos.
- El apoyo anterior al empotramiento en pared, fue reforzado con una diagonal por lo que no se considera móvil (Figura 3).

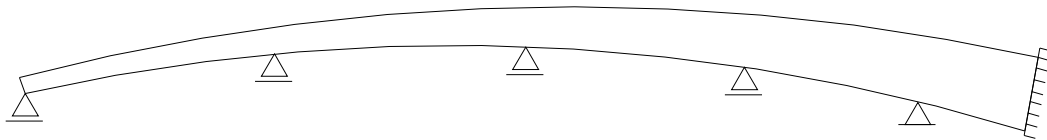


Figura 3

La estructura se analiza como una viga continua de 5 tramos sostenida por apoyos intermedios, materializados con ménsulas de 1 metro que nacen en la estructura del módulo.

Estados de carga

Peso propio de la viga: 120 kg/m (Figuras 4, 5 y 6)

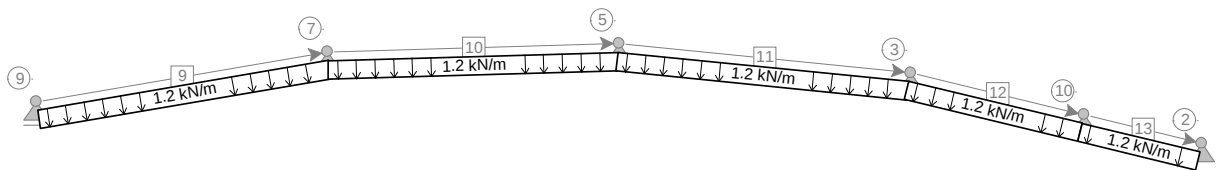


Figura 4

Reacción losa: 85 kg/m

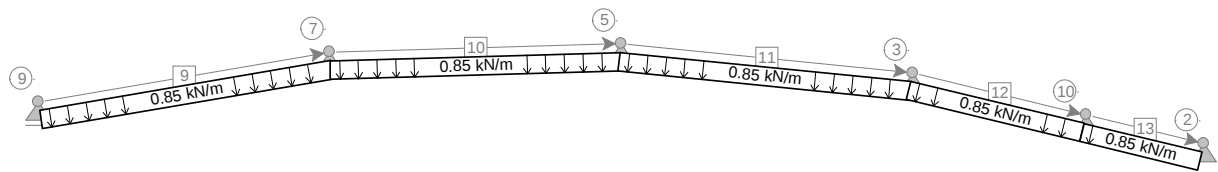


Figura 5

Sismo: 4.100 kg

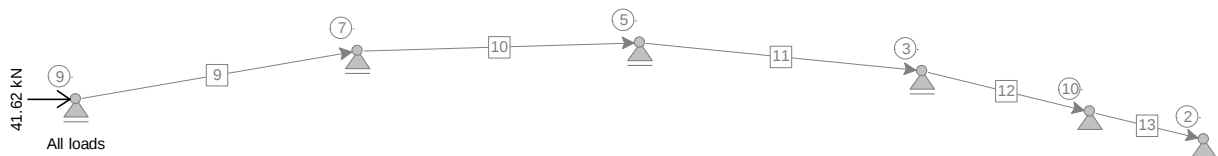


Figura 6

Esfuerzos

De las combinaciones establecidas por Norma resultaron los siguientes esfuerzos de la viga, con los que se dimensionaron los vínculos intermedios y extremos (Figura 7).

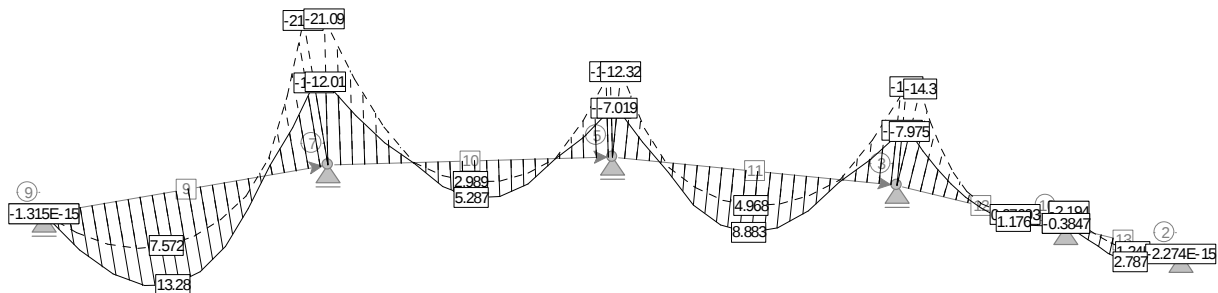


Figura 7

Resolución de apoyo extremo en viga

En continuidad al muro del módulo, nace una viga inclinada que toma la viga transversal en donde apoya el arco.

Dicha viga fue calculada como un voladizo con carga puntual, armándola en ambas caras del panel con hierros inclinados y reforzándola horizontalmente (Figura 8 y 9).

En la parte inferior del arco se reforzó con armadura longitudinal a lo largo del mismo. Si bien el concepto original descarta que esta viga se comporte como arco,

es necesario absorber los momentos flectores que aparecen en los tramos. Sumado a eso se debe tener en cuenta que la carga es la misma y la altura del arco es variable.



Figura 8



Figura 9

Ménsulas de apoyos intermedios

Para apoyar la viga-arco, se diseñaron vigas en voladizo que soportan a la viga principal (Figura 10).

Estas vigas, fueron armadas en su parte superior con estribos que anclan la viga principal al tabique del muro.



Figura 10

Estos elementos fueron diseñados para soportar el peso y reacciones de la viga-arco frontal. Cada elemento va ganando en altura a medida que el arco crece. Se considera que el tabique del muro colabora en un ancho de 100 cm a los efectos.

Cargas (Figuras 11 y 12)

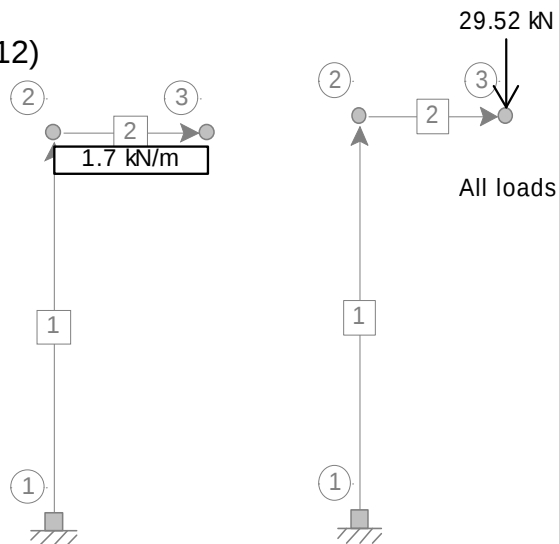


Figura 11

Sección 1: 100 cm x 6 cm

Sección 2: 50 cm x 6 cm

PP incluido losa: 170 km/m

Reacción viga-arco más desfavorable: 2.952 kg

Esfuerzos

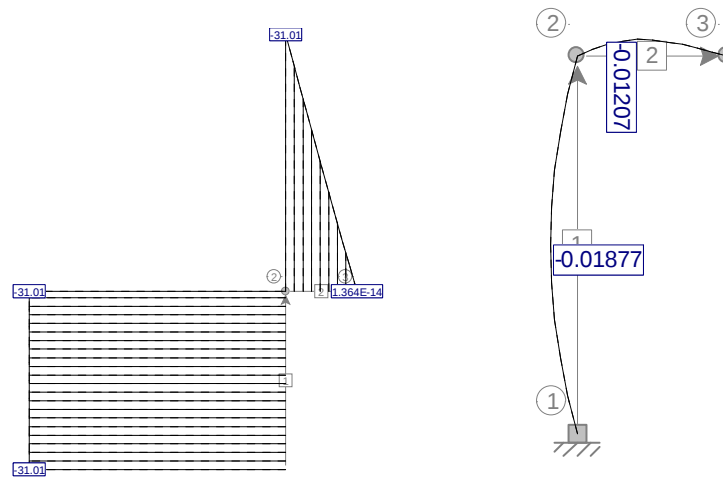


Figura 12

En vista de estos esfuerzos se dimensiono la estructura, adoptando una armadura vertical que recorre la parte interna del tabique hasta la parte superior de la viga, bajando y cerrando la ménsula, tomando con estribos pasantes de punta a punta de la misma (Figura 13).

Este criterio se adopto a los efectos de minimizar las deformaciones locales que podría sufrir el tabique dada su esbeltez.

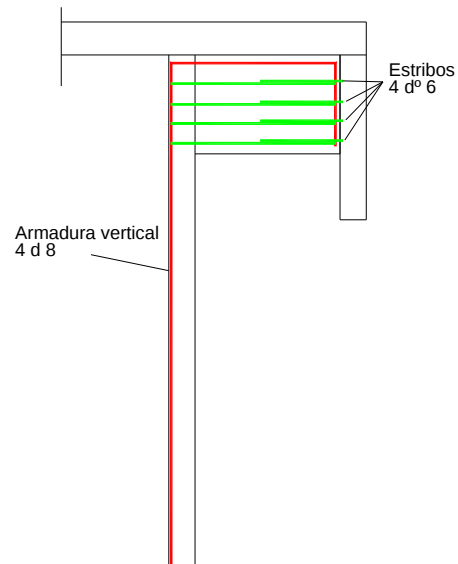


Figura 13

Apoyo final del arco

Dado que el arco apoya directamente sobre el muro inclinado del módulo comercial (Figura 14), éste se reforzó con un contrafuerte desde el interior de dicho módulo.

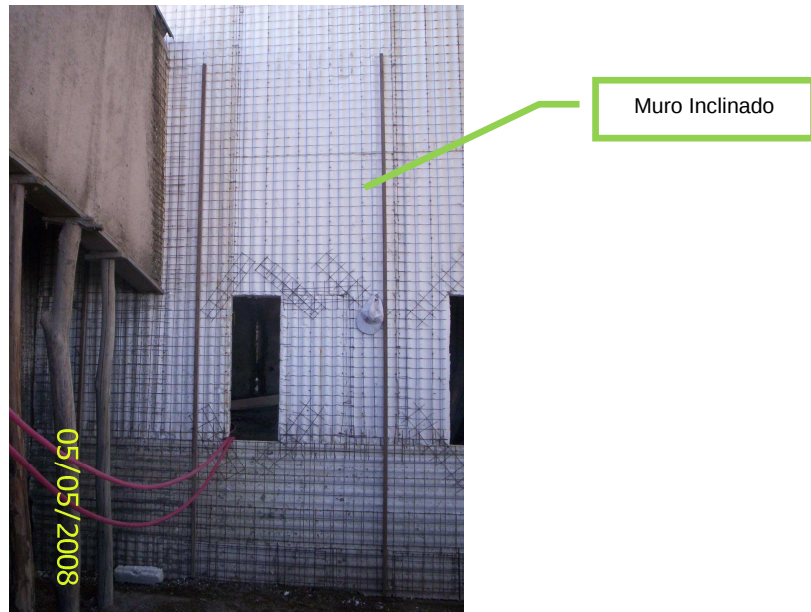


Figura 14

Dicho contrafuerte deberá absorber el empuje que ejercerá el arco en un movimiento sísmico, por lo que la sección del mismo fue dimensionada con criterios de ductilidad para posibilitar la disipación de energía ante un acontecimiento de esta naturaleza (Figura 15).

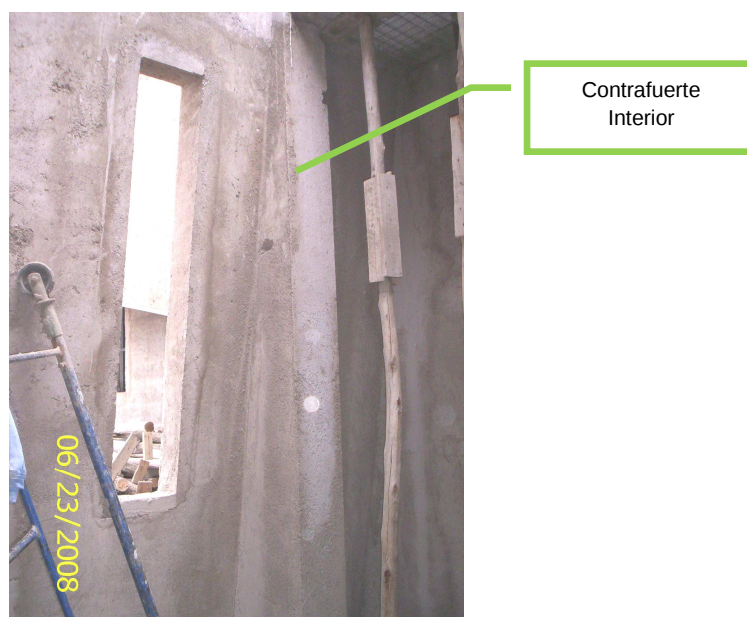


Figura 15

Para dimensionar este elemento se suponen dos estados de carga, uno con su carga muerta constante, y otro bajo la acción del sismo, considerando para el armado del mismo la acción más desfavorable. Se supone una carga distribuida en toda la altura de apoyo del arco (Figura 16).

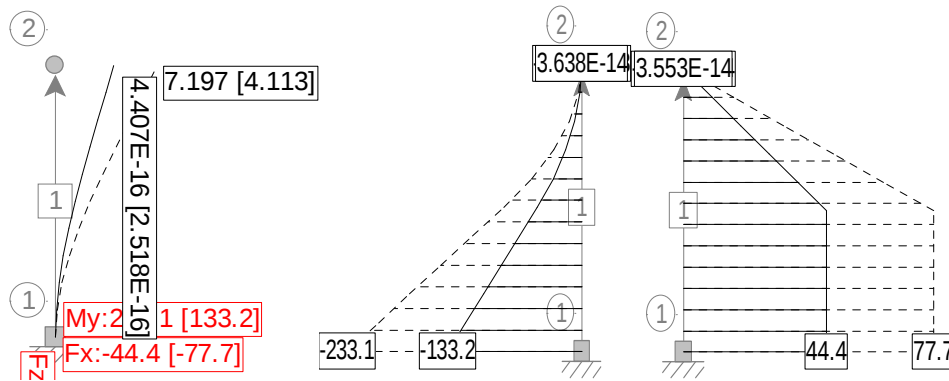


Figura 16

Para cumplir con los esfuerzos obtenidos, se armó una columna compuesta de dos paneles reforzada con tres líneas de armadura vertical (Figura 17), densificando los estribos en toda la altura necesaria establecida por el análisis.

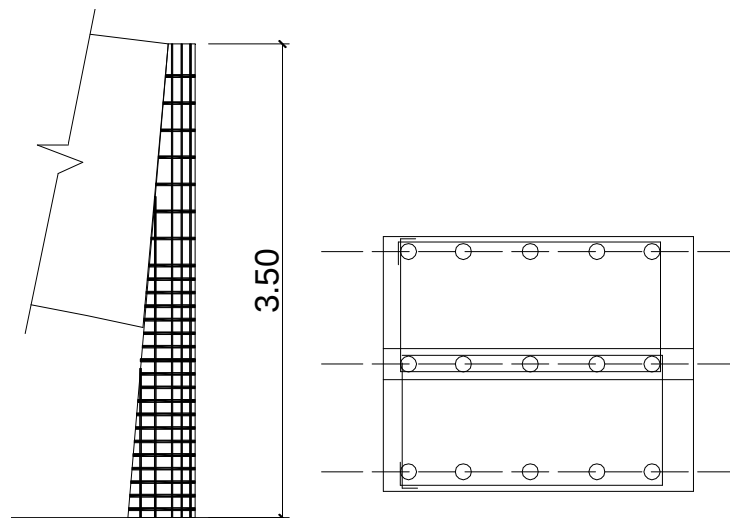


Figura 17

Arco posterior en galería

Este elemento estructural surge de una premisa morfológica arquitectónica que, a diferencia del arco de la fachada, se usa estructuralmente soportando la carga de la losa de la galería.

El arco tiene una longitud total de 21 metros, teniendo una altura en su nacimiento de 1,3 m, para rematar con una altura de 0,40 m. El radio del borde superior es de 59 m, mientras que el inferior es de 64 m (Figura 18).

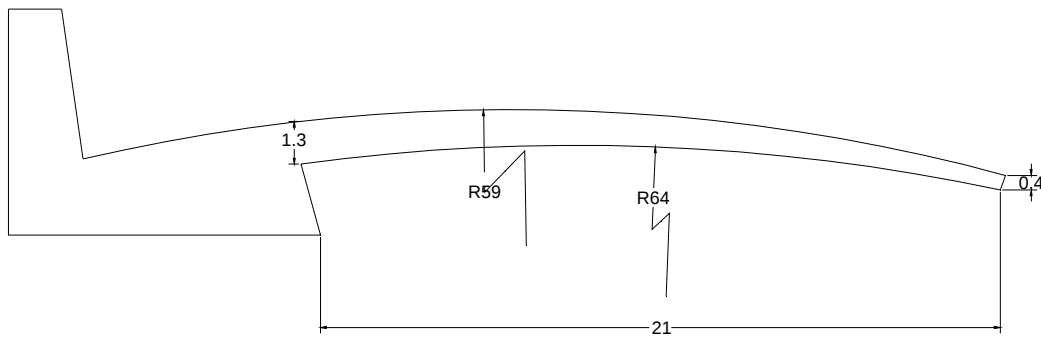


Figura 18

En este caso se dio la siguiente configuración estructural:

- El arco nace de un muro, por lo que en el análisis este punto se considero como un vínculo empotrado.
- El arco termina en una viga (Figura 19) y un muro de anclaje, por lo que en el análisis no se considera un empotramiento a los efectos del cálculo, sino que se dimensiona la viga para soportar la carga del arco, sin obviar el empuje del arco contra el muro para evaluar el pandeo lateral.



Figura 19

Función estructural. Comportamiento

Como mencionamos en el párrafo anterior, el arco soporta la losa de la galería cuya luz libre es de 2 m.

Si bien es cierto que su carga muerta es mínima para que producir una carga crítica que origine un pandeo lateral; y siendo discutible la función de empotramiento del muro en donde termina el arco, se debe tener en cuenta que en el caso de la acción de un sismo, el arco sufriría esta acción, que llegaría al límite de este análisis. Es así que se dispuso de vigas transversales, que nacen en el muro del módulo anclándose al arco, impidiendo la posible aparición de pandeo lateral que dañaría la estructura dada su esbeltez (Figura 20).

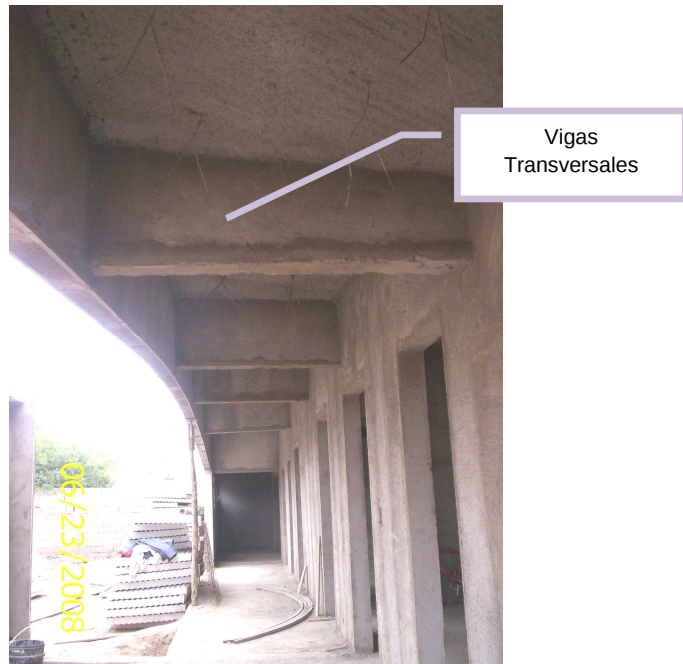


Figura 20

Estado de cargas (Figura 21)

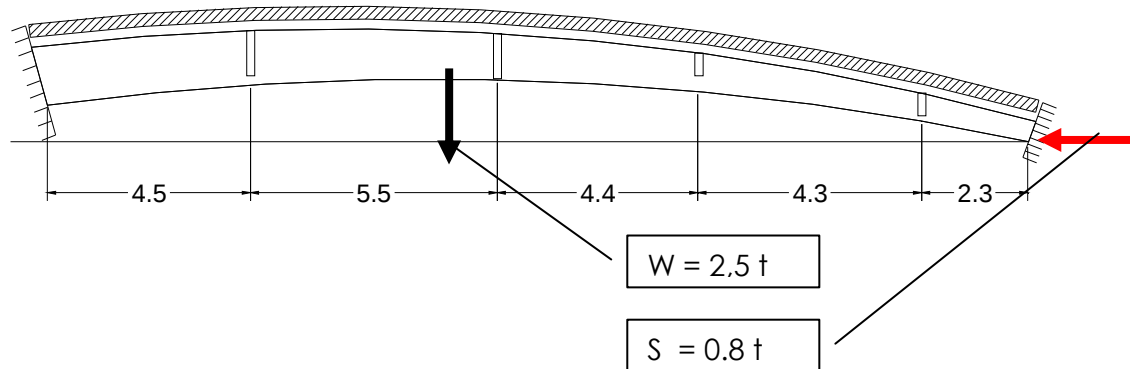


Figura 21

Análisis Estructural

Para el análisis estructural individual se adoptaron secciones parciales entre apoyos, utilizando la altura más desfavorable (mínima) entre las secciones adyacentes.

Se adoptó el criterio de considerar la estructura como arco poligonal rigidizado, materializando dichas articulaciones con vigas transversales de unión ¹.

En arco nace desde un tabique, y desde ahí cubre los 21 m, variando su altura, a medida que cubre el vano de la galería (Figura 18).

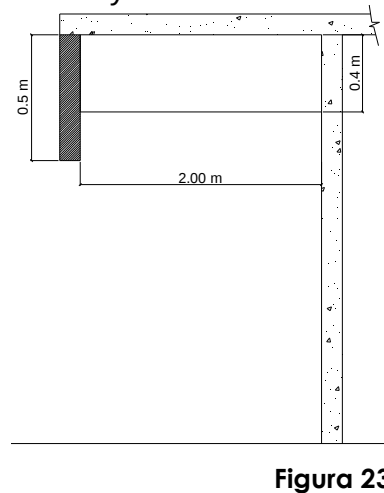
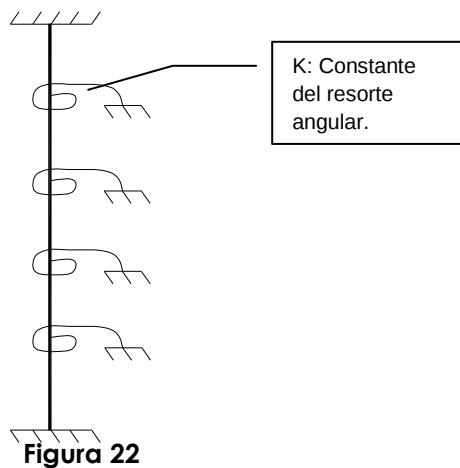
En el apoyo final del arco, donde es de menor altura, se dispuso la misma solución del arco de fachada, reforzando la viga a la que llega este arco.

Verificación del pandeo lateral ¹

En este análisis se verifica la resistencia normal al eje en base a la compresión máxima, que en este caso sería la originada por una acción sísmica.

Los criterios utilizados son los expuestos en la referencia, simplificándose para poder adoptarlos a este caso en particular.

El sistema es una viga continua sobre apoyos elásticos angulares discretos, tal como se ve en el sistema estático de la Figuras 22 y 23.



Simplificaciones:

- Se tomara la sección total del hormigón, descartando el ancho total aportado por el panel.
- Se evaluara el pandeo lateral en el tramo más largo, donde la altura de la viga de vinculación es de 0,4 m (Figura 24) y la altura del arco es más baja ($h_a = 0,5$ m), Figura 25.

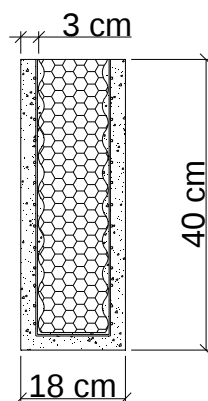


Figura 24 Sección viga de vinculación

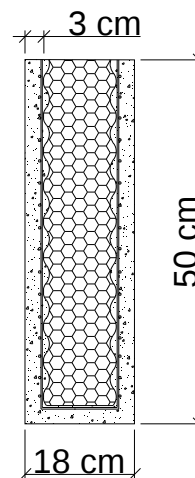


Figura 25 Sección arco

Momentos de inercia de las secciones:

$$J_{\text{arco}} = b * h^3 / 12 = 0.06 \text{ m} * (0.5 \text{ m})^3 / 12 = 0.000625 \text{ m}^4 \quad (1)$$

$$J_{\text{viga}} = b * h^3 / 12 = 0.06 \text{ m} * (0.4 \text{ m})^3 / 12 = 0.00032 \text{ m}^4 \quad (2)$$

$$E = 2,1 \times 10^6 \text{ t/m}^2$$

Se busca la constante de resorte lineal para los apoyos discretos:

$$C = E * 1 / (h^2 * b / 2 * J_{\text{viga}}) \quad (3)$$

$$C = 2,1 \times 10^6 * 1 / [(0,5\text{m})^2 * 2 \text{ m} / 2 * 0,00032 \text{ m}^4] = 2.688 \text{ t/m}$$

Se busca la constante elástica continua

$$c = C / s \quad (4)$$

$$c = 2.688 \text{ t/m} / 4,3 \text{ m} = 625 \text{ t/m}^2$$

Calculo del empuje por cargas muertas, como se muestra en (1):

$$H = q.L^2 / 8.f \quad (5)$$

$$H = 0.8 \text{ t/m} * 21 \text{ m}^2 / 8 * 1,4 \text{ m}$$

$$H = 31,5 \text{ t}$$

Para el cálculo de la carga crítica de pandeo lateral se usa la expresión de Engesser – Bleich¹

$$H_{ki} = 2 * (E * J_{\text{arco}} * c)^{1/2} \quad (6)$$

$$H_{ki} = 1.811 \text{ t}$$

Si bien la carga crítica es muy elevada, se busca el análisis de los efectos de las deformaciones y su influencia en los momentos de segundo orden. Para establecer dichos esfuerzos se busca el factor de amplificación α , que mayor los esfuerzos de primer orden, y permite calcular dicha influencia.¹

$$\alpha = 1 / [1 - (v * H / H_{ki})] \quad (7)$$

$$\alpha = 1 / [1 - (1,75 * 31,5 \text{ t} / 1.811 \text{ t})] = 1,04$$

$$M^{\text{II}} = \alpha * M^{\text{I}} \quad (8)$$

La incidencia del factor α es de solo el **4%** sobre los esfuerzos de primer orden, por lo que la geometría final del arco y las vigas de vinculación son adecuadas, donde la configuración estructural genera la rigidez necesaria.

Observación

Uno de los cambios en el diseño, surgió del análisis del pandeo lateral. Como premisa arquitectónica se pretendía dejar la galería totalmente lisa y sin ningún obstáculo visual. La geometría del arco, su esbeltez, y el posterior análisis del pandeo lateral hicieron modificar esta premisa, optándose por la inclusión de las vigas de vinculación y colocando un cielorraso que tenga el mismo efecto visual (Figura 26).

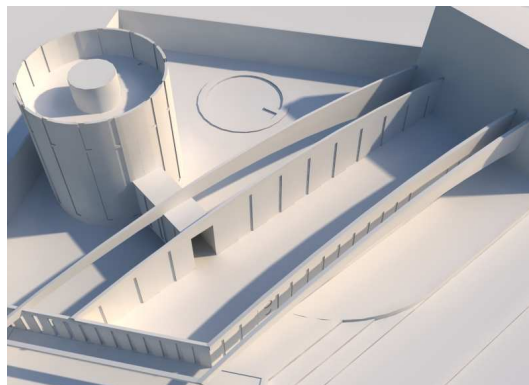


Figura 26

Losa del módulo central

Este diseño tiene una doble curvatura. El eje principal recorre la estructura de punta a punta, siendo paralelo al muro de fachada de la casa. A medida que se acerca al módulo comercial, el muro posterior de la vivienda decrece, finalizando con una nueva curvatura sobre el dormitorio principal de la vivienda (Figuras 28 a 31).

Cargas y análisis

Las cargas soportadas son el peso propio y la sobrecarga de uso de la losa. Dada la inclinación con la que nace la losa, fue necesario reforzar este tramo ya que la misma presenta un importante voladizo sobre su comienzo (Figura 27).

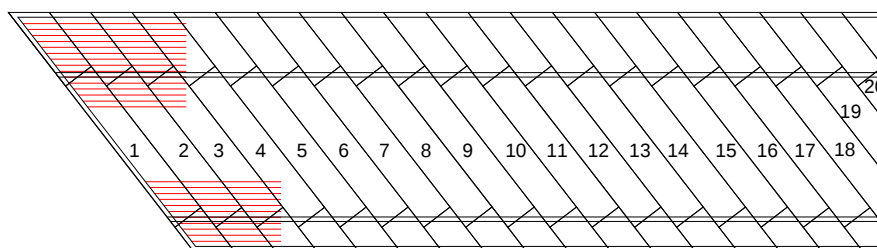


Figura 27



Figura 28



Figura 29



Figura 30



Figura 31

MODULO SECUNDARIO. CILINDRO

Descripción general.

Este módulo consta de tres niveles: PB, PA y nivel superior en donde se encuentra el tanque de reserva de agua (Figura 32)

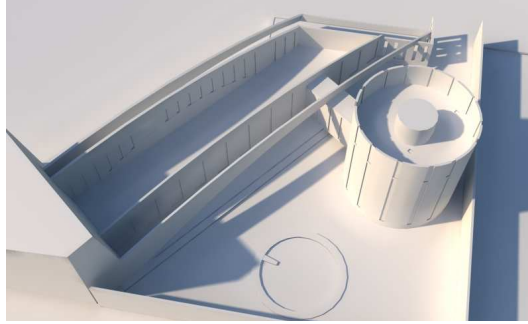


Figura 32

En base a los requerimientos arquitectónicos, se desarrollo el módulo de la siguiente manera (Figura 33)

- Los tabiques del borde están distribuidos simétricamente en toda la circunferencia.
- El núcleo central, en donde se ubica la escalera, se dejo libre, con solo tres columnas que soportan las vigas que sostienen la losa del entrepiso
- En el nivel superior se cierran los tabiques con un anillo en toda la circunferencia. Esto es así debido a la esbeltez de los tabiques, ya que dejándolos sueltos y bajo la acción de un sismo, su movimiento produciría la rotura de los mismos.

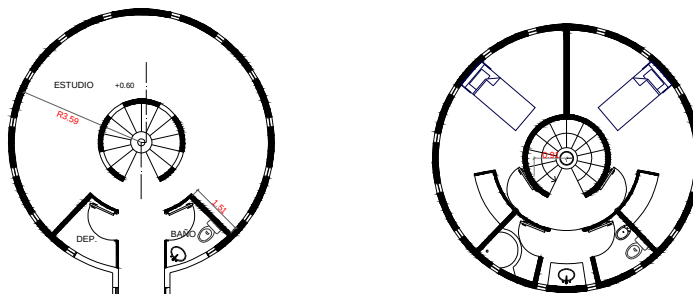


Figura 33

Análisis estructural

Para el análisis dinámico solamente se tuvo en cuenta el aporte de los muros de la circunferencia (Figura 34).

En una primera aproximación, se pudo observar que la idea arquitectónica original de permitir al tabique que sea uno solo en el desarrollo vertical, se veía cuestionada por el análisis que demostraba que su movimiento, bajo la acción de un sismo, hubiera generado deformaciones diferenciadas de los mismos (Figura 35), por lo que se modifico esta primera idea, cerrando la parte superior con un anillo o viga perimetral de 50 cm de alto, que toma todos los tabiques, permitiendo una respuesta más coherente de la estructura.

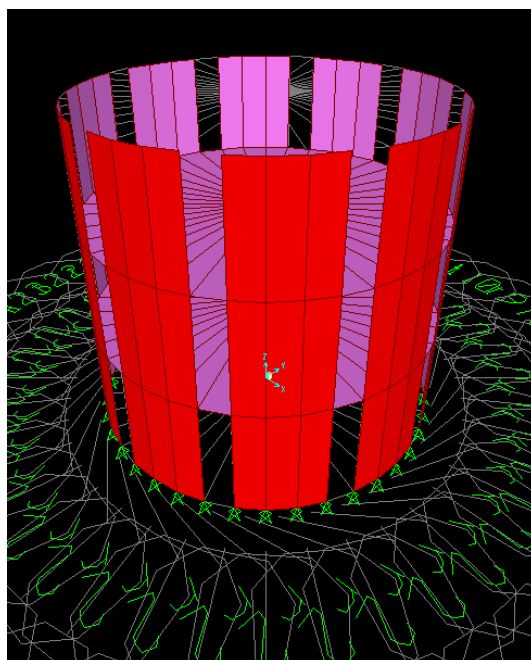


Figura 34

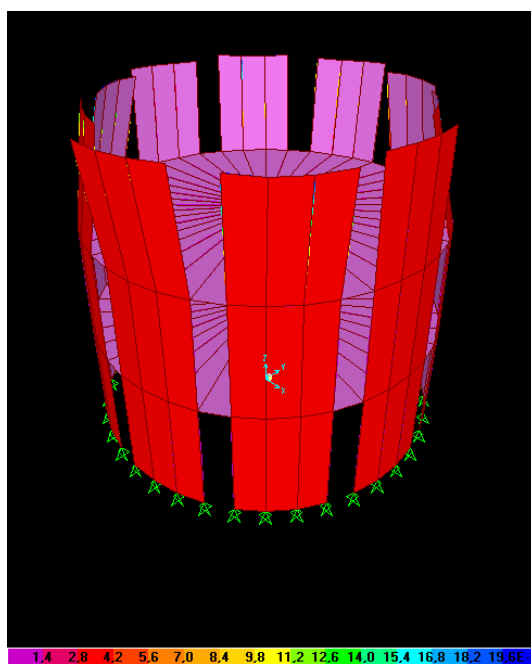


Figura 35

REFERENCIAS

1 – *Diseño y Construcción de Puentes*. Dr. Alfredo Shegg, Ing. Julio H. Fushimi.
Departamento de Estructuras, Universidad Nacional de Córdoba