

DISEÑO ESTRUCTURAL DE AUDITORIO U. E. 9 DE ABRIL
APLICANDO CUBIERTA EN FORMA DE PARABOLOIDE ELÍPTICO

1.1. INTRODUCCIÓN.

El diseño estructural del auditorio con estructura o sistema aporticado y cubierta en forma de paraboloides elípticos, tiene por objeto realizar una investigación, en especial, sobre las estructuras referidas a las cáscaras de doble curvatura, en este caso, el paraboloides elíptico, como también brindar un diseño estructural a la unidad educativa interesada.

Según lo previsto, para el análisis y diseño de la estructura de Hormigón Armado se tiene como textos guía la Norma Boliviana del Hormigón (CBH-87), el libro "Estructuras de hormigón Armado" de Baykov, V. N. Moscú M., "Hormigón Armado" de Jiménez Montoya.

Para la cubierta de doble curvatura, presenta características de gran resistencia, y para condiciones de carga de nuestra estructura trabajan exclusivamente a esfuerzos de tracción y compresión. La cubierta de doble curvatura propuesta es la de "Paraboloides Elíptico", el cual es un caso interesante formado por dos familias de curvas de dirección opuesta. Para el análisis se cuenta como libro base "Análisis, Cálculo y diseño de Bóvedas de Cáscara" de Alfonso Olvera López.

A lo largo de la historia de la Arquitectura y la Ingeniería, podemos identificar que el hombre ha sido inspirado por la naturaleza, para crear sus más destacadas edificaciones, como es el caso de las bóvedas de cáscara, que están basadas en la cubierta del huevo, el caparazón del caracol, etc. A pesar de que antes de las bóvedas de cáscara ya existían el arco, la cúpula y las semi cúpulas Asirias, no fue hasta 1920 que se construyeron los primeros cascarones de concreto armado con forma de paraboloides hiperbólicos, generados por un grupo de ingenieros visionarios, cuyo objetivo era cubrir un espacio determinado con un mínimo de material. Gaudí y Félix

Candela fueron unos de los primeros arquitectos en emplear este sistema, debido a sus variadas formas de diseño, que son estructuralmente simples y ligeras.

A partir de 1939 y en un periodo de 25 años se construyen en todas partes del mundo todo tipo de cascarones; cascarones de revolución, paraboloides hiperbólicos, paraboloides Elípticos, paraboloides cilíndricos y lozas plegadas. Es en México, donde se construyen un gran número y variedad de cascarones, con concretos de resistencias normales y materiales ligeros, gracias a la intervención del arquitecto Félix Candela.

PARABOLOIDE ELÍPTICO

¿Qué es un Paraboloide Elíptico?

Es una estructura formada por dos familias de curvas en la misma dirección, cuyo espesor es pequeño en comparación con las dimensiones de su sección transversal y posee una curvatura gaussiana positiva (sin clásticas). Los paraboloides elípticos se engendran por el desplazamiento de una parábola (generatriz) a lo largo de otra parábola (directriz).

La función de un paraboloide elíptico se define dependiendo el caso en el que se requiera.

1.2. DISEÑO TEÓRICO.

1.2.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA.

En la unidad educativa, cuya ubicación es zona el parque en el distrito 2 de la ciudad de Villazón, no cuentan con un auditorio, el cual es necesario para realizar las reuniones y actos, también la falta de aulas y laboratorios. Se hacen prioridad de las mismas para mejorar la calidad de educación de los estudiantes que realizan sus estudios en esta unidad educativa fiscal al contar con más de 600 estudiantes. Se ven en la necesidad de buscar un proyecto de ampliación.

Los métodos constructivos más comunes en las edificaciones de uso residencial se basan en el uso de hormigón, ladrillo como materia prima. En el caso de estructuras para el uso comercial, bodegas e infraestructura educativa y deportiva, es común el

uso de amplios espacios abiertos donde la solución estructural más tradicional se basa en elementos de acero.

Una alternativa para la construcción de cubiertas es la utilización de cascarones de hormigón de bajo espesor construidos de diferentes formas geométricas. Es mínimo el conocimiento a nivel local acerca de las alternativas de métodos de diseño y de procedimientos constructivos de los cascarones. Existe la necesidad de realizar un estudio para conocer la viabilidad técnica y constructiva de este tipo de cubiertas.

1.2.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

De acuerdo con los antecedentes descritos se va a proporcionar una parte fundamental del proyecto como es el diseño estructural se plantea la siguiente interrogante:

¿Cómo realizar el diseño estructural de la Unidad Educativa 9 de abril para obtener una edificación segura?

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Realizar el diseño estructural para el proyecto de la Unidad Educativa 9 de abril de Villazón, que consiste en un Auditorio, a través de pórticos de hormigón armado y cubiertas de doble curvatura en forma de "Paraboloide Elíptico", para brindar ambientes seguros y económicos de acuerdo a los requerimientos de la institución, ofreciendo un espacio adecuado para los actos, reuniones y otros eventos que se realicen en la zona.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Calcular las cargas que actúan en la estructura.
- Analizar los esfuerzos en los elementos estructurales de hormigón armado.
- Dimensionar los elementos estructurales.
- Analizar y diseñar la cubierta en forma de Paraboloide Elíptico.
- Elaborar los planos estructurales y de detalles constructivos.

1.4. HIPÓTESIS.

El análisis y diseño estructural para lograr una edificación nueva y segura para el auditorio de la Unidad Educativa de la zona, usando estructura especial, paraboloide elíptico en la cubierta del auditorio y en las aulas, será a través de pórticos de hormigón armado. Mejorará las condiciones de estudio en la zona, contando con una estructura estable rígida y resistente.

1.5. JUSTIFICACION.

En la elaboración del proyecto es conveniente realizar las justificaciones desde el aspecto científico, técnico, socio-económico.

ASPECTO CIENTÍFICO Se aportarán conocimientos en el análisis y diseño de estructuras especiales usadas para cubrir grandes luces, siendo propuesta de solución los paraboloides elípticos, aplicándose en el proyecto auditorio unidad educativa 9 de Abril, donde las luces alcanzan aproximadamente los 32 y 22 metros.

ASPECTO SOCIO – ECONÓMICO Con el presente proyecto se mejorarán las condiciones de los estudiantes y maestros de la unidad educativa y también se podrá contar con aulas para poder ampliar a nivel primario, en vista que ahora es unidad educativa secundario, también se contará con laboratorios adecuados; teniendo nuevos espacios, generando que la demanda de estudiantes tenga un adecuado crecimiento.

Se generarán más puestos de trabajo durante la construcción del auditorio como de las aulas y una vez construido, se tendrá que contar con personal de cuidado y limpieza del mismo, viéndose así beneficiados no solo los jóvenes estudiantes sino también los demás pobladores de la zona.

ASPECTO TÉCNICO La infraestructura previamente diseñada se realizará de concreto armado, como materiales predominantes, combinando así la alta resistencia en el caso del acero y la alta resistencia en compresión y durabilidad en el caso del concreto armado.

El proyecto, presenta grandes luces que serán cubiertas con el uso de estructuras especiales, en este caso se propone la alternativa de solución: paraboloides elípticos como estructura de la cubierta del auditorio, esta alternativa de solución optada, basa su eficacia en el comportamiento denominado de membrana, que permite condiciones de apoyo adecuadas en el contorno, equilibrar variadas leyes de carga mediante los esfuerzos tangenciales y axiales, que son esfuerzos contenidos en la superficie que constituyen la forma.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN.

Una estructura de acuerdo a la función que se le da, ésta debe cumplirla como si fuera una sola, combinando adecuadamente el conjunto que la compone.

En las estructuras de edificación, el material mas usado y que garantiza seguridad sobre todo, es el hormigón armado, es por esto que en el presente capitulo se presenta el desarrollo de los métodos de cálculo y algunos conceptos que nos servirá para el diseño de los pórticos de hormigón armado y la cubierta de doble curvatura, así como su comprobación.

Es conveniente mencionar algunos criterios sobre el hormigón, en vista que este será el material principal en el diseño estructural. El hormigón en masa es un material que puede resistir grandes compresiones, pero como no tiene resistencia a tracción se lo refuerza con barras de acero, específicamente en el lugar donde se presenten fuerzas de tracción, llamadas zonas de tracción.

El hormigón armado es un material que tiene una cualidad de adaptarse a cualquier forma que se lo requiera de acuerdo con los encofrados, caso que no ocurre con los demás materiales como ser el acero, haciéndole de esta forma el material esencial de la construcción.

En la actualidad la rapidez de la construcción de estructuras de hormigón armado se ve mejorada con la utilización de los prefabricados, resultando de esta manera el empleo de hormigón armado más económico por su monolitismo y continuidad, siendo el más usado en nuestro medio.

2.2 CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO.

Todo proceso de diseño de un sistema, empieza con la formulación de objetivos a los que se requiere alcanzar y las restricciones a considerar, estos objetivos idealizados son la optimización del sistema, es decir la optimización de todas las mejores soluciones posibles. El lograr una solución óptima absoluta, es prácticamente imposible, sin embargo, puede ser útil optimizar de acuerdo con determinado criterio, tal como el de peso o costo mínimo, teniendo en cuenta que no existen soluciones únicas sino razonables. (B-3)

En el cálculo de las estructuras de hormigón armado se deben tomar en cuenta los materiales, primero para el hormigón o concreto, refiriéndose:

- A la resistencia del concreto.
- Esfuerzos de compresión.
- Efectos de la edad del concreto.
- Efecto de la relación agua cemento.
- Efecto de la velocidad de carga.
- Efecto de la velocidad de deformación.
- Efectos de la esbeltez.
- Comportamiento a esfuerzos combinados.
- Esfuerzos a tensión, modulo de elasticidad, etc.

Para el acero, también se toma en cuenta sus esfuerzos, módulo de elasticidad, como se menciona son muchas las consideraciones que se debe tomar en cuenta para el diseño estructural, valores que se tomarán para el cálculo, deben ser controlados rigurosamente en el momento del inicio de la construcción para evitar errores posteriores y cumplir a cabalidad con lo diseñado.

En cuanto a los métodos de diseño para las estructuras de hormigón armado, se tienen los métodos clásicos o de tensiones admisibles (campo elástico) y los métodos de

cálculo en rotura (actualmente desarrollado y combinado con los métodos probabilistas, viene a ser el método de los estados últimos).

Los métodos clásicos o de tensiones admisibles, donde se determinan las tensiones de trabajo para las cargas máximas de servicio, comparando sus valores con las tensiones admisibles. Mediante estas consideraciones se tienen dos consecuencias principales:

“El cálculo con el método clásico, conduce frecuentemente a un desaprovechamiento de los materiales, al no tener en cuenta su capacidad de adaptación plástica para resistir mayores sollicitaciones.” (B-1)

“El método clásico proporciona el valor de las tensiones que aparecen en la estructura bajo las cargas de servicio, en el presupuesto de que en dicha situación, la estructura permanece en régimen elástico, como suele ser en general. Pero no proporciona información acerca de la capacidad que posee la estructura para recibir más carga, por lo que no es posible averiguar con él, el verdadero margen de seguridad de la estructura.” (B-1)

En el código boliviano el proceso de cálculo en general es el de los estados límites, en el presente trabajo por principios para la determinación de seguridad para el proceso de cálculo en general nos basaremos en el estudio del método prescrito.

2.2.1 MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITES.

2.2.1.1 DEFINICIÓN.

El diseño por estados límites trata de lograr que las sollicitaciones comparadas con las respuestas de un elemento estructural o de una estructura se encuentren dentro de límites aceptables ($S_d \leq R_d$). (B-3)

El método indica que una estructura deja de ser útil al alcanzar su estado límite, donde deja de cumplir la función para la cual fue diseñada o al ser rebasada coloca a la estructura fuera de servicio.

Para revisar la seguridad de una estructura, se debe verificar que la resistencia de cada elemento estructural en su conjunto, sea mayor que las acciones que actúan sobre la estructura.

Se propone que la estructura se diseñe con referencia a varios estados límites, con el fin de que toda estructura pueda rendir el servicio para el cual fue proyectada.

2.2.1.2 CLASIFICACIÓN.

Los estados límites más importantes según la clasificación que presenta el texto de P. Jiménez Montoya, son estados límites últimos y estados límites de utilización, los cuales serán complementados con conceptos de otra bibliografía.

1) Estados límites últimos; es el estado correspondiente a la resistencia máxima de la estructura (estado de rotura). Se relacionan con la seguridad e incluyen los siguientes estados:

- Estado límite de equilibrio, definido por la pérdida de estabilidad estática (vuelco, deslizamiento, sub presión, etc.). *Se estudia a nivel de estructura o elemento estructural completo.*
- Estado límite de agotamiento o de rotura, definidos por el agotamiento resistente o la deformación plástica excesiva de una o varias secciones de los elementos de la estructura. Cabe considerar el agotamiento por solicitaciones normales y por solicitaciones tangentes. *Se estudian a nivel de sección de elemento estructural.*
- Estado límite de inestabilidad o de pandeo, sea de una parte o del conjunto de la estructura. *Se estudia a nivel de elemento estructural o de toda la estructura.*
- Estado límite de adherencia, caracterizado por la rotura de la adherencia entre las armaduras y el hormigón que las rodea. *Se estudia a nivel de sección.*

- Estado límite de anclaje, se caracteriza cuando un anclaje cede ante ciertas sollicitaciones. *Se estudia de forma local en las zonas de anclaje.*
- Estado límite de fatiga, caracterizado por la rotura de alguno de los materiales de la estructura, por efecto de la fatiga. Bajo la acción de cargas dinámicas. *Se estudia a nivel de sección.*

2) Estados límites de utilización; es la máxima capacidad de servicio de la estructura, situación donde queda fuera de servicio por razones de durabilidad, funcionales o estéticas, según la función a cumplir, se tiene tres estados límites de utilización.

- Deformación excesiva, caracterizado por alcanzar un determinado movimiento (flechas, giros) en un elemento de la estructura. *Se estudia a nivel de estructura o elemento estructural.*
- Fisuración controlada, caracterizado por el hecho de que la abertura máxima de las fisuras en una pieza alcance un determinado valor límite, función de las condiciones ambientales en que dicha pieza se encuentre. *Se estudia a nivel de sección.*
- Vibraciones excesivas, caracterizado por la producción en la estructura de vibraciones de una determinada amplitud o frecuencia. *Se estudia a nivel de estructura o elemento estructural.*

MAGNITUDES ALEATORIAS.

Son los valores de las sollicitaciones (cargas), resistencias de los materiales como otros factores, estas magnitudes en el cálculo tienden a sufrir imprecisiones, para no ser superado el valor que los corresponde, la cuantificación siempre aparece asociada a una determinada probabilidad.

“La finalidad del cálculo es comprobar que la probabilidad de que la estructura alcance un estado límite, dentro del plazo previsto para su vida útil, se mantiene por debajo de un valor determinado que se fija a priori.” (B-1)

2.2.2 DEFINICIÓN DE LOS VALORES CARACTERÍSTICOS Y DE CÁLCULO. VALORES DE LOS COEFICIENTES DE SEGURIDAD.

2.2.2.1 RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN (f_{ck}).

Definido como el valor que representa el grado de confianza del 95 %, es decir, que existe una probabilidad de 0.95 de que se presenten valores individuales de resistencia más alta que la resistencia característica.

2.2.2.2 RESISTENCIA DE CÁLCULO DEL HORMIGÓN (f_{cd}).

Definido como cociente entre su resistencia característica y el coeficiente de minoración.

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$$

Los valores de cálculo establecido suponen que la carga total no actúa antes de los 28 días.

La comprobación de que el hormigón realizado en obra tiene una resistencia característica no menor de la especificada en proyecto, se efectúa mediante rotura de un determinado número de probetas, aplicando un estimado a sus resultados.

2.2.2.3 RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL ACERO (f_{yk}).

Tensión que corresponde a su límite elástico (f_y), en todos los casos, en fase de proyecto debe considerarse como límite elástico característico (f_{yk}) el valor que lo garantiza el fabricante.

(Definido como el cuantil del 5% del límite elástico en tracción)

2.2.2.4 RESISTENCIA DE CÁLCULO DEL ACERO (f_{yd}).

Definido como cociente entre el límite elástico del proyecto y el coeficiente de minoración.

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

La expresión es válida tanto para tracción como para compresión.

En piezas sometidas a compresión simple, la deformación de rotura del hormigón toma el valor de dos por mil, lo que limita el aprovechamiento de la resistencia de cálculo para el acero correspondiente al valor de la tensión de dicha deformación, en el diagrama del acero empleado. Por ejemplo, para el acero de dureza natural, será 420 MPa.

2.2.2.5 VALORES DE LOS COEFICIENTES DE SEGURIDAD.

En el proceso de cálculo corresponderá al código boliviano del hormigón, el cual toma al método de los estados límites; este cálculo trata de reducir un valor suficientemente bajo.

Existe la probabilidad de que sean alcanzados una serie de estados límites, entendiéndose como tales, aquellas situaciones de la estructura o de una parte de la misma, que de alcanzarse, pone la estructura fuera de servicio; es decir que ya no es capaz de cumplir la función para la que fue construida.

El procedimiento de comprobación, para un cierto estado límite, consiste en deducir por una parte, el efecto de las acciones aplicadas a la estructura o parte de la misma, y por otro, la respuesta a tal estructura correspondiente a la situación límite en estudio; comparando estas dos magnitudes siempre que las acciones exteriores produzcan un efecto inferior a la respuesta correspondiente al estado límite, podrá afirmarse que está asegurado el comportamiento de la estructura frente a tal estado límite.

La seguridad se introduce a través de coeficientes: dos de minoración (de la resistencia del hormigón y de la resistencia del acero) y otros de ponderación de las cargas y acciones en general.

Para el estudio de los estados límites últimos, los valores básicos de los coeficientes de seguridad son los siguientes:

Coefficiente de minoración del hormigón $\gamma_s = 1.50$

Coefficiente de minoración del acero $\gamma_s = 1.15$

Coefficiente de ponderación de las acciones:

- De efecto desfavorable $\gamma_{fg} = 1.60$
- De efecto favorable:
 - Permanente $\gamma_{fg} = 0.90$
 - Variable $\gamma_{fg} = 0$

Para el estudio de los estados límites de utilización, el comportamiento de la estructura no está influido en general por las variaciones locales de las propiedades del hormigón o del acero, sino más bien por sus características medias. En consecuencia, es suficiente, en la práctica, adoptar:

$$\gamma_c = \gamma_s = 1$$

Por otra parte, el coeficiente γ_f se toma igual a la unidad, ya que el comportamiento de la estructura se estudia para las cargas de servicio de la misma. Sin embargo, si el proyectista juzga oportuno alcanzar un nivel de seguridad mayor frente a algún estado límite de utilización, por ejemplo, frente a la posibilidad de deformación excesiva de un elemento estructural bajo la acción de una determinada carga, se pueden incrementar los valores de los coeficientes.

“El coeficiente de seguridad es para cubrir o tratar de cubrir los posibles errores de cálculo que se puede tener.”

2.2.3 HIPÓTESIS DE CARGA.

Para el cálculo de estructuras se debe realizar una combinación de acciones que son compatibles en su actuación simultánea y que produzcan efectos contraproducentes.

Para encontrar las hipótesis de carga más desfavorables, se deberá tener en cuenta solamente aquellas acciones cuya actuación simultánea sea compatible, produciendo los efectos más adversos en relación con cada uno de los estados límites.

Hipótesis I: $\gamma_f G + \gamma_f Q$

Hipótesis II: $0.9 (\gamma_f G + \gamma_f Q) + 0.9 \gamma_f W$

Hipótesis III: $0.8 (\gamma_f G + \gamma_f Q_{eq}) + F_{eq} + W_{eq}$

Donde:

G = Cargas permanentes, mas las acciones indirectas con carácter de permanencia.

Q = Cargas variables (nieve, viento).

Q_{eq} = Cargas variables durante la acción del sismo.

W = Valor característico de la carga de viento.

W_{eq} = Carga de viento durante la acción sísmica, en general se toma el valor 0. En situación topográfica muy expuesta al viento se adoptará el valor de 0.25 W.

F_{eq} = Valor característico de la acción sísmica.

Cuando se tenga diversas acciones de la carga variable con la probabilidad mínima de que actúen simultáneamente y para aquellas cuya simultaneidad presente una probabilidad no pequeña, se tomará el valor de la carga que sea predominante; y 0.8 del característico para las restantes.

Cuando las cargas variables de uso sean capaces de originar efectos dinámicos, deberá multiplicarse por un coeficiente de impacto.

De acuerdo con el proceso constructivo previsto, en caso de presentarse acciones de importancia durante la construcción, se efectuará la comprobación oportuna para la hipótesis de carga más desfavorable que resulte de combinar tales acciones con la que sean compatibles con ellos. Con esta comprobación podrá reducirse el valor de los coeficientes de ponderación según se crea oportuno, recomendándose no bajar de $\gamma_f = 1.25$.

2.2.4 COMPROBACIÓN QUE DEBE REALIZARSE.

La finalidad del cálculo es comprobar que se mantenga por debajo de un valor determinado la probabilidad de que la estructura alcance un estado límite dentro del plazo previsto para su vida útil.

Las comprobaciones que deben realizarse son:

- a) Comprobación de la estructura como conjunto y de piezas de la misma: Bajo la combinación más desfavorable de las acciones de cálculo, no se sobrepasan los estados límites de equilibrio, de pandeo ni deformaciones.

La respuesta de la estructura, correspondiente al estado límite en estudio, se obtendrá a partir de valores minorados de las propiedades resistentes de los materiales.

- b) Comprobación de secciones de las piezas: Bajo las sollicitaciones producidas por la combinación más desfavorable de las acciones de cálculo, no se sobrepasen los estados límites de agotamiento ni de fisuración.

Además de los estados límites mencionados, que deben comprobarse siempre, habrá que tomar en cuenta en casos especiales los de rotura por fatiga, rotura por resonancia, vibraciones excesivas, etc.

Debe advertirse que la hipótesis de carga más desfavorable que corresponde a cada estado límite en estudio será, en general, distinta para cada uno de ellos.

$$S \leq R$$

Sollicitaciones \leq Respuestas

2.2.5 ANÁLISIS DE ROTURA BAJO TENSIONES NORMALES.

ROTURA POR FLEXIÓN.

Supongamos, una viga de hormigón armado simplemente apoyada, está sometida a cargas crecientes hasta una rotura por flexión. Si las cargas están suficientemente

alejadas de los apoyos, la rotura se producirá por flexión pura en la zona central, sin intervención de Esfuerzo cortante.

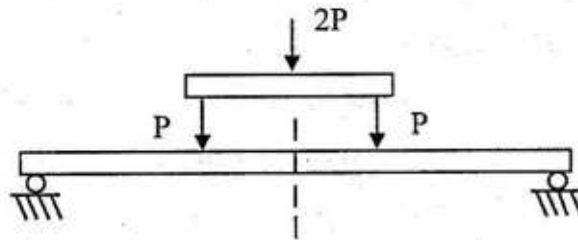


Figura 2.1

A lo largo del proceso de carga, la pieza pasa por tres estados diferentes, en todos los procesos, los cuales en la deformación de la sección 1-1 se mantiene plana.

- Estado elástico: Las tensiones en las fibras comprimidas de la sección son proporcionales a las deformaciones. el diagrama de compresión es triangular. Este estado se desarrolla hasta una tensión del orden del 35 a 40 por 100 de la tensión de rotura del hormigón, f_c , no hay fisuras.
- Estado de fisuración: Las tensiones de tracción fisuran al hormigón y las fisuras comienzan a ascender hacia la zona comprimida, esta se va concentrando hacia la fibra superior. El diagrama de compresiones se encorva, con este comportamiento, la sección va ganando brazo mecánico z y fuerza normal N para poder soportar el mayor momento a que se ve sometida. Este estado se extiende hasta las proximidades de rotura.
- Estado de pre rotura: al acercarse a la rotura, la situación descrita antes llega a su límite, la deformación de la fibra extrema más comprimida alcanza su valor último del orden de 0,0035. El diagrama de compresiones aparece muy plastificado, con un tramo prácticamente vertical en las fibras más cargadas, trabajan todas a su tensión máxima. Las fisuras han subido mucho, ampliando su anchura y obligando a la zona comprimida a concentrarse en la posición

más alta posible. El brazo mecánico máximo en esta posición llevada a su extremo, la pieza se rompe. La deformación última al igual a 0.0035 corresponde a secciones rectangulares o similares. Este acortamiento puede variar con la duración de la carga y la forma de la sección, aumentando hasta 0,00045 en el caso de zonas comprimidas triangulares y disminuyendo hasta 0,0025 en el caso de vigas en T con cabeza de compresión y nervio delgados respecto al canto, en las que las condiciones de agotamiento por flexión son muy similares a las de compresión simple.

ROTURA POR COMPRESIÓN.

En compresión simple todas las fibras están igualmente solicitadas a lo largo de los distintos escalones de carga, hasta que se alcanza el agotamiento simultáneo en todas ellas.

El tiempo que dura el proceso de carga, es fundamental en compresión simple bajo carga rápida, la pieza rompe con tensiones aproximadamente iguales a las resultantes en el ensayo de probeta cilíndrica, es decir $\rho = f_{ck}$. Pero, bajo carga mantenida aparece el fenómeno de cansancio del hormigón por el cual las piezas rompen bajo cargas menores que pueden llegar a ser del orden 80 por 100 de las que corresponderían a carga rápida.

El fenómeno de cansancio aparece cuando la sección se encuentra totalmente comprimida, pero no aparece o es despreciable en flexión simple.

La deformación de rotura del hormigón en compresión simple es menor que en flexión, del orden de 0,002. Por ello no se puede aprovechar en compresión simple toda la capacidad resistente de los aceros de elevado límite elástico, ya que en el momento de la rotura, su tensión es (aceros de dureza natural) de $0,002 * 2100000 = 4200 \text{Kp/cm}^2$

ROTURA POR TRACCIÓN.

En tracción simple, el hormigón se fisura muy pronto y es el acero el que toma todo el esfuerzo. Esta forma de trabajo no es del hormigón armado.

2.2.6 CUANTÍAS LÍMITES DE ARMADURA.

La razón de establecer cuantías límites para las armaduras es la prevención del peligro de rotura frágil de la sección. Otras veces se dispone cuantías mínimas con objeto de impedir fisuraciones por retracción o efectos térmicos, sobre todo si estos fenómenos no han sido tomados en cuenta en los cálculos.

1º Cuantía mínima en flexión.

Según normas ACI se tiene la cuantía geométrica mínima.

$$\rho = A_s/A_c \geq 14/f_yk$$

f_yk = límite elástico característico del acero en Kg/cm²

En losas de espesor uniforme armadas en una sola dirección

$$\rho = A_s/A_c \text{ mínimas}$$

$$\rho = 0,002 (4.200/f_yk)$$

- Las barras deben ir distanciadas a menos de cinco veces el espesor de la losa y a menos de 40 centímetros.

El CEB preconiza como cuantía geométrica mínima

$$\rho = 0,001 \text{ para losas}$$

$$\rho = 0,0015 \text{ para otras formas de sección}$$

2º Cuantía máxima en Flexión.

Para evitar roturas frágiles, conviene dimensionar las secciones con cuantías inferiores al límite.

La cuantía no necesita ser limitada superiormente en flexión.

3º Cuantías límites en compresión.

En compresión según CEB. La armadura debe tomar como mínimo el 10 por 100 del esfuerzo axial actuante y como máximo, una cantidad igual a la que es capaz de absorber el hormigón solo.

2.2.7 ANÁLISIS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

2.2.7.1 VIGAS.

Son elementos estructurales lineales, con diferentes formas de sección transversal y que, por lo general están solicitadas principalmente a flexión.

Las vigas sometidas a flexión se calcularán de acuerdo con lo siguiente:

- a) Cuando la relación longitud/altura sea inferior a 2, deberá aplicarse las hipótesis de cálculo de las vigas de gran canto.
- b) Se llaman solicitaciones normales a las que se originan tensiones en dirección perpendicular a la sección transversal de la pieza de hormigón armado. Están constituidas por un momento flector y un esfuerzo normal.
- c) A partir de las hipótesis admitidas pueden determinarse las deformaciones en todas las fibras de la sección estableciendo las correspondientes ecuaciones de compatibilidad de deformaciones.

A partir de los valores de cálculo de las resistencias de los materiales y de los valores mayor a dos de las cargas y demás acciones.

Resistencia característica del hormigón (f_{ck}) del proyecto, es la que se adopta en el proyecto.

$$R_d \geq S_d$$

R_d = Valor de cálculo de la solicitación actuante.

S_d = Valor de cálculo de la resistencia de la estructura.

La resistencia característica del acero (f_{yk}), de dureza natural 420 MPa

Resistencia de cálculo o de diseño del acero $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$

2.2.7.2 COLUMNAS.

Las columnas de hormigón armado son piezas, verticales, en las que la sollicitación normal es predominante. Sus distintas secciones transversales pueden estar sometidas a compresión simple, compresión compuesta o flexión compuesta. Tienen como misión principal canalizar las acciones que actúan sobre la estructura hacia la cimentación de la obra y en último extremo, al terreno de cimentación, por lo que constituyen elementos de gran responsabilidad resistente.

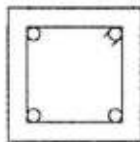
Disposiciones relativas a las armaduras.

Con el objeto de facilitar la colocación y compactación del hormigón, la menor dimensión de las columnas debe ser 20 cm. Si se trata de secciones rectangulares, y 25 cm. Si la sección es circular. De todas formas para dimensiones menores a 25 cm es necesario tomar precauciones especiales.

Armaduras longitudinales

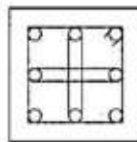
Se situarán en las proximidades de las caras de la columna debiendo disponerse por lo menos una barra en cada esquina de la sección. En los soportes de sección circular deben colocarse un mínimo de 6 barras.

La separación máxima entre las barras de la misma cara no debe ser superior a 35 cm. La separación mínima debe ser igual o mayor a 2 cm, que el diámetro de la mayor y que 6/5 del tamaño máximo del árido. Por otra parte, toda barra que diste más de 15 cm, de sus contiguas, debe arriostrarse mediante estribos, para evitar el pandeo de la misma.



$a < 35 \text{ cm.}$

Recubrimiento 1-4 cm. ,



$15 \text{ cm.} < a < 35 \text{ cm.}$

$\emptyset_{\text{barra}} < \text{recubrimiento}$

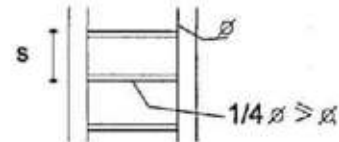


Figura 2.2

Armaduras transversales.

La misión de los estribos es evitar el pandeo de las armaduras longitudinales comprimidas, evitar la rotura por deslizamiento del hormigón y eventualmente colaborar para la resistencia de la pieza a esfuerzos cortantes.

Con objeto de evitar la rotura por deslizamiento del hormigón, la separación recomendada o aconsejable es $S \leq 30 \text{ cm}$.

$$S \leq b_e \quad S \leq 15 \varnothing \quad \varnothing \geq 6 \text{ mm.}$$

2.2.7.3 ZAPATAS.

Las cimentaciones garantizan de forma permanente, la estabilidad de la obra que soporta. Por esto deberá calcularse teniendo en cuenta, por una parte, el adecuado coeficiente de seguridad frente al hundimiento y por otra parte los asientos que pueden producirse, los cuales deben ser compatibles, con la capacidad de deformación de la estructura cimentada.

En un proyecto, las cimentaciones es un problema relativamente complejo, que debe ir precedido por un minucioso estudio de terreno.

En las zapatas de base cuadrada, las armaduras se distribuirán uniformemente en las dos direcciones paralelos a los lados de la base. Si se trata de zapatas rectangulares armadas en una sola dirección se distribuirán también uniformemente a lo largo de toda la base.

Si la base es rectangular y lleva armadura en dos direcciones, la paralela al lado mayor a' , se distribuirá uniformemente en toda la anchura b' de la base; y la paralela al lado total menor b'' se colocará de forma que una fracción de su área total necesaria (A_s) igual a $2 b''/(a'+b'')$ quede uniformemente distribuida en una banda central de anchura a_1 .

El resto de la armadura se distribuirá uniformemente en las dos bandas laterales restantes.

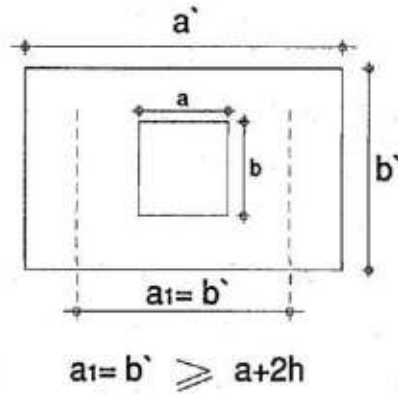


Figura 2.3

(la anchura a_1 será igual a b' , pero no menos que $a+2h$)

Siendo h = canto total del elemento de cimentación

Cuando las cargas a soportar en las zapatas sean importantes, es recomendable colocar además de las armaduras indicadas en prescripciones una armadura perimetral de tracción que zunche el perímetro de la base del tronco de cono o de pirámide de las bielas de compresión.

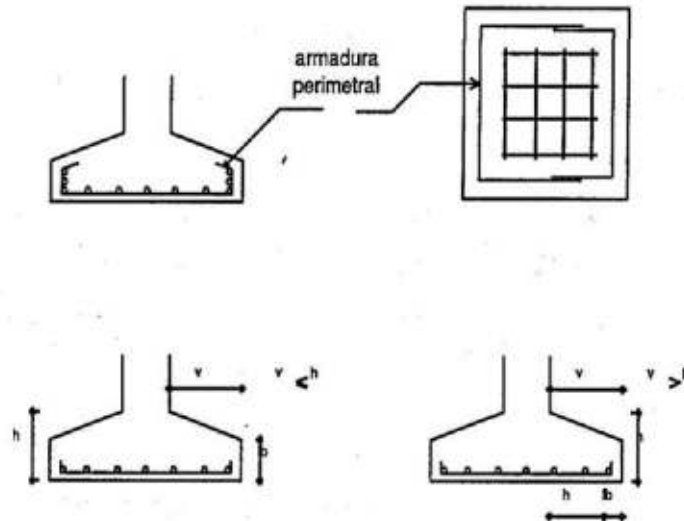


Figura 2.4

$V =$ vuelo de la zapata $\leq h$ entonces armadura inferior se prolonga hasta el borde de la zapata.

- La carga admisible sobre el terreno puede venir impuesta por la condición de que los asientos del mismo sean compatibles con la capacidad de deformación de la estructura o resultar de consideraciones puramente resistentes. En este último caso es el cociente entre la carga de rendimiento del suelo y el coeficiente de seguridad. Como coeficiente de seguridad se debe considerar tres para la combinación más desfavorable de las acciones de peso propio, sobre carga normal de uso y viento; y dos para la combinación más desfavorable de las acciones de peso propio, sobre cargas máximas, viento y sismo.
- Los asientos permisibles y previsibles, son los asientos máximos que tolera la estructura, incluyendo forjados y tabiques, sin que se produzcan lesiones, como fisuración descensos o inclinaciones, incompatibles con el servicio de la misma.
- La primera comprobación que debe efectuarse en zapatas sometidas a momento o fuerza horizontales de alguna importancia, es la seguridad al vuelco. La condición correspondiente se obtiene expresando que los momentos estabilizadores de las fuerzas exteriores, respecto a un punto extremo.
- La distribución de las tensiones del terreno sobre la base de una zapata (que interesa para comprobar que no se rebasa la tensión admisible de este y para calcular los esfuerzos en la zapata) depende fundamentalmente del tipo de suelo y de la rigidez de la zapata.

2.3 CUBIERTAS DE DOBLE CURVATURA.

ANTECEDENTES.

Ramos Rugel, Maritza. 2002. "ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LOSAS DE ENTREPISO". Tesis De Grado: Universidad De Piura.

En este trabajo se presentan las diferencias entre losas compuestas con

láminas colaborantes, las losas aligeradas en una y dos direcciones y las losas compuestas con viguetas pretensadas, determinando las luces que se pueden cubrir con estos sistemas bajo ciertas condiciones de servicio.

Se rescata de la investigación, la propuesta para reemplazar los tradicionales ladrillos de arcilla por el poliestireno, lo que disminuye el peso propio del sistema en un 40 % aproximadamente. Para luces menores a cuatro metros, recomendamos el uso de losas vaciadas in situ y losas compuestas con láminas colaborantes. La segunda, soporta mayor carga de servicio que la primera. Las losas compuestas con viguetas pretensadas permiten cubrir luces mayores de 4.0 hasta 8.0 metros, dependiendo del área del refuerzo de preesfuerzo. Para estas luces también puede ser usado el sistema de losas in situ aligeradas en dos direcciones con una losa inferior para evitar los trabajos posteriores del cielo raso.

De La Torre Manjarres, Mauro David. 2015. CÁLCULO DE CASCARONES DE MEMBRANA PARABOLOIDES HIPERBÓLICOS – TEORÍA Y DISEÑO. Tesis de Grado: Universidad Central Del Ecuador.

El uso de Paraboloides Hiperbólicos, se basa principalmente en estructuras que poseen grandes luces con un diseño estético, este tipo de estructuras son auto-soportantes, pues su diseño contempla los esfuerzos a los que es sometida la estructura, tanto para peso propio como para agentes externos. Para el diseño de estas estructuras se contempló dos métodos de cálculo, siendo el primero el tradicional, en el cual se contemplan los esfuerzos en la membrana y a partir de las fuerzas que se obtienen en los bordes y en las secciones cercanas a las columnas; se diseñó los elementos de viga que transmiten los esfuerzos, siendo este método el que se usa para todos los paraboloides, pues considera esfuerzos a compresión y flexión y los diferentes estados de carga. El otro método en cambio considera las últimas resistencias, usando valores mayorados, siendo este método de uso exclusivo de

paraboloides cuyos ejes de diseño y sus tangentes a los paraboloides son ortogonales entre sí. Este último método es por el cual se diseñó las estructuras y se creó un programa de cálculo. El programa además diseñó las demás estructuras que intervienen en el paraboloide. También el programa tiene la opción de una cimentación en forma del mismo paraboloide.

Tomás Martí y M. Solano, 2011. OPTIMIZACIÓN DE FORMA DE UN PARABOLOIDE HIPERBÓLICO DE HORMIGÓN. Tesis de Grado: Universidad Politécnica de Cartagena.

Se expone en esta comunicación, la optimización de forma de una estructura laminar de hormigón formada por la intersección de tres paraboloides hiperbólicos. Como función objetivo se emplea la energía de deformación, el peso y la tensión de tracción. Las variables son los parámetros que gobiernan la geometría de la estructura y los espesores de la lámina y los nervios. Las restricciones se refieren al espesor mínimo de la lámina, a las tensiones en el hormigón, y a diversos parámetros de control geométrico. Se concluye que, con pequeños cambios en la forma de la lámina, puede mejorarse sensiblemente su comportamiento estructural.

Rodríguez Cancela, Daniel. 2015. CUBIERTAS LAMINARES MODULARES EN PARABOLOIDE HIPERBÓLICO. Tesis de Fin de Grado. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Se reúnen en el presente escrito los resultados de la investigación sobre cubiertas laminares modulares en paraboloide hiperbólico. Proponiendo y analizando, como caso particular de estudio, piezas originales modulares formadas por paraboloides hiperbólicos, marquesinas, cobertizos y pórticos. Las estructuras en paraboloide hiperbólico poseen unas ventajas que resultan innegables cuando se utilizan como elementos modulares. Sin embargo, en cierta medida, existe un desconocimiento de los principios geométricos

determinantes del comportamiento estructural de estas superficies, lo que incide en la escasez de ejemplos existentes. El aporte fundamental de esta investigación radica en la propuesta de una pieza de cubierta en paraboloides hiperbólicos que pueda ser usada como un elemento modular, y que goce de ventajas tales como: eficiencia estructural bajo condiciones de equilibrio estable, alto valor estético o reducción de los costos y cantidades de material.

GENERALIDADES.

Una condición necesaria, aunque no siempre suficiente para que no existan flexiones, es que la superficie que constituye el cascarón sea de doble curvatura, es decir que tenga una forma geoméricamente inalterable mientras no se produzcan alargamientos o alargamientos considerables, con los materiales relativamente inextensibles que se emplean en la construcción, con el concreto armado especialmente. Tales variaciones longitudinales sólo son posibles cuando los esfuerzos de membrana (de compresión o de tracción) alcanzan valores muy grandes que sobrepasen el límite elástico del material, quiere decir que si es posible analizar los esfuerzos de membrana que se producen en una estructura de cascarón y si los esfuerzos resultantes no sobrepasan valores admisibles, no pueden aparecer flexiones que tendrían que venir acompañadas de cambios de forma o de curvatura de lámina. Por lo tanto, no es necesario recurrir a la teoría general de flexión para el estudio de la estructura.

DEFINICION DE SUPERFICIES.

Existe una gran variedad de formas de las superficies que se usan en la construcción de las cubiertas delgadas de concreto. Se habla corrientemente de superficies de doble curvatura, cascarones y membranas, en la abundante literatura existente sobre el tema. En tanto que el primer concepto hace referencia a la geometría de las superficies, el segundo nos habla de determinadas características de su materialización en concreto, mientras que el tercero habla de su comportamiento bajo la acción de cargas.

SUPERFICIE.

La superficie a considerarse es equivalente, es continua y es diferenciable al número de veces que se necesite. Se puede constituir por una o dos curvas, y a más de esto, su ecuación debe estar referida a un sistema de ejes coordenados espacial, lo que nos quiere decir que este es un sistema tridimensional: x , y , z .

Las superficies de doble curvatura, son completamente flexibles, pero inextensibles, tienen una forma inalterable bajo la acción de cargas cualesquiera.

CASCARÓN.

Es una estructura o elemento estructural generalmente de forma curva, en donde su espesor es pequeño en relación con las dimensiones de la sección transversal.

Las superficies de doble curvatura forman parte de la clasificación de tipos de cascarones.

Los cascarones son elementos estructurales o estructuras generalmente de forma curva, cuyo espesor es pequeño en comparación con las dimensiones de su sección transversal; se clasifican en:

- a) Cúpulas y paraboloides elípticos. Cascarones formados por dos familias de curvas con la misma dirección (curvatura gaussiana positiva, sin clástica).

Las cúpulas se engendran por la rotación de una línea curva cualquiera, a la que se designa como meridiano, alrededor de un eje. La línea se apoya en el eje por uno de sus extremos; si la línea se interrumpe antes de llegar al eje, entonces engendra las cúpulas con linternilla. Si la línea es recta, engendra entonces el cascarón cónico o tronco cónico.

Con este tipo de cascarón se han cubierto plantas de más de 30 m. de diámetro, el claro más grande obtenido hasta la aparición del concreto armado era el del panteón Romano (46 m.).

Los paraboloides elípticos se engendran por el desplazamiento de una parábola (generatriz) a lo largo de otra parábola (directriz).

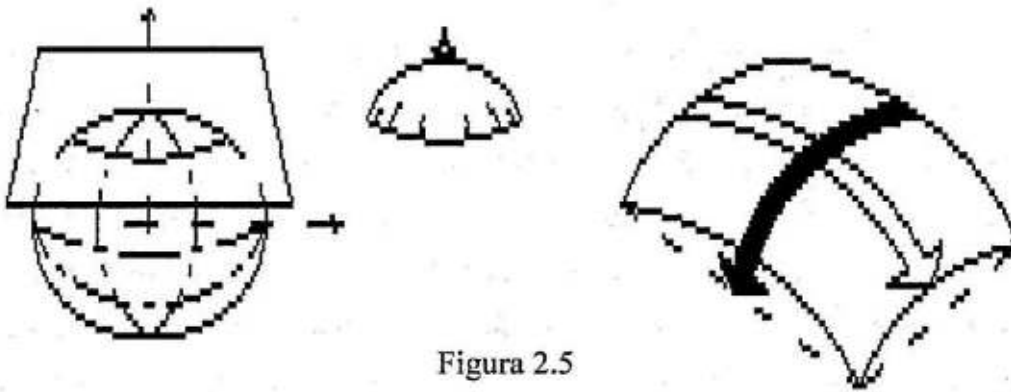


Figura 2.5

- b) Cascarones cilíndricos y cónicos. Cascarones formados por una sola familia de curvas (curvatura gaussiana nula, nula).

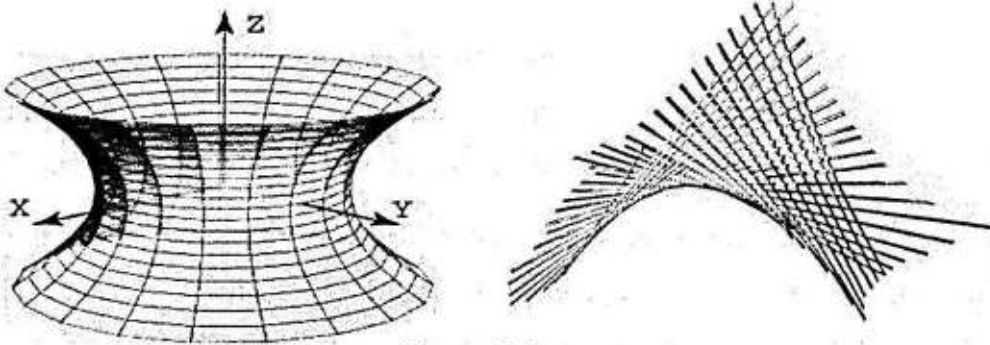


Figura 2.6

- c) Paraboloides hiperbólicos. Cascarones formados por dos familias de curvas de direcciones opuestas (curvatura gaussiana negativa, anticlástica).

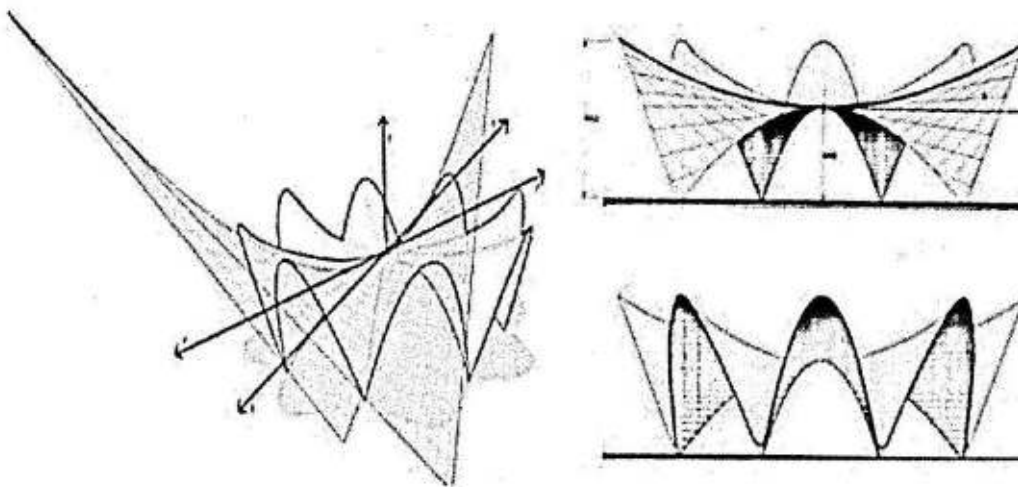


Figura 2.7

Como se puede observar en la clasificación de cascarones se tienen los diferentes tipos de cascarones de doblecurvatura como cúpulas, paraboloides elíptico y los paraboloides hiperbólicos los cuales en los últimos años se han desarrollado más, construyéndose con ellos las cubiertas en los mercados, iglesias, fabricas, talleres, bodegas y hasta cimentaciones en diferentes países del mundo. Este tipo de cascarones se han construido con claros de más de 90 m. y con espesores que varían desde 2 hasta 60 cm. Como caso especial, puede nombrarse el cascarón empleado para techar el salón de la técnica y la industria de Paris cuyo claro es de 218 m.

2.3.1 ECUACIONES DIFERENCIALES DE EQUILIBRIO.

Los cascarones de doble curvatura presentan una gran resistencia, esto se debe fundamentalmente a su característica de que para ciertas condiciones de carga, trabajan exclusivamente a esfuerzos directos de tracción y compresión.

En primer lugar, se producen a continuación las ecuaciones generales de equilibrio; tomando un elemento pequeñísimo de un cascarón cualquiera, supondremos que sólo actúan en él esfuerzos de membrana, es decir, que en ninguna parte de su sección transversal se presentan momentos flexionantes.

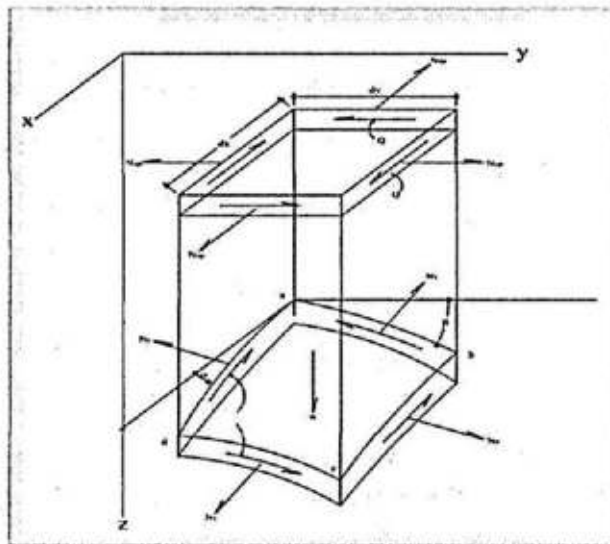


Figura 2.8

Supongamos que en el elemento de cascarón a, b, c, d, actúan las fuerzas normales N_x , N_y y las fuerzas cortantes Q_{xy} .

Con el objeto de simplificar las expresiones que se obtengan, proyectaremos en un plano horizontal tanto las fuerzas como el elemento de cascarón.

Así tendremos que:

$$dy = dp \cos \beta \quad (1)$$

$$dx = dq \cos \alpha \quad (2)$$

Ahora la componente horizontal de la fuerza N_x , que actúa en la cara ab, vale

$$N_x \cos \alpha \, dp = N_{xp} \, dy$$

Si sustituimos el valor dp de la Ec. (1), se tiene.

$$N_{xp} \, dy = N_x (\cos \alpha / \cos \beta) \, dy \quad (3)$$

Y, por lo tanto,

$$N_{xp} = N_x (\cos \alpha / \cos \beta) \quad (4)$$

En forma semejante, podemos expresar el valor de N_{yp} , quedándonos

$$N_{yp} = N_y (\cos \beta / \cos \alpha) \quad (5)$$

Ahora igualando la componente horizontal del cortante que actúa en la cara ab, con el cortante en el elemento proyectado, queda

$$Q_{xy} \, dp \cos \beta = Q \, dy$$

Sustituyendo el valor dp , nos queda

$$Q_{xy} (dy / \cos \beta) \cos \beta = Q \, dy$$

$$Q_{xy} = Q \quad (6)$$

Supongamos ahora, que en el elemento de cascarón solo actúa como carga exterior una carga vertical. Si también suponemos que las fuerzas N_x , N_y y Q_{xy} , que actúan en el elemento varían de la cara más cercana a la más alejada, podemos plantear las ecuaciones de equilibrio en las direcciones x, y, z, en la forma siguiente:

En la dirección de las x se tiene

$$\frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

En la dirección del eje de las y se obtiene

$$\frac{\partial N_{yp}}{\partial y} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (8)$$

Ahora, con respecto al eje de la z, es indispensable obtener las componentes verticales de N_x , N_y y Q_{xy} en la forma siguiente:

La componente vertical de N_x vale

$$N_x \operatorname{sen} \alpha \, dp$$

La componente vertical de N_y vale

$$N_y \operatorname{sen} \beta \, dp$$

Y la componente vertical de Q_{xy} en los dos planos vale

$$Q_{xy} \operatorname{sen} \beta \, dp; \quad Q_{xy} \operatorname{sen} \alpha \, dq$$

Si sustituimos en las expresiones anteriores dp y dq por sus valores de las Ecs. 1 y 2, tendremos:

$$N_x \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\cos \beta} \, dy$$

Ahora la Ec. 4, si sustituimos a N_x en función de N_{xp} queda

$$N_x \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\cos \beta} \, dy = N_{xp} \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\cos \beta} \, dy = N_{xp} \tan \alpha \, dy$$

Sólo que $\tan \alpha = \partial z / \partial x$; si expresamos la componente vertical por unidad de longitud nos queda.

$$N_{xp} \frac{\partial z}{\partial x} \frac{\partial y}{\partial y} = N_{xp} \frac{\partial z}{\partial x}$$

En forma semejante, la componente vertical de N_y vale por unidad de longitud,

$$N_{yp} \frac{\partial z}{\partial x}$$

En igual forma encontramos que las componentes verticales de las fuerzas cortantes por unidad de longitud valen

$$Q \frac{\partial z}{\partial y}; Q \frac{\partial z}{\partial x}$$

Ahora sumando todas las fuerzas verticales tomando en cuenta su variación en magnitud de una cara a la otra, se tiene

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(N_{xp} \frac{\partial z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_{yp} \frac{\partial z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(Q \frac{\partial z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Q \frac{\partial z}{\partial x} \right) + \omega z = 0 \quad (9)$$

Expresión en la cual ωz , es la carga por unidad de superficie de área proyectada.

Haciendo operaciones, encontramos

$$N_{xp} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + N_{yp} \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} + 2Q \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} + \frac{\partial z}{\partial x} \left(\frac{\partial N_{xp}}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right) + \frac{\partial z}{\partial y} \left(\frac{\partial N_{yp}}{\partial y} + \frac{\partial Q}{\partial x} \right) = -\omega z \quad (10)$$

Ahora bien, por las ecuaciones 7 y 8, sabemos que los términos encerrados en los paréntesis valen cero, por lo tanto, la ecuación anterior se reduce a

$$N_{xp} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + N_{yp} \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} + 2Q \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = -\omega z \quad (11)$$

Es decir, tenemos tres incógnitas y tres ecuaciones que se pueden resolver para cada caso particular de que se trate.

| | | |
|---------------|--|------|
| Sistema | $\frac{\partial N_{xp}}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0$ | |
| general de | $\frac{\partial N_{yp}}{\partial y} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$ | (12) |
| ecuaciones de | | |

$$N_{xp} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + N_{yp} \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} + 2Q \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = -\omega z$$

2.3.2 ESFUERZOS DE MEMBRANA.

Las láminas son elementos estructurales superficiales, de muy pequeño espesor en comparación con sus otras dimensiones, que se caracterizan por su comportamiento resistente tridimensional:

- Soportan esfuerzos normales N y tangenciales T , en su superficie media, en las dos direcciones ortogonales
- Soportan esfuerzos de flexión M y de torsión M' . Según la forma de la membrana, estos valores son pequeños y se pueden despreciar.
- Soportan esfuerzos de corte Q .
- Y soportan esfuerzos normales a la superficie media, que son también de cuantía nula o despreciable.

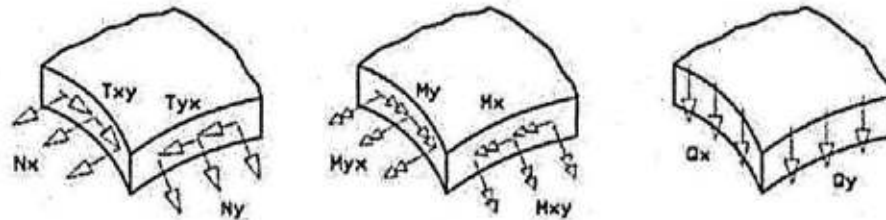


Figura 2.9

Si la lámina solo tiene esfuerzos normales y tangenciales, en su sección media, entonces la llamamos **membrana**, y a aquellos esfuerzos, **esfuerzos de membrana**. El ejemplo típico es el de un depósito de planta circular. En toda su superficie media, la membrana soporta esfuerzos de tracción (tangenciales) por la presión del líquido y esfuerzos de compresión (normales) por el peso propio.

Es decir que una lámina suele estar solicitada por combinación de esfuerzos de membrana y esfuerzos de flexión. Estos últimos se podrían minimizar al máximo, para simplificar el estudio (aplicar solo el cálculo del estado de membrana, y no el de la teoría de la flexión), si se cumplen una serie de condiciones:

- El espesor debe ser muy pequeña, para que así tenga poca rigidez transversal y por lo tanto se puedan despreciar los esfuerzos de flexión.

- La curvatura de la lámina será continua.
- Las cargas de soporte serán uniformemente repartidas.
- Las tensiones y las reacciones en el borde de la lámina serán tangenciales a la superficie media y estarán en equilibrio.
- Los apoyos del borde de la lámina serán compatibles con las deformaciones libres de la misma, para que no aparezcan esfuerzos de flexión en esas zonas.

No se debe confundir las láminas con las placas. Un ejemplo típico es el de una hoja de papel, que apoyada por un lado y colocada en voladizo no soporta ni siquiera su propio peso, por el esfuerzo a flexión. Pero si la curvamos formando un tubo, o si la plegamos varias veces, entonces podría soportar incluso un peso extremo.

Las láminas pueden ser de simple curvatura o de doble curvatura.

Los esfuerzos de membrana se transmiten a los tímpanos laterales, trabajando como una gran viga de sección semicircular apoyada en ambos extremos.

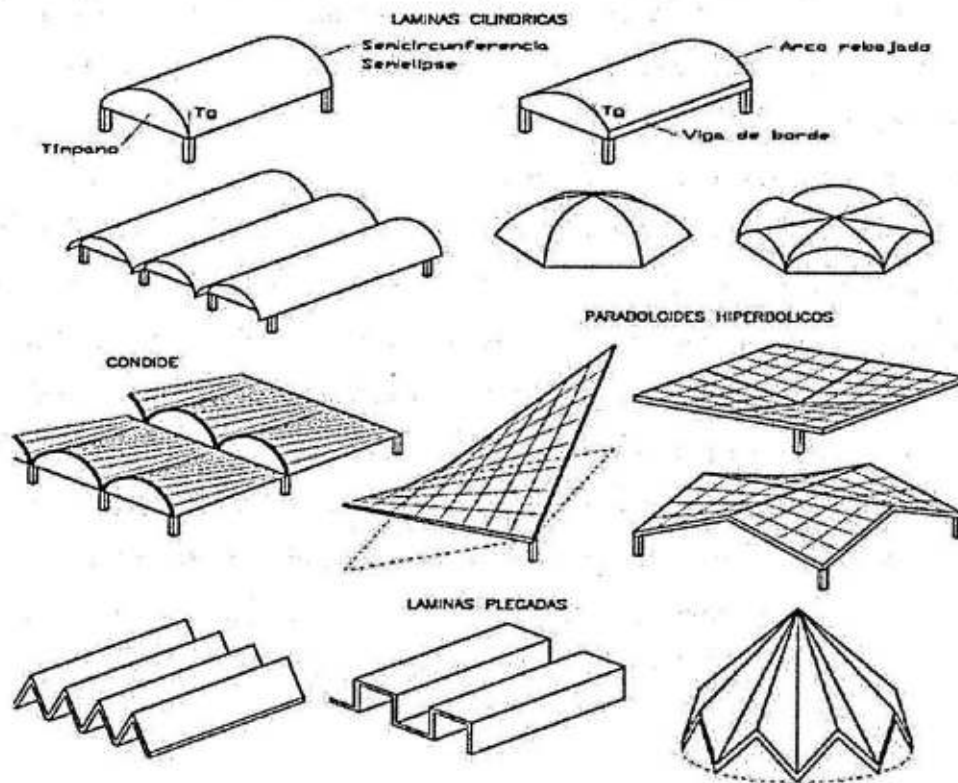


Figura 2.10

De doble curvatura tenemos el conoide y los paraboloides, en sus diversas composiciones. En hormigón armado, las superficies de generatriz recta (láminas regladas) tienen aplicación directa por su facilidad para encofrarlas mediante tablas.

Pero las formas de las láminas pueden ser innumerables, apareciendo nuevas constantemente. Todo depende de las posibilidades de su construcción y su utilidad.

Por ejemplo, una cubierta no tiene que ser siempre cóncava, podría ser convexa, como si quisiera recoger toda el agua de lluvia. En este caso, el hormigón trabajaría sólo a tracción, ya que estaría colgado de su perímetro. Si se le da doble curvatura, el conjunto puede ser suficientemente rígido.

2.3.3 EL PARABOLOIDE ELÍPTICO.

A lo largo de la historia de la Arquitectura y de la Ingeniería, podemos identificar que el hombre ha sido inspirado por la naturaleza, para crear sus más destacadas edificaciones, como es el caso de las bóvedas de cáscara, que está basada en la cubierta del huevo, el caparazón del caracol, etc. A pesar de que antes de las bóvedas de cáscara ya existían el arco, la cúpula y las semi cúpulas Asirias, no fue hasta 1920 que se construyeron los primeros cascarones de concreto armado con formas de paraboloides hiperbólicos, generados por un grupo de ingenieros visionarios, cuyo objetivo era cubrir un espacio determinado con un mínimo de material. Gaudí y Félix Candela fueron unos de los primeros arquitectos en emplear este sistema, debido a sus variadas formas de diseño, que son estructuralmente simples y ligeras. A partir de 1939 y en un periodo de 25 años se construyen en todas partes del mundo todo tipo de cascarones; cascarones de revolución, paraboloides hiperbólicos, paraboloides Elípticos, paraboloides cilíndricos y lozas plegadas. Es en México, donde se construyen un gran número y variedad de cascarones, con concretos de resistencias normales y materiales ligeros, gracias a la intervención del arquitecto Félix Candela.

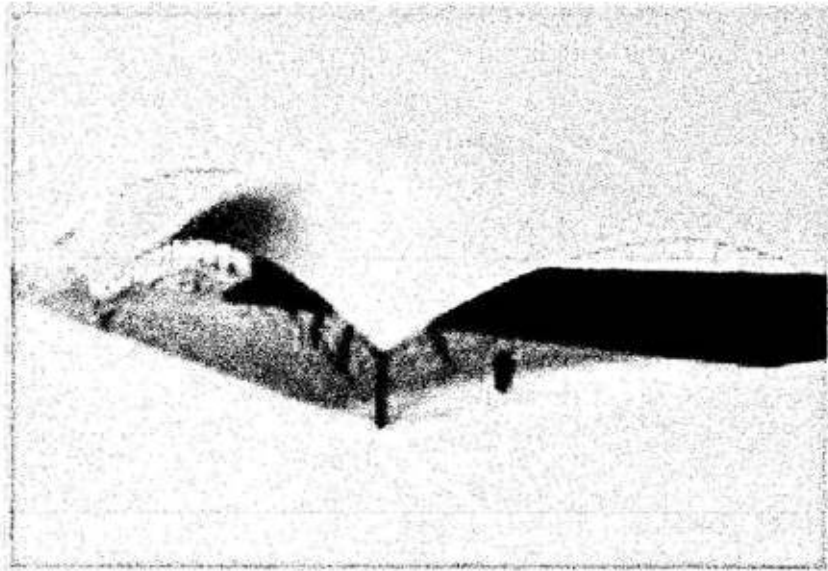


Figura 2.11

El paraboloides elíptico; es una estructura formada por dos familias de curvas en la misma dirección, cuyo espesor es pequeño en comparación con las dimensiones de su sección transversal y posee una curvatura gaussiana positiva (sin clásticas) Los paraboloides elípticos se engendran por el desplazamiento de una parábola (generatriz) a lo largo de otra parábola (directriz). Uso y función de un Paraboloides Elíptico La función de un paraboloides elíptico se define dependiendo el caso en el que se requiera.

Es la superficie que se ha creado al deslizar una parábola vertical con la concavidad hacia abajo, a lo largo de la otra, perpendicular a la primera; las secciones horizontales son elipses mientras que las verticales son parábolas.

Definición: Se denomina Paraboloides Elíptico a la superficie que en un sistema de coordenadas cartesianas se determina por la ecuación:
 $x^2/a^2 + y^2/b^2 = z$

Las secciones de la cual son parabólicas o elípticas. El caso de revolución se obtiene haciendo girar una parábola alrededor de su eje de simetría y resulta ser el lugar geométrico de los centros de las esferas que pasan por un punto y son tangentes a un plano.

El paraboloides es la figura geométrica que se forma al girar una parábola alrededor de su eje.

$$x^2/R^2 + y^2/R^2 = z/c$$

Si las secciones del paraboloides son elipses, en vez de circunferencias, el paraboloides se llama *paraboloides elíptico*.

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 = z/c$$

Si las secciones del paraboloides son hipérbolas, en vez de circunferencias, el paraboloides se llama *paraboloides hiperbólico*.

$$x^2/a^2 - y^2/b^2 = z/c$$

El volumen del paraboloides es $1/2\pi b^2 a$

2.3.3.1 ESTUDIO DEL PARABOLOIDE ELÍPTICO

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z$$

a) Estudio de la simetría

- Simetría respecto a los planos coordenados

Simetría respecto al plano xy

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2(-z)$$

Como la ecuación de la superficie se altera si cambiamos el signo de la variable z , concluimos que la superficie no es simétrica respecto al plano xy .

Simetría respecto al plano xz

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{(-y)^2}{b^2} = 2z$$

Como la ecuación de la superficie no se altera si cambiamos el signo de la variable y , concluimos que la superficie es simétrica respecto al plano xz .

Simetría respecto al plano yz

$$\frac{(-x)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z$$

Como la ecuación de la superficie no se altera si cambiamos el signo de la variable x , concluimos que la superficie es simétrica respecto al plano yz .

- Simetría respecto a los ejes coordenados

Simetría respecto al eje x

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{(-y)^2}{b^2} = 2(-z)$$

Como la ecuación de la superficie se altera si cambiamos el signo de las variables y y z , podemos concluir que la superficie no es simétrica respecto al eje x .

Simetría respecto al eje y

$$\frac{(-x)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2(-z)$$

Como la ecuación de la superficie se altera si cambiamos el signo de las variables x y z , podemos concluir que la superficie no es simétrica respecto al eje y .

Simetría respecto al eje z

$$\frac{(-x)^2}{a^2} + \frac{(-y)^2}{b^2} = 2z$$

Como la ecuación de la superficie no se altera si cambiamos el signo de las variables x e y , podemos concluir que la superficie es simétrica respecto al eje z .

- Simetría respecto al origen de coordenadas

$$\frac{(-x)^2}{a^2} + \frac{(-y)^2}{b^2} = 2(-z)$$

Como la ecuación de la superficie no se altera si cambiamos el signo de las 3 variables, podemos concluir que la superficie no es simétrica respecto al origen de coordenadas.

- b) Verificar si la superficie contiene el Origen del Sistema de Coordenadas

Reemplazando por el punto P (0, 0, 0) en la ecuación:

$$\frac{0^2}{a^2} + \frac{0^2}{b^2} = 2 \cdot 0$$

$$0 = 0$$

Se deduce que la superficie contiene al origen de coordenadas.

- c) Intersección con los ejes coordenados

- Intersección con el eje x

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z \\ y = 0 \\ z = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{x^2}{a^2} = 0 \\ y = 0 \\ z = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x^2 = 0 \\ y = 0 \\ z = 0 \end{cases}$$

O sea que: $x = y = z = 0$

P (0,0,0) (la intersección es el origen de coordenadas)

- Intersección con el eje y

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z \\ x = 0 \\ z = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{y^2}{a^2} = 0 \\ x = 0 \\ z = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y^2 = 0 \\ x = 0 \\ z = 0 \end{cases}$$

O sea que: $x = y = z = 0$

P (0,0,0) (la intersección es el origen de coordenadas)

- Intersección con el eje z

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z \\ x = 0 \\ y = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 0 = 2z \\ x = 0 \\ y = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z = 0 \\ x = 0 \\ y = 0 \end{cases}$$

O sea que: $x = y = z = 0$

P (0,0,0) (la intersección es el origen de coordenadas)

- d) Intersección con los planos coordenados

- Intersección con el plano coordenado "xy" (z=0)

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z \\ z = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 0 \\ z = 0 \end{cases}$$

En este caso, la única posibilidad en que $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2}$ es que los valores de x y los valores de y sean iguales a 0, a lo largo del eje z. por lo tanto obtenemos una recta coincidente con el eje z, que cortada con el plano $z=0$ da como intersección un punto de coordenadas P (0, 0, 0) o sea, el origen de coordenadas.

Intersección con el plano coordenado "xz" (y=0)

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z \\ z = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{x^2}{a^2} = 2z \\ y = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x^2 = 2a^2z \\ y = 0 \end{cases}$$

Obtenemos un cilindro parabólico de eje z, que abre sus ramas hacia las z positivas cortado con el plano "xz" determinan una parábola de eje z sobre el plano coordenado "xz"

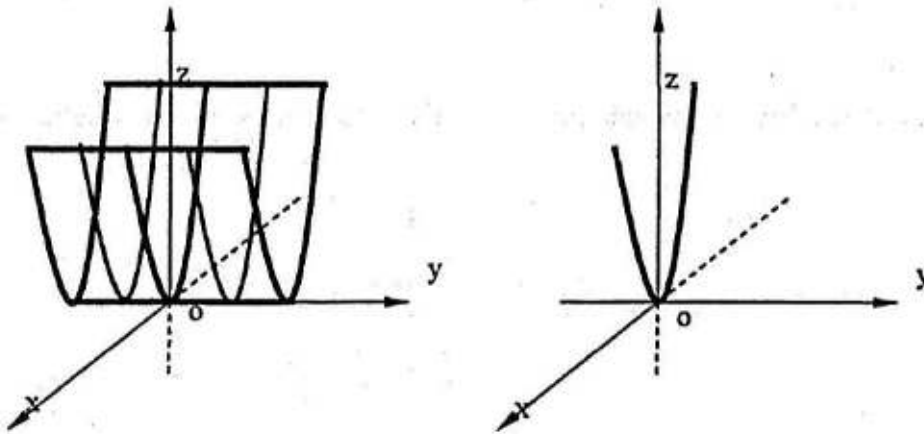


Figura 2.12

Intersección con el plano coordenado "yz" (x=0)

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z \\ x = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{y^2}{b^2} = 2z \\ x = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y^2 = 2b^2z \\ x = 0 \end{cases}$$

Obtenemos un cilindro parabólico de eje z, que abre sus ramas hacia las z positivas, cortado con el plano "yz"

Parábola de eje z sobre el plano coordenado yz (plano del dibujo)

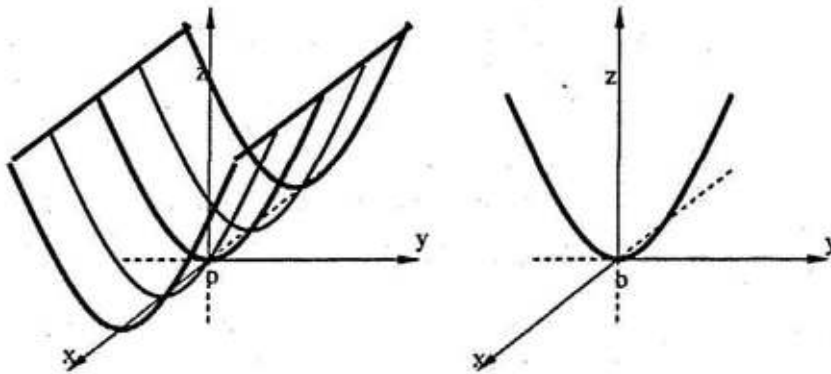


Figura 2.13

Las intersecciones obtenidas están representadas en la siguiente figura:

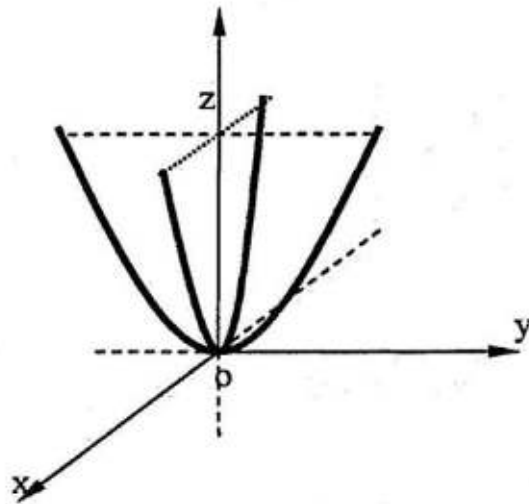


Figura 2.14

e) Intersección con planos paralelos a los planos coordenados

- Intersección con planos paralelos al plano "xy" ($z=k$)

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z \\ z = k \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2k \\ z = k \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{x^2}{2ka^2} + \frac{y^2}{2kb^2} = 1 \\ z = k \end{cases}$$

Si $k=0$

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2k \\ z = k = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 0 \\ z = k = 0 \end{cases}$$

Intersección correspondiente al plano xy

En este caso, la única posibilidad en que $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 0$ es que los valores de x y los valores de y sean iguales a cero es $\begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \end{cases}$, recta que cortada con el plano $z=k=0$ da como intersección el punto de coordenadas P (0,0,0).

Si $k < 0$

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2k \\ z = -k \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = +2k \\ z = -k \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \frac{x^2}{-2ka^2} + \frac{y^2}{-2kb^2} = 1 \\ z = -k \end{cases} \quad \text{Que para valores negativos de k no tiene solución}$$

Por lo tanto, no existe intersección entre las superficies.

Si $k > 0$

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2k \\ z = k \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{x^2}{2ka^2} + \frac{y^2}{2kb^2} = 1 \\ z = k \end{cases}$$

Obtenemos un cilindro elíptico cortado con un plano paralelo al plano coordenado xy

Para cada valor de $k > 0$, se obtiene como intersección una elipse. Los semiejes de las elipses obtenidas aumentan a medida que k aumenta.

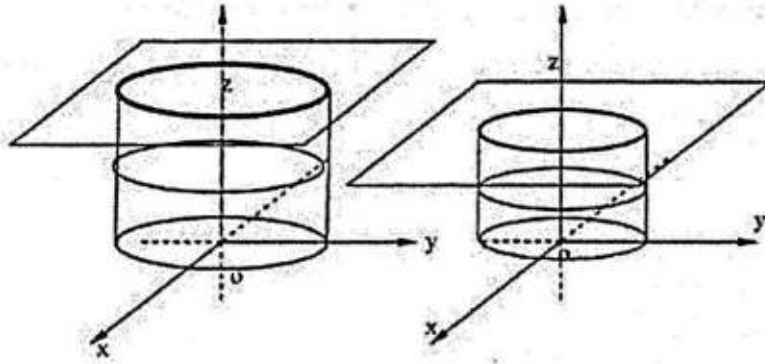


Figura 2.15

Agregando estas intersecciones a las anteriormente encontradas, obtenemos:

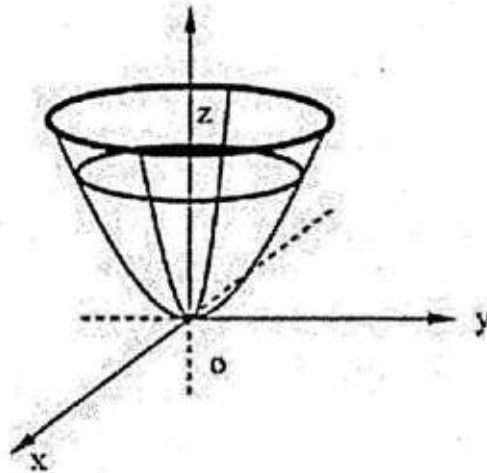


Figura 2.16

- Intersección con planos
(y=k)

paralelos al plano xz

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z \\ y = k \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} = 2z \\ y = k \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x^2 = 2a^2z - \frac{k^2a^2}{b^2} \\ y = k \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} x^2 = 2a^2\left(z - \frac{k^2a^2}{b^2}\right) \\ y = k \end{cases}$$

Obtenemos un cilindro parabólico de eje z, que abre sus ramas hacia las z positivas, cortado con un plano paralelo al plano coordenado xz.

Para cada valor de k se obtiene como intersección una parábola de eje paralelo al eje z

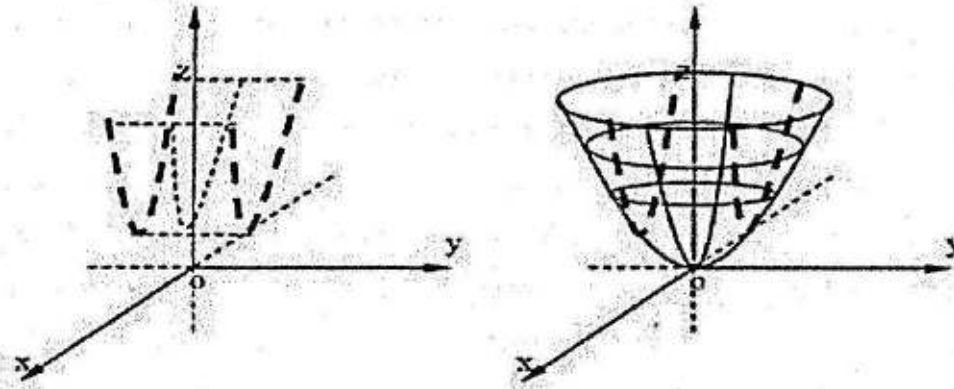


Figura 2.17

Intersección con planos paralelos al plano yz ($x=k$)

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z \\ x = k \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{k^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2z \\ x = k \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y^2 = 2b^2z - \frac{k^2b^2}{a^2} \\ x = k \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} y^2 = 2b^2\left(z - \frac{k^2}{a^2}\right) \\ x = k \end{cases}$$

Obtenemos un cilindro parabólico de eje z, que abre sus ramas hacia las z positivas, cortado con un plano paralelo al plano coordenado yz.

Para cada valor de k, independientemente de su signo, se obtiene como intersección una parábola de eje paralelo al eje z.

2.3.4 CARGAS EN LA CUBIERTA.

Como casi en todos los elementos estructurales, en los cascarones cualesquiera que sean sus tipos actúan dos tipos diferentes de cargas: Cargas muertas y cargas vivas.

- a) *Cargas muertas.* Se consideran cargas muertas todas aquellas que dependen del peso propio de la estructura o elementos que forman parte de ésta y actúan permanentemente en la misma, tales como los revestimientos, elementos impermeabilizantes, tragaluces, etc. La carga principal, en la mayoría de los casos en que los cascarones se emplean como cubierta, es el peso propio. Este dependerá del peso propio del material de que se construya la cubierta o cascaro de doble curvatura, si es de concreto preesforzado su peso volumétrico variará entre los 2100 y los 2400 kg/m³, si es de concreto ligero su peso variara entre los 900 y los 1300 kg/m³.

Impermeabilizante. El peso de este dependerá, naturalmente, del material empleado; sin embargo, puede considerarse que una carga de 5 a 10 kg/m² es suficiente.

Instalaciones. El peso de estas raras veces pasa de los 25 kg/m²

- b) *Cargas vivas.* Entre este tipo de cargas se consideran las permanente y las accidentales.

Permanentes. Si los cascarones son empleados en cubiertas, entonces las cargas pueden variar entre 50 y 100 kg/m².

Accidentales. Este tipo de cargas pueden dividirse en tres, viento, nieve y sismos.

Viento. Las cargas producidas por la presión del viento están especificadas en casi todos los reglamentos constructivos de los diferentes países; sin embargo, a continuación, y como una orientación para diseñador de cascarones, se presentan indicaciones del Reglamento Holandés.

La presión p sobre una superficie cualquiera se calculara con la formula siguiente:

$$p = Kp_o$$

Expresión en la que p_o , es la presión básica del viento calculada en función de la velocidad con la expresión siguiente:

$$p_o = \frac{v^2}{16}$$

v = velocidad del viento en m/seg.

Los valores de K se calculan de acuerdo con el ángulo que la superficie expuesta forma con la horizontal, de acuerdo con las formulas siguientes:

$$K = 0,90 \text{ cuando } \alpha \leq 65^\circ$$

$$K = 0.02 \alpha - 0,4 \text{ cuando } 0^\circ \leq \alpha \leq 65^\circ$$

$$K = -0,4 \text{ cuando } \alpha < 0^\circ$$

Carga debido al peso de la nieve. Según las especificaciones danesas, la carga producida por el peso de la nieve está dada por metro cuadrado de proyección horizontal de techo o cubierta.

Si se emplea el área de la superficie curva, entonces la carga por metro cuadrado se calcula con las formulas siguientes:

$$\text{Para } \alpha < 22^\circ; p = 75 \cos \alpha$$

$$\text{Para } \alpha < 22^\circ; p = 100 \cos \alpha - 62,5 \sin \alpha$$

Donde α es la inclinación de la superficie.

Para los cascarones paralelos, los valles entre ellos deben considerarse a medio llenar con nieve cuyo peso volumétrico debe considerarse de 150 kg/m².

Para cascarones de longitud común, la carga adicional en un valle puede suponerse concentrada en la viga de borde.

Así, la carga de nieve en las vigas de borde puede ser aproximadamente en todo el cascarón se considera una carga uniformemente repartida de 65 kg/m².

La carga que se deberá considera debido a que actúa en este tipo de estructuras, serán las siguientes:

1. Peso Propio.
2. Sobrecarga vertical.
3. Carga por sismo.
4. Carga por viento.

Al utilizar estas cargas se deberá analizar los esfuerzos en el paraboloides elíptico, además de las siguientes combinaciones de carga.

Las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas, de acuerdo a las siguientes combinaciones:

1. $1.4 D$
2. $1.2 D + 1.6 L + 0.5 (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$
3. $1.2 D + 1.6 (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (L \text{ ó } 0.5W)$
4. $1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$
5. $1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S$
6. $0.9 D + 1.0 W$
7. $0.9 D + 1.0 E$

D= carga permanente

E= carga de sismo

L= sobrecarga (carga viva)

L_r= sobrecarga cubierta (carga viva)

R= carga de lluvia

S= carga de granizo

W= carga de viento

Cuando sea apropiado, se deberá investigar cada estado límite de resistencia. Los efectos más desfavorables, tanto de viento como de sismo, no necesitan ser considerados simultáneamente.

Cuando ya se realizaron estas combinaciones con las acciones primarias que se consideran que pueden actuar en el paraboloide hiperbólico, se obtiene Los estados de tensiones N_x , N_y , N_{xy} .

Y a partir de estos datos obtenemos las tensiones principales - N_I , N_{II} - para la hipótesis de carga.

2.3.5 ANÁLISIS DE ESFUERZOS.

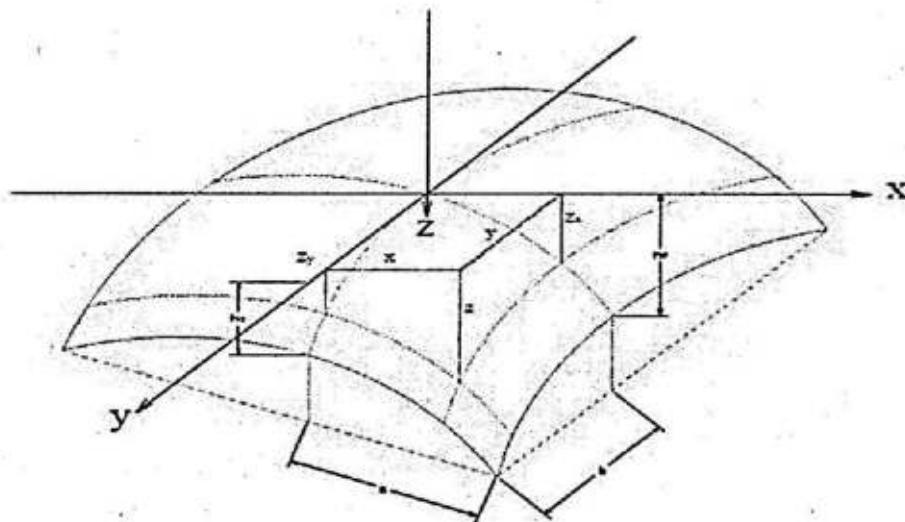


Figura 2.18

En la figura se muestra dicho paraboloide, el cual se engendra por el movimiento de dos parábolas, las cuales se desplazan en las direcciones X y Y, una a lo largo de la otra. Dichas parábolas están en planos perpendiculares entre sí, en nuestro caso en los planos YZ y XZ.

Cualquier punto de la parábola colocada en un plano YZ, tiene como coordenadas Y y Z_y , estando expresado su valor como sigue:

$$Z_y = \frac{h_y y^2}{b^2}$$

En forma semejante, los puntos de la parábola en el plano XZ tienen como coordenadas X y Zx; siendo

$$Z_x = \frac{h_x x^2}{a^2}$$

Así un punto cualquiera del cascaron tendrá como coordenadas X, Y y Z, solo que Z vale

$$Z = \frac{h_y y^2}{b^2} + \frac{h_x x^2}{a^2}$$

Ahora, si en las ecuaciones diferenciales de equilibrio deducidas anteriormente y que dicen

$$\frac{N_{xp}}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0$$

$$\frac{N_{yp}}{\partial y} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$N_{xp} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + N_{yp} \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} + 2Q \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = -\omega z$$

Si se introduce la función F de tal modo que

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = N_{yp}; \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = N_{xp}; \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = Q$$

Entonces la tercera de nuestras ecuaciones queda

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = N_{yp}; \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = N_{xp}; \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = Q$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} + \frac{2 \partial^2 F}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = -\omega z$$

Si en la expresión anterior se sustituye el valor de Z, se tendrá

$$\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} + \frac{h_y a^2}{h_x b^2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = -\frac{a^2}{2h_x} \omega z$$

Ya que

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = \frac{2h_x}{a^2}; \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = \frac{2h_y}{b^2}$$

Y

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = 0$$

El valor de F que satisface la ecuación anterior es

$$F = -\sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} A_n \cos \beta x - \cos \lambda y - \frac{a^2 y^2 \omega z}{4h_x}$$

Siendo

$$\beta = \sqrt{\frac{h_x}{h_y}} \cdot \frac{n\pi}{2a}; \lambda = \frac{n\pi}{2b}$$

Si se sustituye F en las ecuaciones de esfuerzo se obtiene.

$$N_{xp} = \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} A_n \lambda^2 \cosh \beta x \cos \lambda y - \frac{a^2 \omega}{2h_x}$$

$$N_{yp} = -\sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} A_n \beta^2 \cosh \beta x \cos \lambda y$$

$$Q = -\sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} A_n \beta \lambda \sinh \beta x \sin \lambda y$$

Si

$$A_n = \frac{2a^2(-1)^{\frac{n-1}{2}}}{n\pi h_x \lambda^2 \cosh \beta a}$$

$$N_{xp} = \frac{a^2 \omega}{h_x} \left(2 \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{n-1}{2}} \cosh \beta x \cos \lambda y}{n \cosh \beta a} - \frac{1}{2} \right)$$

$$N_{yp} = -\frac{b^2 \omega}{h_y} \left(2 \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{n-1}{2}} \cosh \beta x}{n \cosh \beta a} \cos \lambda y \right)$$

$$Q = -\frac{\omega ab}{\sqrt{h_x h_y}} \left(2 \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{n-1}{2}} \sinh \beta x}{n \cosh \beta a} \sin \lambda y \right)$$

Las ecuaciones anteriores se pueden expresar en la formula siguiente:

$$N_{yp} = -\frac{\omega b^2}{k h_y} \text{coef.}$$

$$N_{xp} = -\frac{\omega a^2 k}{h_x} \text{coef.}$$

$$Q = -\frac{\omega ab}{\sqrt{h_x h_y}} \text{coef.}$$

$$k = \sqrt{\frac{1 + (2h_x/a)(x/a)^2}{1 + (2h_y/b)(y/b)^2}}$$

En las tablas se presentan los coeficientes para el cálculo de esfuerzos.

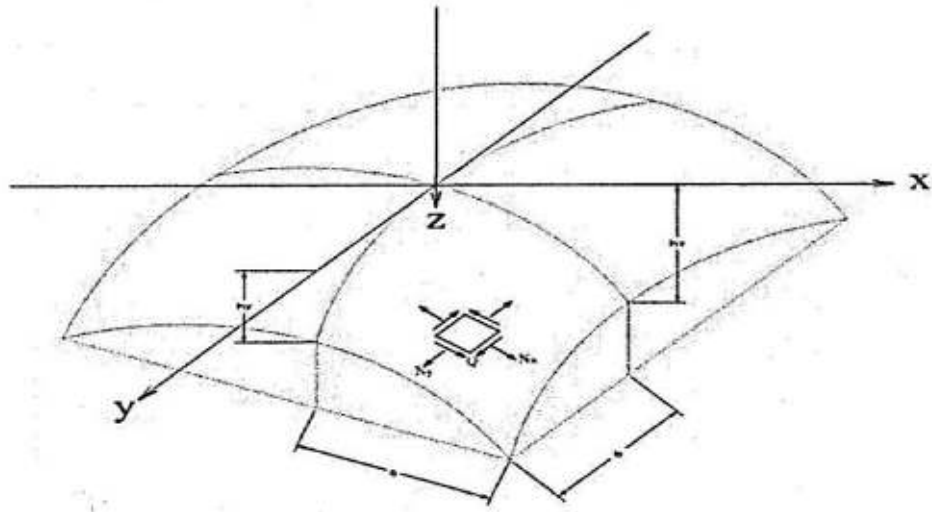


Figura 2.19

TABLA 2.1.
COEFICIENTES PARA EL CÁLCULO DE ESFUERZOS

N_y, N_x y Q

$h_x/h_y=1,0$

| | | y/b | | | | | |
|-------|----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1 | |
| x/a | 0 | N _y | 0,25 | 0,233 | 0,182 | 0,101 | 0 |
| | | N _x | 0,25 | 0,267 | 0,318 | 0,399 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0,25 | N _y | 0,267 | 0,25 | 0,199 | 0,111 | 0 |
| | | N _x | 0,233 | 0,25 | 0,301 | 0,389 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0,029 | 0,068 | 0,096 | 0,108 |
| | 0,5 | N _y | 0,318 | 0,301 | 0,25 | 0,15 | 0 |
| | | N _x | 0,182 | 0,199 | 0,25 | 0,35 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0,068 | 0,14 | 0,21 | 0,244 |
| | 0,75 | N _y | 0,399 | 0,389 | 0,35 | 0,25 | 0 |
| | | N _x | 0,101 | 0,111 | 0,15 | 0,25 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0,096 | 0,21 | 0,356 | 0,465 |
| 1 | N _y | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0 | |
| | N _x | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Q | 0 | 0,108 | 0,243 | 0,465 | 0 | |

TABLA 2.2.

$h_x/h_y=0,8$

| | | y/b | | | | | |
|-----|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1 | |
| x/a | 0 | Ny | 0,289 | 0,27 | 0,213 | 0,119 | 0 |
| | | Nx | 0,211 | 0,23 | 0,287 | 0,381 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0,25 | Ny | 0,304 | 0,285 | 0,228 | 0,13 | 0 |
| | | Nx | 0,195 | 0,215 | 0,272 | 0,37 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0,034 | 0,069 | 0,1 | 0,114 |
| | 0,5 | Ny | 0,347 | 0,331 | 0,277 | 0,169 | 0 |
| | | Nx | 0,153 | 0,169 | 0,223 | 0,331 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0,065 | 0,139 | 0,215 | 0,225 |
| | 0,75 | Ny | 0,416 | 0,406 | 0,369 | 0,27 | 0 |
| | | Nx | 0,084 | 0,094 | 0,131 | 0,23 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0,091 | 0,201 | 0,353 | 0,465 |
| 1 | Ny | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0 | |
| | Nx | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Q | 0 | 0,101 | 0,229 | 0,443 | 0 | |

TABLA 2.3.

$h_x/h_y=0,6$

| | | y/b | | | | | |
|-----|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1 | |
| x/a | 0 | Ny | 0,336 | 0,316 | 0,252 | 0,143 | 0 |
| | | Nx | 0,164 | 0,184 | 0,248 | 0,357 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0,25 | Ny | 0,348 | 0,329 | 0,267 | 0,155 | 0 |
| | | Nx | 0,152 | 0,171 | 0,233 | 0,345 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0,031 | 0,067 | 0,103 | 0,12 |
| | 0,5 | Ny | 0,383 | 0,367 | 0,312 | 0,197 | 0 |
| | | Nx | 0,117 | 0,133 | 0,188 | 0,304 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0,06 | 0,132 | 0,216 | 0,265 |
| | 0,75 | Ny | 0,436 | 0,426 | 0,392 | 0,296 | 0 |
| | | Nx | 0,064 | 0,074 | 0,108 | 0,204 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0,081 | 0,185 | 0,342 | 0,494 |
| | 1 | Ny | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0 |
| | | Nx | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Q | 0 | 0,089 | 0,208 | 0,413 | 0 |

TABLA 2.4.

$h_x/h_y=0,4$

| | | y/b | | | | | |
|-----|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1 | |
| x/a | 0 | Ny | 0,395 | 0,374 | 0,307 | 0,18 | 0 |
| | | Nx | 0,105 | 0,126 | 0,193 | 0,32 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0,25 | Ny | 0,403 | 0,383 | 0,319 | 0,192 | 0 |
| | | Nx | 0,097 | 0,117 | 0,181 | 0,308 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0,026 | 0,06 | 0,101 | 0,12 |
| | 0,5 | Ny | 0,425 | 0,41 | 0,357 | 0,235 | 0 |
| | | Nx | 0,075 | 0,09 | 0,143 | 0,265 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0,049 | 0,115 | 0,208 | 0,265 |
| | 0,75 | Ny | 0,459 | 0,451 | 0,419 | 0,331 | 0 |
| | | Nx | 0,041 | 0,049 | 0,081 | 0,169 | 0,5 |
| | | Q | 0 | 0,065 | 0,156 | 0,316 | 0,494 |
| | 1 | Ny | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0 |
| | | Nx | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Q | 0 | 0,07 | 0,173 | 0,363 | 0 |

TABLA 2.5.

$h_x/h_y=0,2$

| | | | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1 |
|------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | x/a | 0 | Ny | 0,462 | 0,446 | 0,388 |
| Nx | 0,038 | | | 0,054 | 0,112 | 0,252 | 0,5 |
| Q | 0 | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | Ny | | 0,465 | 0,451 | 0,396 | 0,261 | 0 |
| | Nx | | 0,035 | 0,049 | 0,104 | 0,239 | 0,5 |
| | Q | | 0 | 0,014 | 0,04 | 0,088 | 0,128 |
| 0,5 | Ny | | 0,473 | 0,462 | 0,414 | 0,303 | 0 |
| | Nx | | 0,027 | 0,038 | 0,086 | 0,197 | 0,5 |
| | Q | | 0 | 0,027 | 0,074 | 0,174 | 0,28 |
| 0,75 | Ny | | 0,485 | 0,48 | 0,456 | 0,383 | 0 |
| | Nx | | 0,015 | 0,02 | 0,044 | 0,117 | 0,5 |
| | Q | | 0 | 0,034 | 0,098 | 0,246 | 0,51 |
| 1 | Ny | | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0 |
| | Nx | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Q | | 0 | 0,038 | 0,108 | 0,262 | 0 |

TABLA 2.6.
COEFICIENTES PARA EL CALCULO DE ESFUERZOS CORTANTES EN LOS BORDES

| y/b | hx/hy | | | | | |
|------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 0,8 | 0,6 | 0,4 | 0,2 |
| | x = +- a | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,1 | 0,0419 | 0,0389 | 0,0342 | 0,0307 | 0,0137 | 0,0137 |
| 0,2 | 0,0854 | 0,0793 | 0,0701 | 0,055 | 0,0286 | 0,0286 |
| 0,3 | 0,1319 | 0,1231 | 0,1096 | 0,0872 | 0,0481 | 0,0481 |
| 0,4 | 0,1836 | 0,1721 | 0,1546 | 0,1254 | 0,0731 | 0,0731 |
| 0,5 | 0,2432 | 0,2294 | 0,2081 | 0,1728 | 0,1075 | 0,1075 |
| 0,6 | 0,3204 | 0,3166 | 0,2859 | 0,2493 | 0,1818 | 0,1818 |
| 0,7 | 0,4071 | 0,3897 | 0,3627 | 0,3173 | 0,2296 | 0,2296 |
| 0,8 | 0,5363 | 0,5178 | 0,4887 | 0,44 | 0,3443 | 0,3443 |
| 0,85 | 0,6279 | 0,609 | 0,5791 | 0,5292 | 0,4306 | 0,4306 |
| 0,9 | 0,757 | 0,7378 | 0,7074 | 0,6667 | 0,5659 | 0,5659 |
| 0,95 | 0,9777 | 0,9582 | 0,9276 | 0,8763 | 0,7741 | 0,7741 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

TABLA 2.7.
COEFICIENTES PARA EL CALCULO DE ESFUERZOS CORTANTES EN LOS BORDES

| x/a | hx/hy | | | | | |
|------|-----------|--------|--------|--------|--------|-----|
| | | 1 | 0,8 | 0,6 | 0,4 | 0,2 |
| | Y = + - b | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,1 | 0,0419 | 0,0444 | 0,0468 | 0,0488 | 0,0500 | |
| 0,2 | 0,0854 | 0,9030 | 0,0950 | 0,0990 | 0,1014 | |
| 0,3 | 0,1319 | 0,1391 | 0,1460 | 0,1519 | 0,1553 | |
| 0,4 | 0,1836 | 0,1930 | 0,2019 | 0,2095 | 0,2140 | |
| 0,5 | 0,2432 | 0,2545 | 0,2652 | 0,2743 | y/b | |
| 0,6 | 0,3204 | 0,3317 | 0,3425 | 0,3516 | 0,3571 | |
| 0,7 | 0,4071 | 0,4213 | 0,4325 | 0,4463 | 0,4532 | |
| 0,8 | 0,5363 | 0,5515 | 0,5659 | 0,5782 | 0,5855 | |
| 0,85 | 0,6279 | 0,6434 | 0,6582 | 0,6707 | 0,6782 | |
| 0,9 | 0,7570 | 0,7728 | 0,7878 | 0,8005 | 0,8081 | |
| 0,95 | 0,9770 | 0,9935 | 1,0087 | 1,0215 | 1,029 | |
| 1,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

CAPITULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1 Dimensionamiento de la cubierta.

Se tiene que implantar el proyecto, a requerimiento de las necesidades presentadas por la unidad educativa donde se encuentra ubicada, y es en la zona el parque de la ciudad de Villazón del departamento de Potosí. Donde se tiene una superficie determinada para dicho cometido por lo que esta superficie define el área del presente proyecto.

Vista satelital actual del lugar a proyectar.

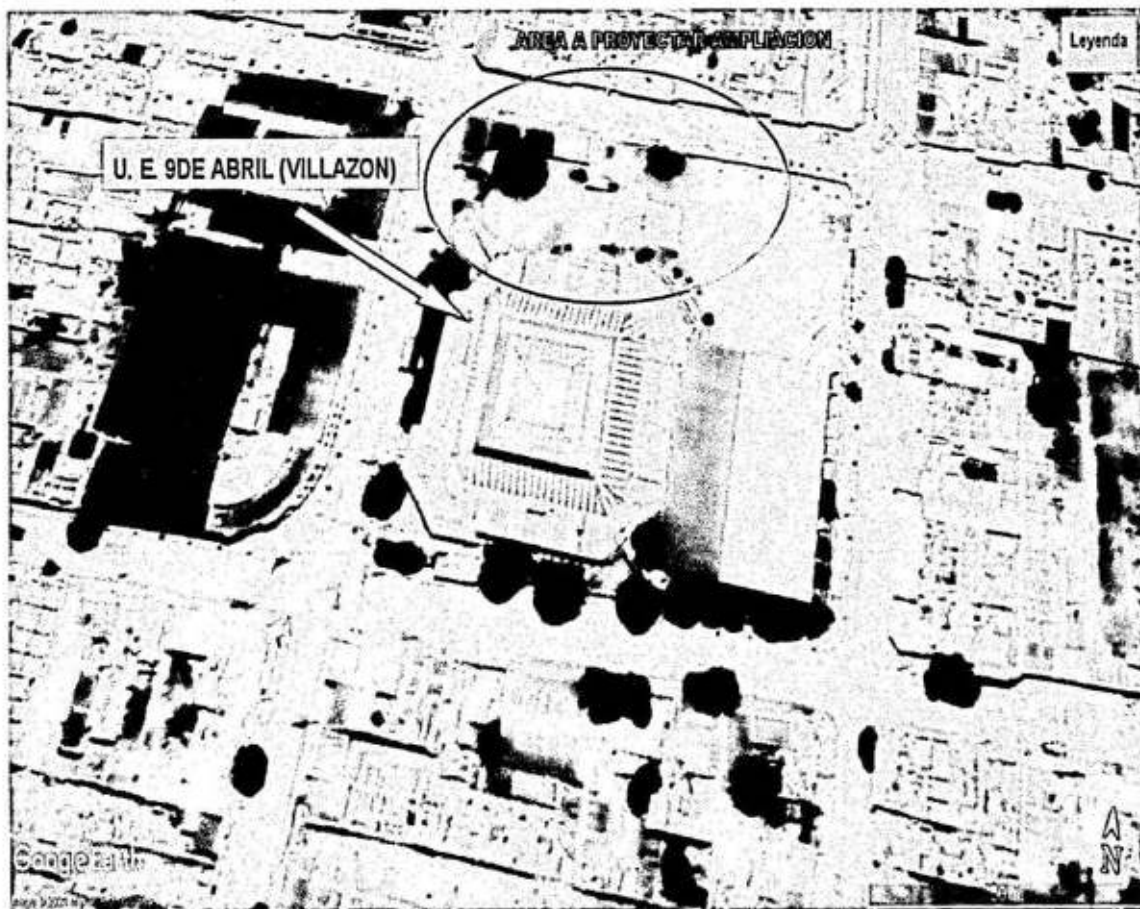


Figura 3.1

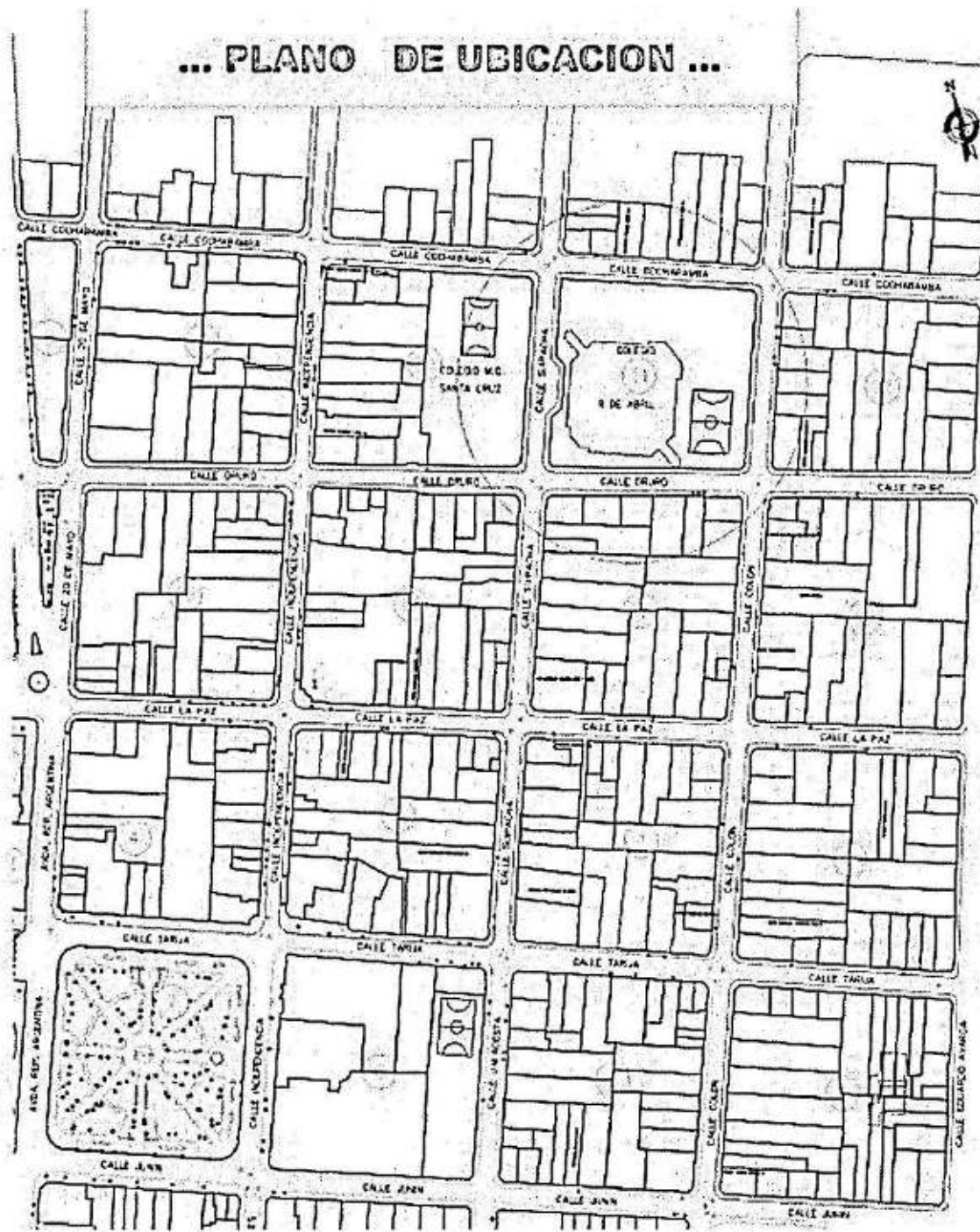


Figura 3.2

AREAS DESTINADAS PARA EL PROYECTO

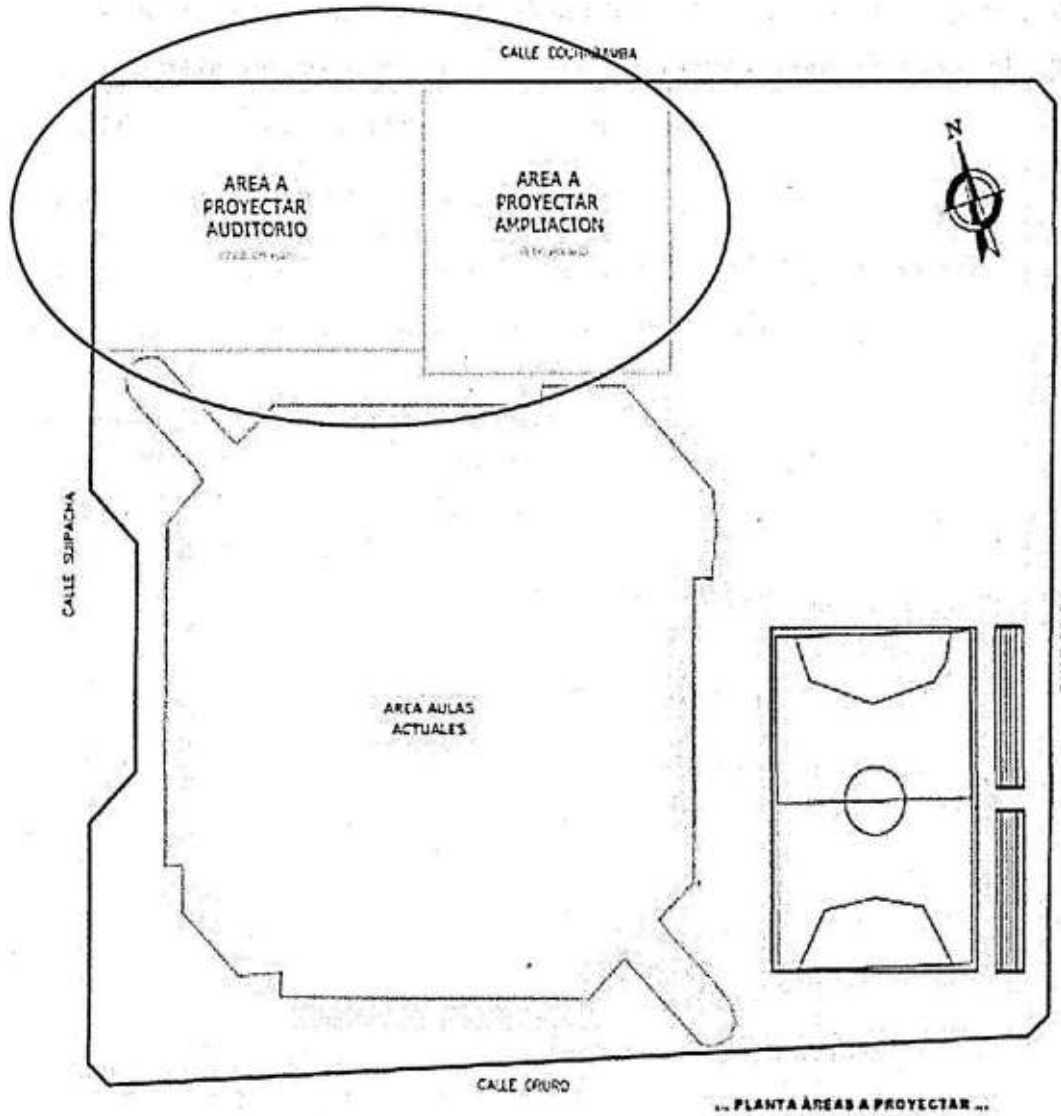


Figura 3.3

Por lo que se tiene una superficie rectangular de $748,96 \text{ m}^2$ para el auditorio y $610,86 \text{ m}^2$ para la ampliación de aulas. Lo cual viene a definir las dimensiones a emplazar el proyecto, tomando en cuenta las dimensiones que se tiene y que no se puede modificar por ser un espacio que se tiene con limitación de otra construcción cercana se llega a obtener las dimensiones definidas.

Para definir el espesor se tiene como espesores mínimos según la experiencia y el estudio realizado en un gran número de construcciones de cascarones cilíndricos de concreto armado y pre esforzado, ha demostrado la ventaja de no emplear espesores menores a 6 cm. En cascarones de doble curvatura no menores de 4 cm. en Europa se acostumbran espesores no menores de 6,5 cm a 8 cm.

Se tiene las dimensiones siguientes:

Para la cubierta de doble curvatura se tiene lado B y lado L y para el diseño se tiene a que es $L/2$ y b es $B/2$ las medidas se tiene a continuación.

$$B = 32,70 \text{ m.}$$

$$L = 22,59 \text{ m.}$$

$$a = 11,30 \text{ m.}$$

$$b = 16,35 \text{ m.}$$

$$\text{Espesor del cascarón} = 6 \text{ cm.}$$

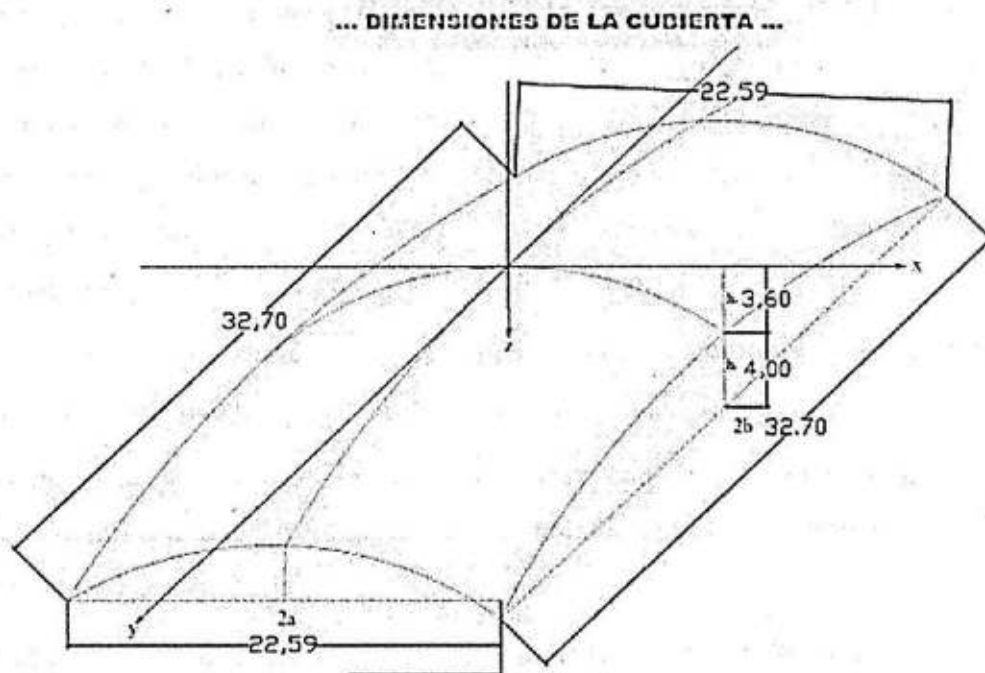


Figura 3.4

El material a emplearse, Hormigón Armado con una malla de acero corrugado en la superficie media con el único fin de controlar la figuración debida a la retracción, por lo que no se considera en los cálculos.

Durante los primeros años de la construcción de cascarones, se siguió la costumbre de emplear concretos con resistencias de más de 250 kg/cm² a la ruptura. Al pasar los años se vio que la calidad de estos concretos no se justificaba, puesto que en la mayoría de los casos los esfuerzos de trabajo no pasaban de 30 kg/cm² en cascarones cilíndricos y de 10 kg/cm² en los de revolución y de doble curvatura. En la actualidad para longitudes normales se están empleando concretos de resistencias que no superan a los 210 kg/cm² la ruptura.

3.2 Cálculo de cargas en la cubierta.

Para el diseño del paraboloides elíptico se procedió a utilizar como base las características y comportamiento estudiado por el libro ANÁLISIS CÁLCULO Y DISEÑO DE LAS BÓVEDAS DE CÁSCARA. Se debe tomar en cuenta que las cargas que actúan en este tipo de estructuras serán: Las cargas muertas que son el peso propio y el peso debido a la impermeabilización. Las cargas vivas que se tienen las permanentes y las accidentales. Al utilizar estas cargas se deberá realizar el análisis de los esfuerzos en el paraboloides elíptico.

El peso del paraboloides elíptico será considerado como la carga uniformemente repartida que encontramos sobre la superficie.

Cuando ya se realizan las combinaciones con las acciones primarias que se consideran que pueden actuar en el paraboloides elíptico, se obtiene Los estados de tensiones N_x , N_y , N_{xy} .

Se trata de cubrir una superficie rectangular de 32,70 x 22,79 m en este caso con un cascarón en forma de paraboloides elíptico. Las dimensiones de éste se indican a continuación.

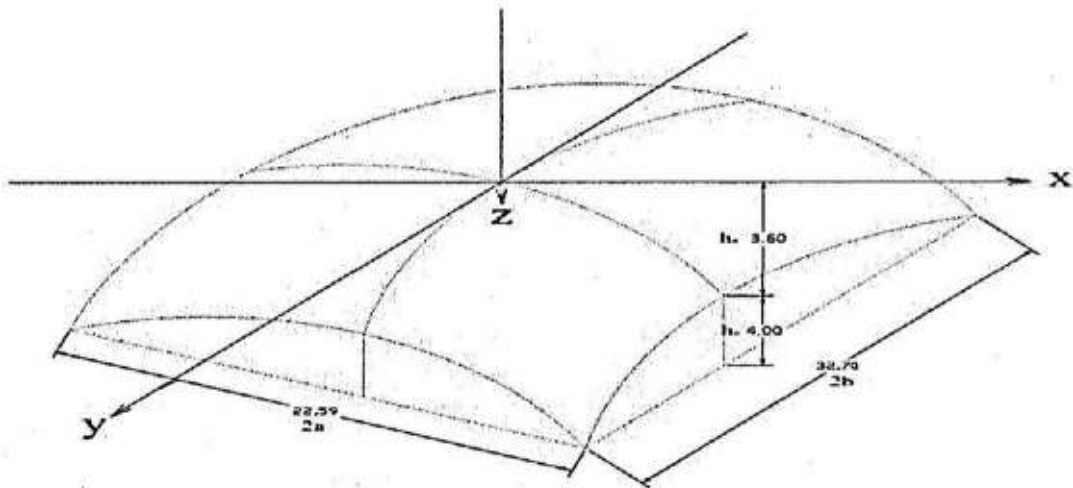


Figura 3.5

Por lo que se tienen las dimensiones:

$$B = 32,70 \text{ m.}$$

$$L = 22,59 \text{ m.}$$

$$a = 11,30 \text{ m.}$$

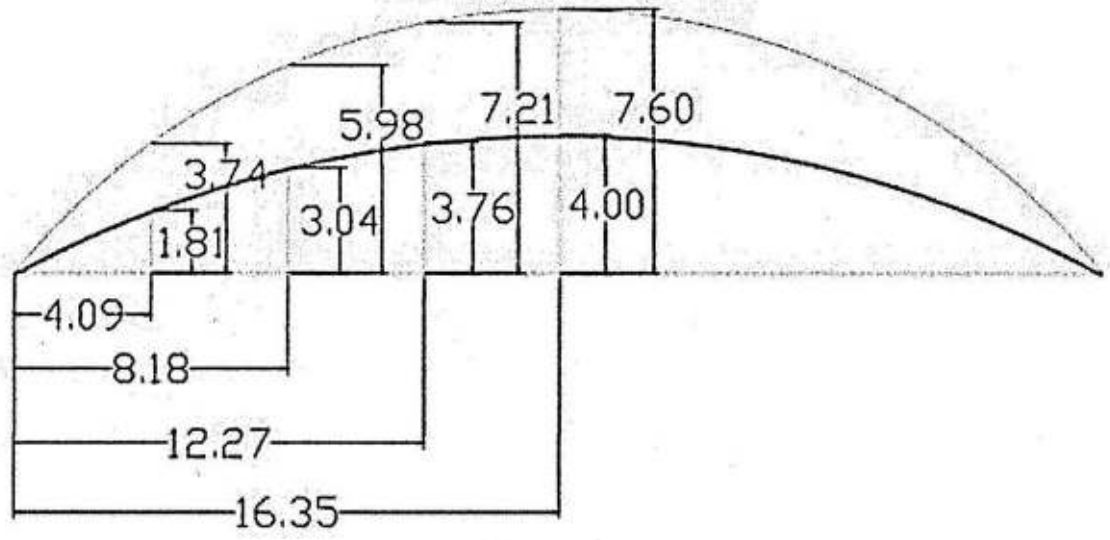
$$b = 16,35 \text{ m.}$$

$$\text{Espesor del cascarón} = 6 \text{ cm.}$$

Cargas:

| | | |
|---------|--------------------|---|
| Muertas | Peso propio | $0,06 * 2400 = 144 \text{ kg/m}^2$ |
| | Impermeabilización | <u>$= 26 \text{ kg/m}^2$</u> |
| | | 170 kg/m^2 |
| Vivas | Permanentes | $= 30 \text{ kg/m}^2$ |
| | Accidentales | <u>$= 50 \text{ kg/m}^2$</u> |
| | Total | $= 80 \text{ kg/m}^2$ |
| | Carga Total | 250 kg/m^2 |

...ALTURAS LADO b ...



...ALTURAS LADO a ...

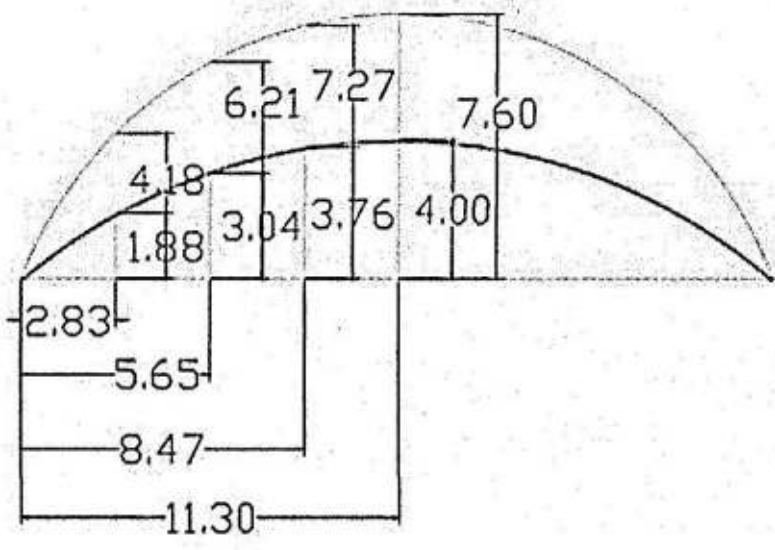


Figura 3.6

... LADOS Y ALTURA DE LA CUBIERTA ...

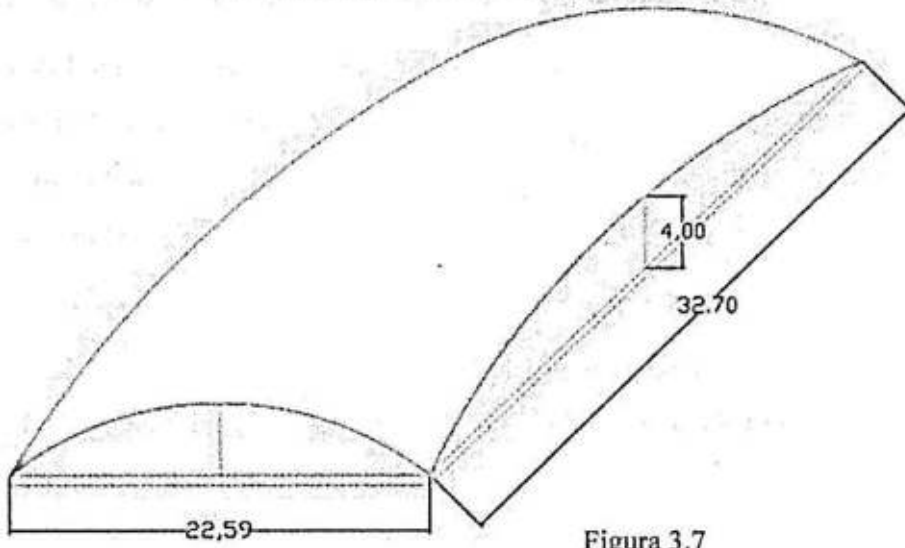


Figura 3.7

CUBIERTA

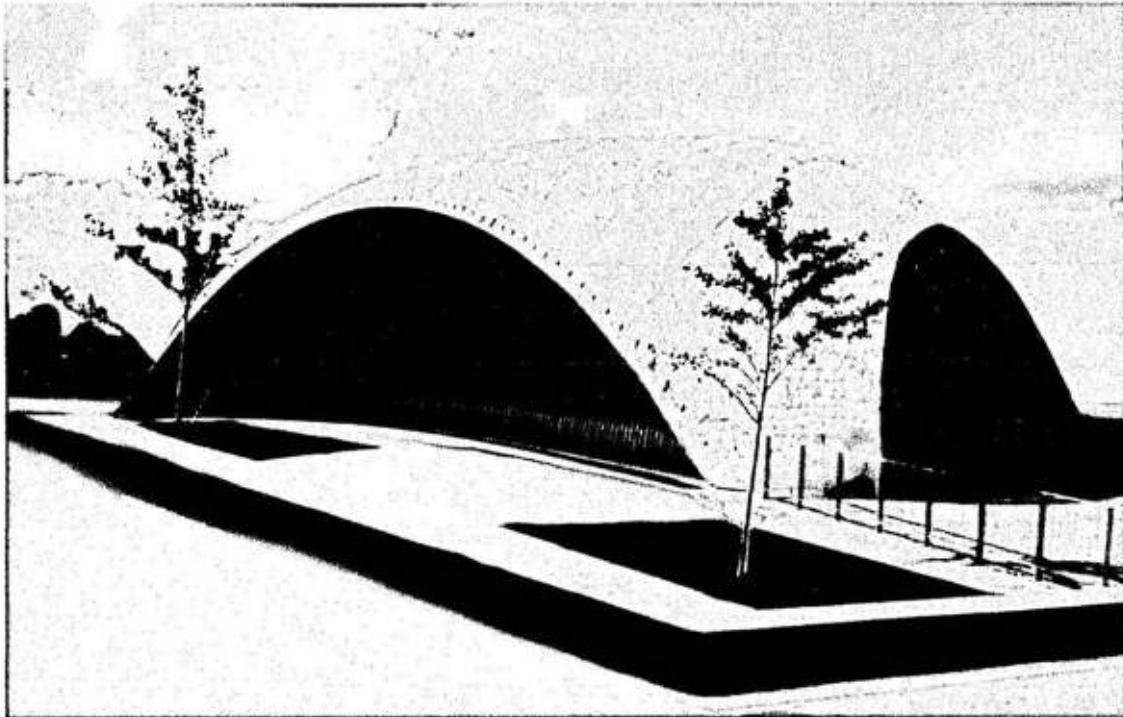


Figura 3.7.1

3.3 Determinación de esfuerzos en el paraboloide elíptico.

Ahora bien como se piensa en la conveniencia de pre esforzar los tensores que deben colocarse en los apoyos A, B, C y D y el pre esforzado se realizara con la carga muerta únicamente entonces se analizará el cascarón con la carga de 250 kg/m^2 y después para la carga muerta 170 kg/m^2 se hará proporcional.

Cálculo

- 1) En primer lugar, se calcularán los esfuerzos normales y cortantes en los diferentes puntos del cascarón indicados en el dibujo.

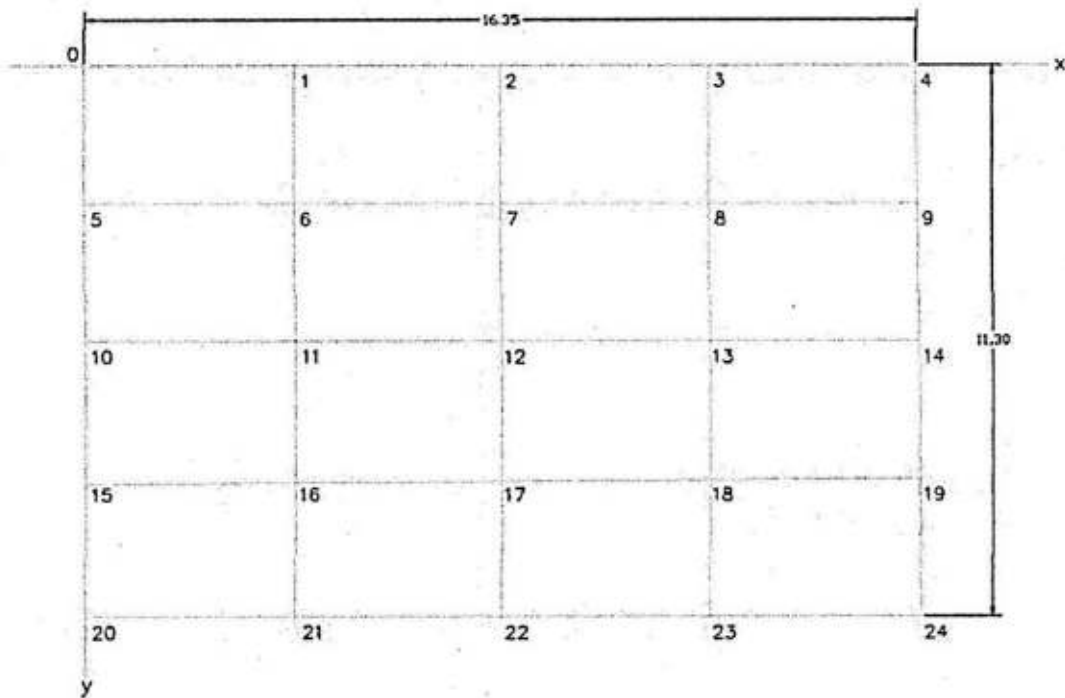


Figura 3.8

- 2) Se determinarán los esfuerzos principales en los mismos puntos.
- 3) Se calcularán los esfuerzos cortantes en los bordes, los cuales se emplearán para calcular los arcos que se colocarán en ellos.

- 4) Se proporcionarán los arcos atiesadores de los bordes y con su peso propio y los cortantes se diseñarán estos. Se calcularán por separado los efectos del peso propio y los producidos por el cortante que produce la cáscara.
- 5) Se reforzará el cascarón tanto por temperatura como por las tracciones en las producidas por las cargas.
- 6) Se reforzarán los arcos según lo indique el cálculo.
- 7) Se proporcionarán los tensores.

1) *Calculo de esfuerzos normales*

De las fórmulas de los esfuerzos

$$N_y = -\frac{\omega b^2}{k h_y} \text{coef.}$$

$$N_x = -\frac{\omega a^2 k}{h_x} \text{coef.}$$

$$Q = -\frac{\omega ab}{\sqrt{h_x h_y}} \text{coef.}$$

$$k = \sqrt{\frac{1 + (2h_x/a)(x/a)^2}{1 + (2h_y/b)(y/b)^2}}$$

Se calculan a continuación los factores de los coeficientes.

$$\frac{\omega b^2}{h_y} = \frac{170 * 16,35^2}{3} = 15148,28 \text{Kg} / m$$

$$\frac{\omega a^2}{h_x} = \frac{170 * 11,30^2}{2,6} = 8348,96 \text{Kg} / m$$

$$\frac{\omega ab}{\sqrt{h_x h_y}} = \frac{170 * 11,30 * 16,35}{\sqrt{2,6 * 3}} = 11245,99 \text{Kg} / m$$

En la tabla siguiente se presentan los valores de k para diferentes puntos:

Tabla 3.1

| | | y/b | | | | |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1 |
| x/a | 0 | 1,000 | 0,993 | 0,971 | 0,939 | 0,898 |
| | 0,25 | 1,013 | 1,005 | 0,984 | 0,951 | 0,910 |
| | 0,5 | 1,050 | 1,042 | 1,019 | 0,985 | 0,943 |
| | 0,75 | 1,108 | 1,100 | 1,077 | 1,040 | 0,996 |
| | 1 | 1,186 | 1,177 | 1,152 | 1,113 | 1,065 |

A continuación, se calcularon los valores de N_x , N_y y Q para los diferentes puntos, considerando que los valores de los coeficientes de las tablas son para relaciones de h_x/h_y que no corresponden a nuestro caso, por lo que los valores de los coeficientes se encontraron interpolando.

En las tablas siguientes se presentan los valores obtenidos para la carga total que en nuestro caso es de 250 Kg/m^2 .

Tabla 3.2

ESFUERZOS NORMALES Y CORTANTES EN DIFERENTES PUNTOS

| x/a | | y/b | | | | |
|------|----|-------------|---------|---------|---------|---------|
| | | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1 |
| 0 | Ny | 4176,91 | 3920,33 | 3131,61 | 1797,10 | 0,00 |
| | Nx | 2216,84 | 2384,28 | 2904,04 | 3767,92 | 4937,28 |
| | Q | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,25 | Ny | 4403,696169 | 4156,13 | 3378,89 | 1950,10 | 0,00 |
| | Nx | 2039,580591 | 1985,23 | 2712,48 | 3627,13 | 4872,18 |
| | Q | 0 | 351,23 | 841,14 | 1228,70 | 1444,57 |
| 0,5 | Ny | 5060,033036 | 4826,30 | 4099,03 | 2544,31 | 0,00 |
| | Nx | 1383,308333 | 1524,13 | 2175,51 | 3150,84 | 4701,68 |
| | Q | 0 | 794,32 | 1672,28 | 2595,00 | 3149,44 |
| 0,75 | Ny | 6016,565743 | 5908,43 | 5429,60 | 4016,26 | 0,00 |
| | Nx | 727,4757446 | 894,80 | 1235,01 | 2131,58 | 4451,49 |
| | Q | 0 | 1062,27 | 2373,33 | 4166,50 | 5682,62 |
| 1 | Ny | 7043,699937 | 7097,56 | 7251,59 | 7505,69 | 0,00 |
| | Nx | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Q | 0 | 1116,87 | 2567,49 | 5085,26 | 0,00 |

$$\omega = 250 \text{ Kg} / \text{m}^2$$

$$N_y = \frac{\omega b^2}{k h_y} \text{ coef.}$$

$$N_x = \frac{\omega a^2 k}{h_x} \text{ coef.}$$

$$Q = \frac{\omega a b}{\sqrt{h_x h_y}} \text{ coef.}$$

$$\frac{\omega b^2}{h_y} = 16000$$

$$\frac{\omega a^2}{h_x} = 15100$$

$$\frac{\omega a b}{\sqrt{h_x h_y}} = 15500$$

2) Cálculo de esfuerzos principales

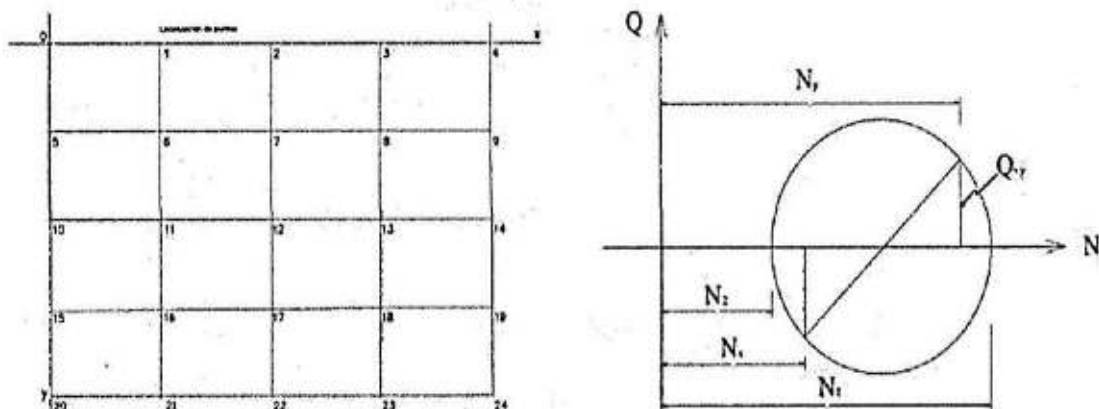


Figura 3.9

Tabla 3.3

| Punto | Nx | Ny | Qxy | N1 | N2 |
|-------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 0 | 2216,84 | 4176,91 | 0 | 4176,91 | 2216,84 |
| 1 | 2039,58 | 4156,13 | 0 | 4156,13 | 2039,58 |
| 2 | 1383,31 | 5060,03 | 0 | 5060,03 | 1383,31 |
| 3 | 727,48 | 6016,57 | 0 | 6016,57 | 727,48 |
| 4 | 0,00 | 7043,70 | 0 | 7043,70 | 0,00 |
| 5 | 2384,28 | 3920,33 | 0,00 | 3920,33 | 2384,28 |
| 6 | 1985,23 | 4156,13 | 351,23 | 4211,54 | 1929,82 |
| 7 | 1524,13 | 4826,30 | 794,32 | 5007,43 | 1343,00 |
| 8 | 894,80 | 5908,43 | 1062,27 | 6124,22 | 679,02 |
| 9 | 0,00 | 7097,56 | 1116,87 | 7269,16 | -171,60 |
| 10 | 2904,04 | 3131,61 | 0,00 | 3131,61 | 2904,04 |
| 11 | 2712,48 | 3378,89 | 841,14 | 3950,41 | 2140,95 |
| 12 | 2175,51 | 4099,03 | 1672,28 | 5066,39 | 1208,15 |
| 13 | 1235,01 | 5429,60 | 2373,33 | 6499,54 | 165,07 |
| 14 | 0,00 | 7251,59 | 2567,49 | 8068,58 | -817,00 |
| 15 | 3767,92 | 1797,10 | 0,00 | 3767,92 | 1797,10 |
| 16 | 3627,13 | 1950,10 | 1228,70 | 4276,17 | 1301,07 |
| 17 | 3150,84 | 2544,31 | 2595,00 | 5460,24 | 234,91 |
| 18 | 2131,58 | 4016,26 | 4166,50 | 7345,66 | -1197,82 |
| 19 | 1116,87 | 2567,49 | 5085,26 | 6978,90 | -3294,54 |
| 20 | 4937,28 | 0,00 | 0,00 | 4937,28 | 0,00 |
| 21 | 4872,18 | 0,00 | 1444,57 | 5268,28 | -396,10 |
| 22 | 4701,68 | 0,00 | 3149,44 | 6280,90 | -1579,23 |
| 23 | 4451,49 | 0,00 | 5682,62 | 8328,70 | -3877,21 |
| 24 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 |

Signos: + compresión.
 - tracción.

$$N_{1,2} = \frac{N_x + N_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(N_x - N_y)^2 + 4Q_{xy}^2}$$

$$Q = \frac{\omega ab}{\sqrt{h_x h_y}} \text{coef.} = 15500 \text{kg/m} * \text{coef.}$$

3) *Calculo de esfuerzos cortantes en los bordes*

Los coeficientes se presentan en la Tabla 3.4

| | | y/b | | | | | |
|-----|---|------|------|------|------|------|-------|
| | | 0,00 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 |
| x=a | Q | 0 | 510 | 1039 | 1605 | 2235 | 2960 |
| | | y/b | | | | | |
| x=a | | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,95 |
| | Q | 3900 | 4955 | 6528 | 7643 | 9214 | 11563 |
| | | x/a | | | | | |
| y=b | | 0,00 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 |
| | Q | 0 | 510 | 1039 | 1605 | 2235 | 2960 |
| | | x/a | | | | | |
| y=b | | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,95 |
| | Q | 3900 | 4955 | 6528 | 7643 | 9214 | 11892 |

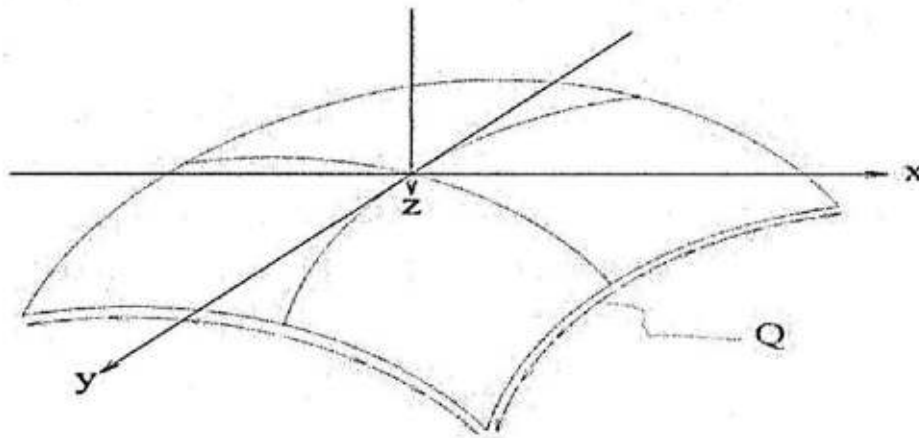


Figura 3.10

4) Arcos atiesadores

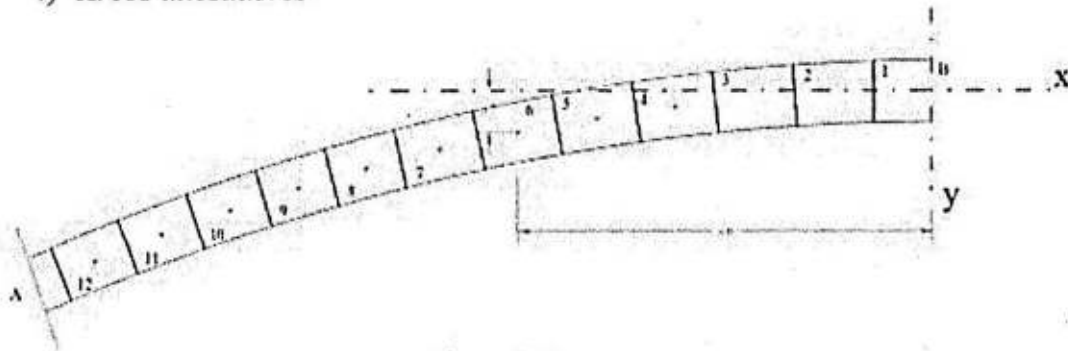


Figura 3.11

Tabla 3.5

| Sec. | H | Ae | Pp | X | y | $x_n - x_{n-1}$ | $y_n - y_{n-1}$ | $\Delta's/h^3$ | $y\Delta s/h^3$ | $y^2\Delta s/h^3$ |
|------|------|------|------|-------|------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------|
| B | 0,60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 1 | 0,60 | 0,80 | 345 | 0,40 | 0,02 | 0,40 | 0,02 | 0,173 | 0,0034 | |
| 2 | 0,65 | 1,60 | 750 | 1,58 | 0,04 | 1,18 | 0,12 | 0,438 | 0,0175 | 0,0004 |
| 3 | 0,70 | 1,60 | 810 | 3,16 | 0,16 | 1,58 | 0,20 | 0,547 | 0,087 | 0,014 |
| 4 | 0,78 | 1,60 | 890 | 4,74 | 0,36 | 1,58 | 0,28 | 0,751 | 0,27 | 0,097 |
| 5 | 0,80 | 1,60 | 920 | 6,32 | 0,34 | 1,58 | 0,36 | 0,82 | 0,522 | 0,335 |
| 6 | 0,80 | 1,60 | 920 | 7,90 | 1,00 | 1,58 | 0,44 | 0,82 | 0,82 | 0,82 |
| 7 | 0,90 | 1,65 | 1070 | 9,48 | 1,44 | 1,58 | 0,52 | 1,20 | 1,73 | 2,50 |
| 8 | 0,90 | 1,70 | 1100 | 11,06 | 1,96 | 1,58 | 0,60 | 1,24 | 2,44 | 4,80 |
| 9 | 0,95 | 1,25 | 860 | 12,64 | 2,56 | 0,79 | 0,33 | 1,06 | 2,71 | 6,91 |
| 10 | 0,95 | 0,90 | 615 | 13,43 | 2,89 | 0,79 | 0,35 | 0,715 | 2,06 | 5,95 |
| 11 | 1,00 | 0,80 | 575 | 14,22 | 3,24 | 0,79 | 0,46 | 0,80 | 2,60 | 6,40 |
| 12 | 1,00 | 1,25 | 900 | 15,01 | 3,70 | 0,79 | 0,30 | 1,25 | 4,62 | 17,05 |
| A | 1,00 | | | 15,80 | 4,00 | | | 0 | 0 | |
| | | | | | | | | Σ 9,81 | Σ 17,88 | Σ 44,88 |

Calculo del arco (timpano)

Características: forma parabólica.

Peralte en la corona: 60 cm; ancho 30 cm.

Peralte en el empotramiento: 100 cm; ancho 30 cm.

CÁLCULO DEL ARCO PARA EFECTOS DEL PESO PROPIO

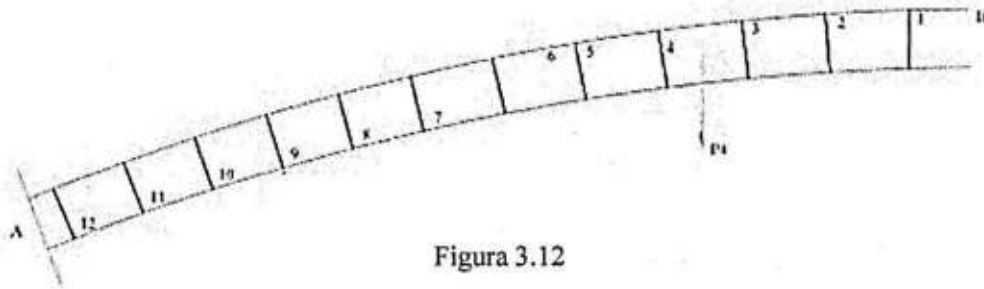


Figura 3.12

Tabla 3.6 CÁLCULO DEL ARCO PARA EFECTOS DEL PESO PROPIO

| Sec. | $(x_n - x_{n-1})$ | ΣC_v | $(x_n - x_{n-1})\Sigma C_v$ | m | $m\Delta s/h^3$ | $my\Delta s/h^3$ | Hcy | Mc |
|------|-------------------|--------------|-----------------------------|-------|-----------------|------------------|--------|-------|
| B | 0,00 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 224 |
| 1 | 0,40 | 345 | 0 | 0 | 0 | 0 | -308 | -84 |
| 2 | 1,18 | 1095 | 406 | 406 | 177 | 7 | -616 | 14 |
| 3 | 1,58 | 1905 | 1730 | 2136 | 1165 | 186 | -2460 | -100 |
| 4 | 1,58 | 2795 | 3000 | 5136 | 3860 | 1490 | -5550 | -190 |
| 5 | 1,58 | 3715 | 4400 | 9536 | 7800 | 4960 | -9850 | -70 |
| 6 | 1,58 | 4635 | 5860 | 15396 | 12600 | 12600 | -15400 | 220 |
| 7 | 1,58 | 5705 | 7300 | 22696 | 27300 | 39300 | -22200 | 720 |
| 8 | 1,58 | 6805 | 9000 | 31696 | 39300 | 77000 | -30200 | 1626 |
| 9 | 0,79 | 7665 | 5380 | 37076 | 39500 | 100000 | -39400 | - |
| 10 | 0,79 | 8280 | 6010 | 43086 | 30700 | 88100 | -44000 | 2100 |
| 11 | 0,79 | 8855 | 6500 | 49586 | 39500 | 128000 | -49900 | - |
| 12 | 0,79 | 9755 | 7000 | 56586 | 70900 | 261000 | -57000 | 1200 |
| A | | 9755 | 2940 | 59526 | 0 | 0 | -61600 | 90,00 |

Σ 272802 Σ 712643

$$H_c = \frac{-272802 * 17.88 + 9.814 * 712043}{9.814 * 46.876 - 17.88} = -15400 \text{ kg}$$

$$M_r = \frac{272802 - 15400 * 17.88}{9.814} = 224$$

CÁLCULO DEL ARCO PARA EFECTOS DE LAS FUERZAS CORTANTES (PRODUCIDAS EN LOS BORDES DEL CASCARÓN)

Tabla 3.7

| Sec. | $(x_n - x_{n-1})$ | $(y_n - y_{n-1})$ | C_v | C_H | ΣC_v | ΣC_H |
|------|-------------------|-------------------|-------|-------|--------------|--------------|
| B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0,40 | 0,02 | 0 | 630 | 0 | 630 |
| 2 | 1,18 | 0,12 | 30 | 1450 | 30 | 2080 |
| 3 | 1,58 | 0,20 | 150 | 2100 | 180 | 4180 |
| 4 | 1,58 | 0,28 | 320 | 2970 | 500 | 7150 |
| 5 | 1,58 | 0,36 | 600 | 3720 | 1100 | 10870 |
| 6 | 1,58 | 0,44 | 950 | 5500 | 2050 | 16370 |
| 7 | 1,58 | 0,52 | 1640 | 6690 | 3700 | 23060 |
| 8 | 1,58 | 0,60 | 2350 | 8810 | 6050 | 31870 |
| 9 | 0,79 | 0,33 | 3600 | 4920 | 9650 | 36790 |
| 10 | 0,79 | 0,35 | 2120 | 6240 | 11770 | 43030 |
| 11 | 0,79 | 0,46 | 3260 | 7900 | 15030 | 50930 |
| 12 | 0,79 | 0,30 | 5750 | 10200 | 20780 | 61130 |
| A | 0 | 0 | 0 | 0 | 20780 | 61130 |

$$H_c = \frac{\sum m \frac{\Delta s}{h^3} \sum y \frac{\Delta s}{h^3} + \sum \frac{\Delta s}{h^3} \sum my \frac{\Delta s}{h^3}}{\sum \frac{\Delta s}{h^3} \sum y^2 \frac{\Delta s}{h^3} - (\sum y \frac{\Delta s}{h^3})^2} \quad H_c = -13200 \text{Kg}$$

$$M_c = - \frac{\sum m \frac{\Delta s}{h^3} - H_c \sum y \frac{\Delta s}{h^3}}{\sum \frac{\Delta s}{h^3}} \quad M_c = -4640 \text{Kg.m}$$

Cálculo de H_c y M_c para una carga de 170 kg/m^2 en la cáscara, las fuerzas cortantes en los bordes de la cáscara. Los puntos (5, 6 y 7) se resolverán con los resultados de las tablas.

Tabla 3.8

| Sec. | $(x_n - x_{n-1})\Sigma C$ | $(y_n - y_{n-1})\Sigma CH$ | m | $m\Delta s/h^3$ | $my\Delta s/h^3$ | Hcy | M_c |
|------|---------------------------|----------------------------|-------|-----------------|------------------|-------|-------|
| B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4640 |
| 1 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 264 | -4376 |
| 2 | 0,00 | -75 | -75 | -33 | -1 | 528 | -3887 |
| 3 | 47,00 | -416 | -444 | -24 | -39 | 2110 | -2974 |
| 4 | 284,00 | -1170 | -1330 | -980 | -360 | 4780 | -1220 |
| 5 | 790,00 | -2570 | -3110 | -2550 | -1620 | 8420 | 670 |
| 6 | 1740,00 | -4780 | -6150 | -5040 | -5040 | 1320 | 2410 |
| 7 | 3000,00 | -8520 | - | -14000 | -20150 | 19000 | 2690 |
| | | | 11670 | | | | |
| 8 | 5330,00 | -14350 | - | -25500 | -50250 | 25800 | 470 |
| | | | 20690 | | | | |
| 9 | 5770,00 | -10800 | - | -28350 | -72200 | 33800 | 2440 |
| | | | 26720 | | | | |
| 10 | 7600,00 | -12850 | - | -22880 | -66000 | 38100 | 1490 |
| | | | 31970 | | | | |
| 11 | 9320,00 | -19600 | - | -33800 | -110000 | 42000 | -4290 |
| | | | 42250 | | | | |
| 12 | 11850,00 | -15250 | - | -57100 | -210000 | 48800 | -1490 |
| | | | 45650 | | | | |
| A | 16400 | -18300 | - | 0 | 0 | 52900 | 710 |
| | | | 47550 | | | | |

$\Sigma 190257 \quad \Sigma 535660$

3.4 Diseño de la estructura de Hormigón Armado.

Para las estructuras en la edificación, serán diseñados de acuerdo a las normas de hormigón armado, ejecutando de forma con el programa informático.

Las estructuras, componentes y cimentaciones deberán ser diseñados de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas de acuerdo a las combinaciones.

Lo primero es obtener el plano arquitectónico, sobre el cual se debe realizar el diseño estructural del mismo.

Planos Arquitectónicos

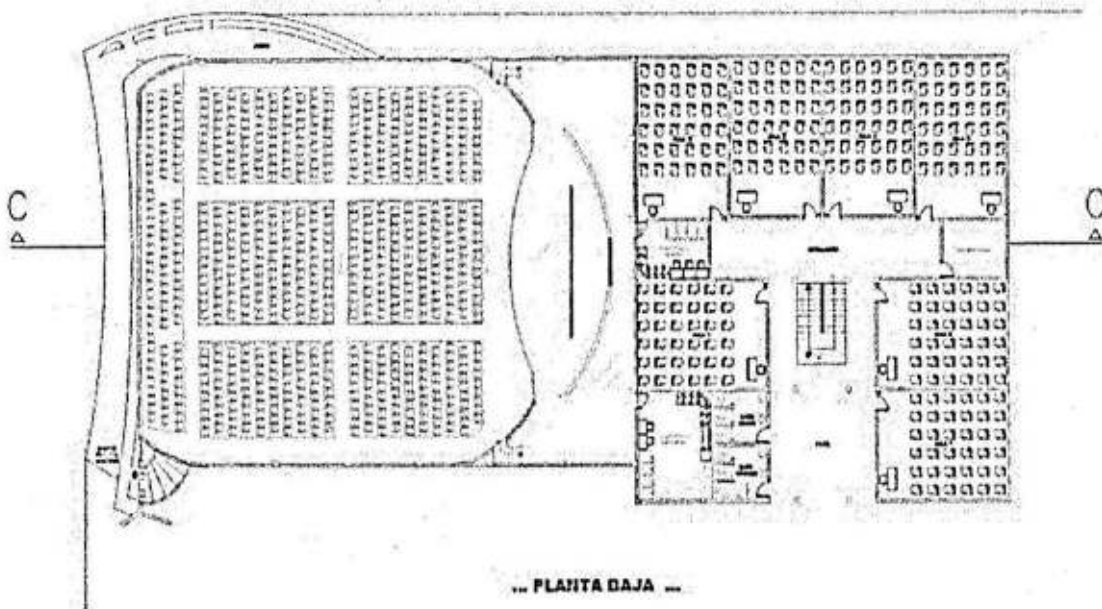


Figura 3.13

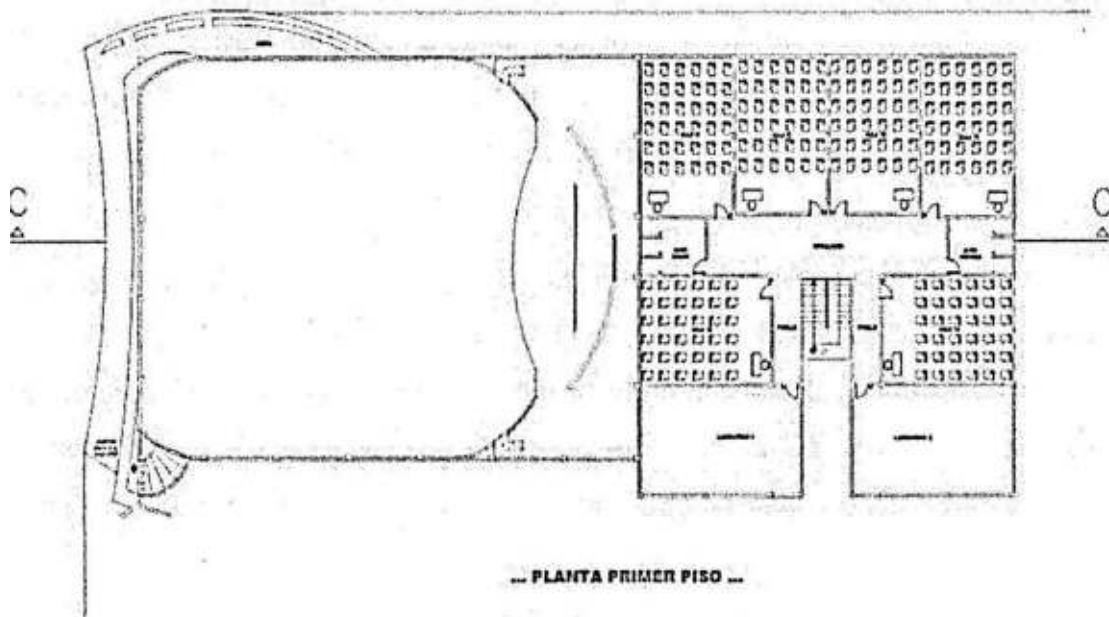


Figura 3.14

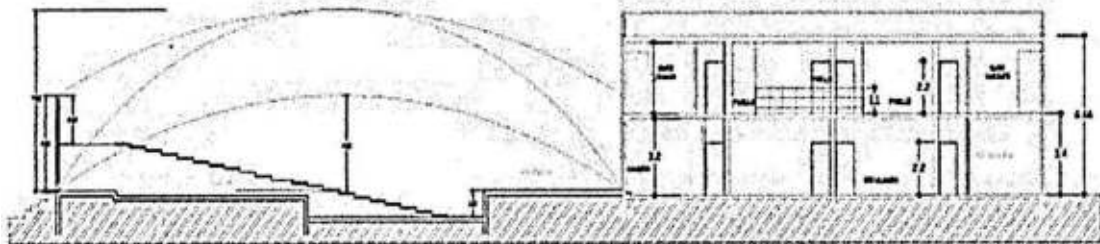


Figura 3.15

3.4.1 Modelo de cálculo.

El diseño estructural fue definido como un sistema aporticado tridimensional formado por los siguientes elementos:

- Hormigón armado: Vigas de Cimentación, columnas, vigas, escaleras y losa alivianada.

El programa informático utilizado para el modelado de la estructura propuesta es CYPECAD, El análisis de las solicitaciones se realiza mediante cálculo espacial en 3 D, por métodos matriciales de rigidez, formando rodos los elementos que definen la estructura. Para todos los estados de carga, se realiza un cálculo estático (excepto considerando sismo) y se supone un comportamiento lineal de los materiales.

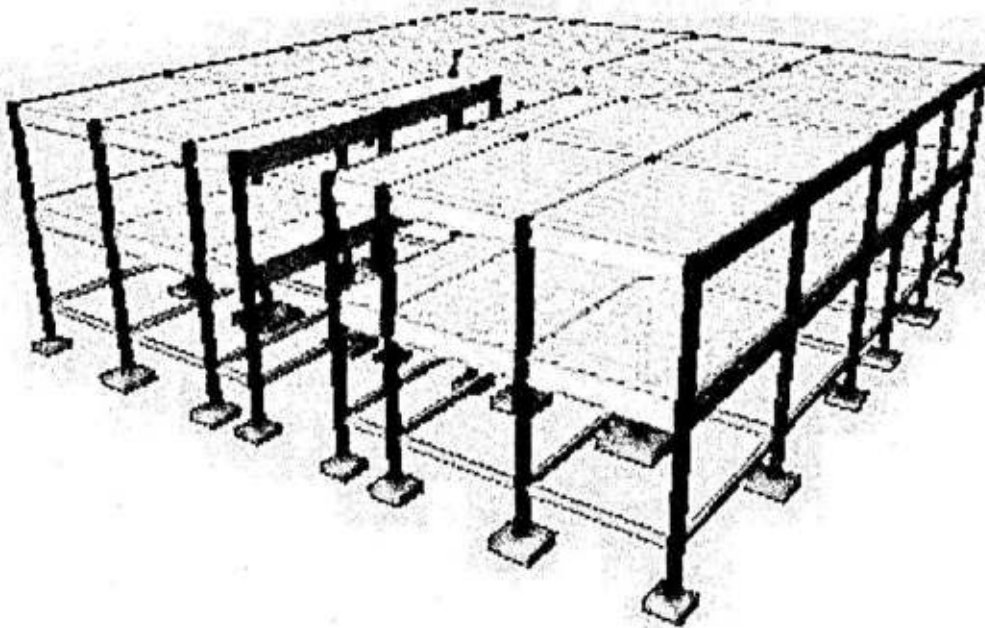


Figura 3.16

Para la realización del modelo de cálculo son precisos los contornos de forjados, es necesario un correcto conocimiento de los conceptos estructurales básicos por parte del o los proyectistas, de modo que el sistema estructural planteado pueda tener un buen funcionamiento.

Además se deben conocer los materiales de construcción a ejecutar en el proyecto, así como la ubicación y el uso del edificio debe estar en conocimiento.

Características del terreno; los estudios de suelos muestran los resultados según la humedad, granulometría, clasificación del Suelo y su capacidad portante del suelo, según el siguiente informe resumido:

RESUMEN INFORME GEOTÉCNICO

Característicos de los sondeos SPT y tipos de suelos

| Sondeo S.P.T. | Profundidad ensayo (m) | Humedad natural (%) | Tipo de suelo encontrado (AASHTO) (a profundidad de ensayo) |
|---------------|------------------------|---------------------|---|
| Sondeo 01 | 3,00-3,45 | 3,95 | Suelo arenoso con plasticidad baja A-4 (0) |
| Sondeo 02 | 3,2-3,55 | 4,21 | Suelo arenoso con plasticidad baja A-2-4 (0) |
| Sondeo 03 | 2,50-2,95 | 3,34 | Suelo arenoso sin plasticidad A-2-4 (0) |
| Sondeo 04 | 1,80-2,25 | 3,82 | Suelo arenoso sin plasticidad A-2-4 (0) |
| Sondeo 05 | 3,00-3,45 | 3,81 | Suelo arenoso con plasticidad baja A-2-4 (0) |

Capacidad portante del terreno en relación a N del ensayo de penetración Normal

| Sondeo | Prof. (m) | N Nro. Golpes | σ_N (Kg/cm ²) | σ_{adm} (Kg/cm ²) |
|-----------|-----------|---------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Sondeo 01 | 3,00-3,45 | 36 | 2,8 | 2,25 |
| Sondeo 02 | 3,2-3,55 | 30 | 2,6 | 2,08 |
| Sondeo 03 | 2,50-2,95 | 38 | 3 | 2,4 |
| Sondeo 04 | 1,80-2,25 | 36 | 2,8 | 2,25 |
| Sondeo 05 | 3,00-3,45 | 40 | 3,25 | 2,6 |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El lugar en estudio está constituido por un terreno ligeramente plano con una capa superficial de suelo limo arenoso, moderadamente fino, marrón amarillento claro, con densidad suelta. Seguido en profundidad de un suelo arcillo arenoso, de textura fina de color marrón oscuro de consistencia firme. Más en profundidad y lugar en los sondeos se encuentra el material arenoso limoso, seco, de textura fina, color marrón claro con densidad compacta y muy compacta. En consecuencia todos los sondeos presentan buena capacidad portante, determinándose como tensión admisible el valor de 2,00 kg/cm² para el diseño de la estructura de fundación.

3.5 Determinación de cargas en la estructura de hormigón armado.

Estudiada la documentación y las características del proyecto se terminan las cargas que recibe el edificio. Peso propio, cargas muertas y sobrecarga de uso.

Las acciones son variables, se tiene las sobrecargas de uso que son el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de uso.

La sobrecarga de uso debida a equipos pesados o a la acumulación de materiales en bibliotecas almacenes o industrias, se deben determinarse de acuerdo con los valores del suministrador o las exigencias del proyecto.

ESPECIFICACIONES DE MATERIALES EMPLEADOS.

Los materiales empleados en el Cálculo del Hormigón Armado, como las características, niveles de control previstos y coeficientes de seguridad, se indican en los siguientes cuadros:

Tabla 3.9 Características del Material de Acero y Hormigón.

| Descripción | Acero de Refuerzo Corrugado G ⁶⁰ | | | | | |
|--|---|----------|---------|---------|---------|--------------|
| | Zapatas | Columnas | Losas | Vigas | Placas | Toda la obra |
| Designación | AH420 | AH420 | AH420 | AH420 | AH420 | AH420 |
| Peso Especifico [kg/m ³] | 7850 | 7850 | 7850 | 7850 | 7850 | 7850 |
| Resistencia Característica de fluencia del acero: f_yk [kg/cm ²] | 4200 | 4200 | 4200 | 4200 | 4200 | 4200 |
| Resistencia a la Tracción [kg/cm ²] | 6300 | 6300 | 6300 | 6300 | 6300 | 6300 |
| Módulo de Elasticidad: E_s [kg/cm ²] | 2100000 | 2100000 | 2100000 | 2100000 | 2100000 | 2100000 |
| Nivel de control previsto | Normal | Normal | Normal | Normal | Normal | Normal |

| Descripción | Elementos de Hormigón | | | | | |
|--|-----------------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Zapatas | Columnas | Losas (entrepiso) | Vigas | Placas | Otros |
| Designación | H21 | H21 | H21 | H21 | H21 | H21 |
| Peso Específico $H^{\circ}/H^{\circ}A^{\circ}$ [kg/m ³] | 2300/2400 | 2300/2400 | 2300/2400 | 2300/2400 | 2300/2400 | 2300/2400 |
| Resistencia característica a la compresión del hormigón a los 28 días: f_{ck} [kg/cm ²] | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 |
| Módulo de Elasticidad: E_c [kg/cm ²] | 217000 | 217000 | 217000 | 217000 | 217000 | 217000 |
| Módulo de Poisson: μ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Cantidad mínima de cemento [kg/m ³] | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 |
| Tamaño máximo del árido [mm] | 40 | 30 | 15/20 | 25 | 25 | 25/30 |
| Recubrimientos Mínimos: rec [mm] | 50 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Consistencia del hormigón | Plástica | Blanda | Blanda | Blanda | Blanda | Blanda |
| Asiento Cono de Abrams [cm] | 44319 | 44445 | 44445 | 44445 | 44445 | 44445 |
| Sistema de compactación | Vibrado | Vibrado | Vibrado | Vibrado | Vibrado | Vibrado |
| Nivel de control previsto | Estadístico | Estadístico | Estadístico | Estadístico | Estadístico | Estadístico |

Situaciones del proyecto.

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

Donde:

G_k Acción permanente

P_k Acción de pretensado

Q_k Acción variable

g_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

g_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado

$g_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal

$g_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

Listado de coeficientes.

- Nombres de las hipótesis
 - PP Peso propio
 - CM Cargas muertas
 - Qa Sobrecarga de uso
- Categoría de uso
 - A. Zonas residenciales
- E.L.U. de rotura. Hormigón
 - CTE
 - Control de la ejecución: Normal
 - Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
- E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones
 - CTE
 - Control de la ejecución: Normal

Tabla 3.10 Valores característicos de la sobrecarga de uso

| Categoría de uso | | Subcategorías de uso | Carga uniforme [kN/m ²] | Carga conc. [kN] | Carga uniforme [kg/m ²] | Carga conc. [kg] | |
|------------------|--|----------------------|---|---------------------------------|-------------------------------------|------------------|------|
| A | Zonas residenciales | A 1 | Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles | 2 | 2 | 204 | 204 |
| | | A 2 | Trasteros | 3 | 2 | 306 | 204 |
| B | Zonas administrativas | | | 2 | 2 | 204 | 204 |
| C | Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D) | C 1 | Zonas con mesas y sillas | 3 | 4 | 306 | 408 |
| | | C 2 | Zonas con asientos fijos | 4 | 4 | 408 | 408 |
| | | C 3 | Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc. | 5 | 4 | 510 | 408 |
| | | C 4 | Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas | 5 | 7 | 510 | 714 |
| | | C 5 | Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc) | 5 | 4 | 510 | 408 |
| D | Zonas comerciales | D 1 | Locales comerciales | 5 | 4 | 510 | 408 |
| | | D 2 | Supermercados, hipermercados o grandes superficies | 5 | 7 | 510 | 714 |
| E | Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN) | | | 2 | 20 ⁽¹⁾ | 204 | 2039 |
| F | Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾ | | | 1 | 2 | 102 | 204 |
| G | Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾ | G 1 ⁽⁷⁾ | Cubiertas con inclinación inferior a 20° | 1 ⁽⁴⁾ ⁽⁶⁾ | 2 | 102 | 204 |
| | | | Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾ | 0,4 ⁽⁴⁾ | 1 | 41 | 102 |
| | | G 2 | Cubiertas con inclinación superior a 40° | 0 | 2 | 0 | 204 |

3.6 Dimensionamiento de vigas.

La elección de las dimensiones de las secciones de hormigón en vigas y soportes es una fase previa al análisis (obtención de las solicitaciones). Dicha elección exige una evaluación aproximada de las acciones y de la forma en que éstas se transmiten a la cimentación (forjados --- vigas--- soportes --- zapatas o encepados), una estimación de las solicitaciones máximas y el predimensionado de las secciones de hormigón.

Predimensionado de la sección de las vigas:

- Dimensiones habituales de las vigas de canto: cantos de $L/12-L/15$ y anchos variables entre 0.20 y 0.30 m. Las dimensiones $b \times h$ elegidas deben corresponder a momentos reducidos $\mu = M_d / (b d^2 f_{cd})$ del orden de 0.15-0.25 en las secciones más solicitadas para obtener cuantías razonables de armaduras.
- Dimensiones habituales de las vigas planas: cantos compatibles con el forjado, próximos a los valores mínimos recomendados (a veces hay que disponer cantos menores que exigirán la comprobación de flecha) y anchos variables entre 0.30 y 0.80 m (anchos excesivos plantean problemas de canalización de las cargas hacia los soportes). Las dimensiones $b \times h$ elegidas deben corresponder a momentos reducidos $\mu = M_d / (b d^2 f_{cd})$ del orden de 0.20-0.30 en las secciones más solicitadas para obtener cuantías razonables de armaduras.

Siendo:

M_d , el momento flector de cálculo en ELU

b , el ancho de la sección

h , el canto de la sección

d , el canto útil de la sección

f_{cd} , la resistencia del hormigón en valor de cálculo ($f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$)

Listado de medición de vigas

Obra: diseño estructura u. e. 9 d A

Fecha: 17/04/2021 9:48:55

Materiales:

Hormigón: HA-25, Control Estadístico

Acero: B 400 S, Control Normal

Tabla 3.11

| | Tipo | A.neg. Kg | A.pos. kg | A.mon. kg | A.plel kg | A.est. kg | Total kg | Ø6 kg | Ø8 kg | Ø10 kg | Ø12 kg | Ø16 Kg | Ø20 kg | V.horm. m³ |
|------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------|-------------|-------------|-----------|-------------|---------------|
| Forjado 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| *Pórtico 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C32-C33) | Desc. | 3.9 | 8.4 | 5.9 | | 3.9 | 22.1 | 3.9 | | 9.8 | 8.4 | | | 0.264 |
| 2(C33-C34) | Desc. | 1.7 | 8.1 | 5.5 | | 3.9 | 19.2 | 3.9 | | 7.2 | 8.1 | | | 0.255 |
| 3(C34-C35) | Desc. | 1.2 | 4.4 | 3.0 | | 1.8 | 10.4 | 1.8 | | 4.2 | 4.4 | | | 0.125 |
| Total Pórtico 1 | | 6.8 | 20.9 | 14.4 | | 9.6 | 51.7 | 9.6 | | 21.2 | 20.9 | | | 0.644 |
| *Pórtico 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C36-C37) | Desc. | 2.7 | 4.4 | 3.0 | | 1.8 | 11.9 | 1.8 | | 5.7 | 4.4 | | | 0.125 |
| 2(C37-C38) | Desc. | 2.3 | 8.1 | 5.5 | | 3.9 | 19.8 | 3.9 | | 7.8 | 8.1 | | | 0.255 |
| 3(C38-C39) | Desc. | 1.6 | 8.4 | 5.9 | | 3.9 | 19.8 | 3.9 | | 7.5 | 8.4 | | | 0.264 |
| Total Pórtico 2 | | 6.6 | 20.9 | 14.4 | | 9.6 | 51.5 | 9.6 | | 21.0 | 20.9 | | | 0.644 |
| *Pórtico 3 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C24-C25) | Desc. | 3.9 | 8.4 | 5.9 | | 3.9 | 22.1 | 3.9 | | 9.8 | 8.4 | | | 0.264 |
| 2(C25-C26) | Desc. | 1.7 | 8.1 | 5.5 | | 3.9 | 19.2 | 3.9 | | 7.2 | 8.1 | | | 0.255 |
| 3(C26-C27) | Desc. | 1.4 | 4.4 | 3.0 | | 1.8 | 10.6 | 1.8 | | 4.4 | 4.4 | | | 0.125 |
| Total Pórtico 3 | | 7.0 | 20.9 | 14.4 | | 9.6 | 51.9 | 9.6 | | 21.4 | 20.9 | | | 0.644 |
| *Pórtico 4 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C28-C29) | Desc. | 3.1 | 4.4 | 3.0 | | 1.5 | 12.0 | 1.5 | | 10.5 | | | | 0.145 |
| 2(C29-C30) | Desc. | 2.3 | 7.2 | 5.5 | | 3.7 | 18.7 | 3.7 | | 15.0 | | | | 0.298 |
| 3(C30-C31) | Desc. | 1.7 | 7.5 | 5.9 | | 3.7 | 18.8 | 3.7 | | 15.1 | | | | 0.308 |
| Total Pórtico 4 | | 7.1 | 19.1 | 14.4 | | 8.9 | 49.5 | 8.9 | | 40.6 | | | | 0.751 |
| *Pórtico 5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C16-C17) | Desc. | 3.9 | 8.4 | 5.9 | | 3.9 | 22.1 | 3.9 | | 9.8 | 8.4 | | | 0.264 |
| 2(C17-C18) | Desc. | 1.7 | 8.1 | 5.5 | | 3.9 | 19.2 | 3.9 | | 7.2 | 8.1 | | | 0.255 |
| 3(C18-C19) | Desc. | 10.6 | 4.0 | 2.7 | | 1.8 | 19.1 | 1.8 | | 2.7 | 4.0 | | 10.6 | 0.116 |
| 4(C19-C20) | Desc. | 6.7 | 11.4 | 4.6 | | 6.2 | 28.9 | 2.1 | | 8.7 | 18.1 | | | 0.207 |
| 5(C20-C21) | Desc. | | 2.8 | 2.7 | | 1.8 | 7.3 | 1.8 | | 5.5 | | | | 0.116 |
| 6(C21-C22) | Desc. | 2.3 | 8.1 | 5.5 | | 3.9 | 19.8 | 3.9 | | 7.8 | 8.1 | | | 0.255 |
| 7(C22-C23) | Desc. | 1.6 | 8.4 | 5.9 | | 3.9 | 19.8 | 3.9 | | 7.5 | 8.4 | | | 0.264 |
| Total Pórtico 5 | | 26.8 | 51.2 | 32.8 | | 25.4 | 136.2 | 21.3 | | 49.2 | 55.1 | | 10.6 | 1.477 |
| *Pórtico 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C11-C12) | Desc. | 5.5 | 11.7 | 8.1 | | 5.7 | 31.0 | 5.7 | | 13.6 | 11.7 | | | 0.373 |
| 2(C12-C13) | Desc. | 3.4 | 11.5 | 7.9 | | 5.9 | 28.7 | 5.9 | | 11.3 | 11.5 | | | 0.369 |
| 3(C13-C14) | Desc. | 3.3 | 11.2 | 7.7 | | 5.7 | 27.9 | 5.7 | | 11.0 | 11.2 | | | 0.360 |
| 4(C14-C15) | Desc. | 2.2 | 10.7 | 8.1 | | 5.4 | 26.4 | 5.4 | | 21.0 | | | | 0.436 |
| Total Pórtico 6 | | 14.4 | 45.1 | 31.8 | | 22.7 | 114.0 | 22.7 | | 56.9 | 34.4 | | | 1.538 |
| *Pórtico 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C6-C7) | Desc. | 5.5 | 11.7 | 8.1 | | 5.7 | 31.0 | 5.7 | | 13.6 | 11.7 | | | 0.373 |
| 2(C7-C8) | Desc. | 3.4 | 11.5 | 7.9 | | 5.9 | 28.7 | 5.9 | | 11.3 | 11.5 | | | 0.369 |
| 3(C8-C9) | Desc. | 3.3 | 11.2 | 7.7 | | 5.7 | 27.9 | 5.7 | | 11.0 | 11.2 | | | 0.360 |

| | Tipo | A.neg. Kg | A.pos. kg | A.mon. kg | A.piel kg | A.est. kg | Total kg | Ø6 kg | Ø8 kg | Ø10 kg | Ø12 kg | Ø16 Kg | Ø20 kg | V.horm. m³ |
|------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| 4(C9-C10) | Desc. | 2.1 | 11.7 | 8.1 | | 5.7 | 27.6 | 5.7 | | 10.2 | 11.7 | | | 0.374 |
| Total Pórtico 7 | | 14.3 | 46.1 | 31.8 | | 23.0 | 115.2 | 23.0 | | 46.1 | 46.1 | | | 1.476 |
| *Pórtico 8 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C1-C2) | Desc. | 5.5 | 11.7 | 8.1 | | 5.7 | 31.0 | 5.7 | | 13.6 | 11.7 | | | 0.373 |
| 2(C2-C3) | Desc. | 3.4 | 11.5 | 7.9 | | 5.9 | 28.7 | 5.9 | | 11.3 | 11.5 | | | 0.369 |
| 3(C3-C4) | Desc. | 3.3 | 11.2 | 7.7 | | 5.7 | 27.9 | 5.7 | | 11.0 | 11.2 | | | 0.360 |
| 4(C4-C5) | Desc. | 2.1 | 11.7 | 8.1 | | 5.7 | 27.6 | 5.7 | | 10.2 | 11.7 | | | 0.374 |
| Total Pórtico 8 | | 14.3 | 46.1 | 31.8 | | 23.0 | 115.2 | 23.0 | | 46.1 | 46.1 | | | 1.476 |
| *Pórtico 9 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C32-C24) | Desc. | 5.5 | 11.8 | 8.1 | | 5.9 | 31.3 | 5.9 | | 13.6 | 11.8 | | | 0.377 |
| 2(C24-C16) | Desc. | 2.7 | 11.4 | 7.8 | | 5.7 | 27.6 | 5.7 | | 10.5 | 11.4 | | | 0.365 |
| 3(C16-C11) | Desc. | 2.2 | 6.7 | 4.6 | | 3.1 | 16.6 | 3.1 | | 6.8 | 6.7 | | | 0.207 |
| 4(C11-C6) | Desc. | 2.5 | 8.5 | 5.9 | | 4.1 | 21.0 | 4.1 | | 8.4 | 8.5 | | | 0.269 |
| 5(C6-C1) | Desc. | 1.7 | 8.7 | 6.0 | | 4.1 | 20.5 | 4.1 | | 7.7 | 8.7 | | | 0.273 |
| Total Pórtico 9 | | 14.6 | 47.1 | 32.4 | | 22.9 | 117.0 | 22.9 | | 47.0 | 47.1 | | | 1.491 |
| *Pórtico 10 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C33-C25) | Desc. | 5.5 | 11.9 | 8.2 | | 5.9 | 31.5 | 5.9 | | 13.7 | 11.9 | | | 0.379 |
| 2(C25-C17) | Desc. | 2.1 | 11.6 | 8.1 | | 5.7 | 27.5 | 5.7 | | 10.2 | 11.6 | | | 0.372 |
| Total Pórtico 10 | | 7.6 | 23.5 | 16.3 | | 11.6 | 59.0 | 11.6 | | 23.9 | 23.5 | | | 0.751 |
| *Pórtico 11 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C12-C7) | Desc. | 4.2 | 8.9 | 6.1 | | 4.1 | 23.3 | 4.1 | | 10.3 | 8.9 | | | 0.278 |
| 2(C7-C2) | Desc. | 1.7 | 8.7 | 6.0 | | 4.1 | 20.5 | 4.1 | | 7.7 | 8.7 | | | 0.272 |
| Total Pórtico 11 | | 5.9 | 17.6 | 12.1 | | 8.2 | 43.8 | 8.2 | | 18.0 | 17.6 | | | 0.550 |
| *Pórtico 12 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C12-C18) | Desc. | 3.4 | 8.8 | 6.1 | | 4.1 | 22.4 | 4.1 | | 9.5 | 8.8 | | | 0.275 |
| *Pórtico 13 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C34-C26) | Desc. | 5.5 | 11.9 | 8.2 | | 5.9 | 31.5 | 5.9 | | 13.7 | 11.9 | | | 0.379 |
| 2(C26-C18) | Desc. | 2.1 | 11.6 | 8.1 | | 5.7 | 27.5 | 5.7 | | 10.2 | 11.6 | | | 0.372 |
| Total Pórtico 13 | | 7.6 | 23.5 | 16.3 | | 11.6 | 59.0 | 11.6 | | 23.9 | 23.5 | | | 0.751 |
| *Pórtico 14 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C35-C27) | Desc. | 5.5 | 11.9 | 8.2 | | 5.9 | 31.5 | 5.9 | | 13.7 | 11.9 | | | 0.379 |
| 2(C27-C19) | Desc. | 2.1 | 11.6 | 8.1 | | 5.7 | 27.5 | 5.7 | | 10.2 | 11.6 | | | 0.372 |
| Total Pórtico 14 | | 7.6 | 23.5 | 16.3 | | 11.6 | 59.0 | 11.6 | | 23.9 | 23.5 | | | 0.751 |
| *Pórtico 15 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C13-C8) | Desc. | 4.2 | 8.9 | 6.1 | | 4.1 | 23.3 | 4.1 | | 10.3 | 8.9 | | | 0.278 |
| 2(C8-C3) | Desc. | 1.7 | 8.7 | 6.0 | | 4.1 | 20.5 | 4.1 | | 7.7 | 8.7 | | | 0.272 |
| Total Pórtico 15 | | 5.9 | 17.6 | 12.1 | | 8.2 | 43.8 | 8.2 | | 18.0 | 17.6 | | | 0.550 |
| *Pórtico 16 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C36-C28) | Desc. | 5.5 | 11.9 | 8.2 | | 5.9 | 31.5 | 5.9 | | 13.7 | 11.9 | | | 0.379 |
| 2(C28-C20) | Desc. | 2.1 | 11.6 | 8.1 | | 5.7 | 27.5 | 5.7 | | 10.2 | 11.6 | | | 0.372 |
| Total Pórtico 16 | | 7.6 | 23.5 | 16.3 | | 11.6 | 59.0 | 11.6 | | 23.9 | 23.5 | | | 0.751 |
| *Pórtico 17 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C37-C29) | Desc. | 5.5 | 11.9 | 8.2 | | 5.9 | 31.5 | 5.9 | | 13.7 | 11.9 | | | 0.379 |
| 2(C29-C21) | Desc. | 2.1 | 11.6 | 8.1 | | 5.7 | 27.5 | 5.7 | | 10.2 | 11.6 | | | 0.372 |
| Total Pórtico 17 | | 7.6 | 23.5 | 16.3 | | 11.6 | 59.0 | 11.6 | | 23.9 | 23.5 | | | 0.751 |
| *Pórtico 18 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C21-C14) | Desc. | 3.2 | 8.8 | 6.1 | | 4.1 | 22.2 | 4.1 | | 9.3 | 8.8 | | | 0.275 |
| *Pórtico 19 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C14-C9) | Desc. | 4.2 | 8.9 | 6.1 | | 4.1 | 23.3 | 4.1 | | 10.3 | 8.9 | | | 0.278 |
| 2(C9-C4) | Desc. | 1.7 | 8.7 | 6.0 | | 4.1 | 20.5 | 4.1 | | 7.7 | 8.7 | | | 0.272 |
| Total Pórtico 19 | | 5.9 | 17.6 | 12.1 | | 8.2 | 43.8 | 8.2 | | 18.0 | 17.6 | | | 0.550 |
| *Pórtico 20 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C38-C30) | Desc. | 5.5 | 11.9 | 8.2 | | 5.9 | 31.5 | 5.9 | | 13.7 | 11.9 | | | 0.379 |

| | Tipo | A.neg. Kg | A.pos. kg | A.mon. kg | A.piel kg | A.est. kg | Total kg | Ø6 kg | Ø8 kg | Ø10 kg | Ø12 kg | Ø16 Kg | Ø20 kg | V.horm. m³ |
|------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| 2(C30-C22) | Desc. | 2.1 | 11.6 | 8.1 | | 5.7 | 27.5 | 5.7 | | 10.2 | 11.6 | | | 0.372 |
| Total Pórtico 20 | | 7.6 | 23.5 | 16.3 | | 11.6 | 59.0 | 11.6 | | 23.9 | 23.5 | | | 0.751 |
| *Pórtico 21 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C39-C31) | Desc. | 5.5 | 11.9 | 8.2 | | 5.9 | 31.5 | 5.9 | | 13.7 | 11.9 | | | 0.379 |
| 2(C31-C23) | Desc. | 2.7 | 11.4 | 7.8 | | 5.7 | 27.6 | 5.7 | | 10.5 | 11.4 | | | 0.363 |
| 3(C23-C15) | Desc. | 2.2 | 6.7 | 4.6 | | 3.1 | 16.6 | 3.1 | | 6.8 | 6.7 | | | 0.207 |
| 4(C15-C10) | Desc. | 2.5 | 8.5 | 5.9 | | 4.1 | 21.0 | 4.1 | | 8.4 | 8.5 | | | 0.269 |
| 5(C10-C5) | Desc. | 1.7 | 8.7 | 6.0 | | 4.1 | 20.5 | 4.1 | | 7.7 | 8.7 | | | 0.273 |
| Total Pórtico 21 | | 14.6 | 47.2 | 32.5 | | 22.9 | 117.2 | 22.9 | | 47.1 | 47.2 | | | 1.491 |
| Total Forjado 1 | | 196.4 | 576.0 | 397.0 | | 280.0 | 1449.4 | 275.9 | | 612.8 | 550.1 | | 10.6 | 18.338 |
| Forjado 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| *Pórtico 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C32-C33) | Desc. | 8.7 | 13.6 | 5.9 | 5.8 | 7.8 | 41.8 | | 7.8 | 11.7 | 22.3 | | | 0.550 |
| 2(C33-C34) | Desc. | 8.7 | 13.2 | 5.5 | 5.6 | 7.8 | 40.8 | | 7.8 | 11.1 | 21.9 | | | 0.531 |
| 3(C34-C35) | Desc. | | 4.4 | 3.0 | 2.8 | 3.4 | 13.6 | | 3.4 | 5.8 | 4.4 | | | 0.260 |
| Total Pórtico 1 | | 17.4 | 31.2 | 14.4 | 14.2 | 19.0 | 96.2 | | 19.0 | 28.6 | 48.6 | | | 1.341 |
| *Pórtico 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C36-C37) | Desc. | 8.7 | 6.5 | 3.0 | 2.8 | 3.4 | 24.4 | | 3.4 | 5.8 | 15.2 | | | 0.260 |
| 2(C37-C38) | Desc. | 5.1 | 13.2 | 5.5 | 5.6 | 7.8 | 37.2 | | 7.8 | 11.1 | 18.3 | | | 0.531 |
| 3(C38-C39) | Desc. | 3.6 | 13.6 | 5.9 | 5.8 | 7.8 | 36.7 | | 7.8 | 11.7 | 17.2 | | | 0.550 |
| Total Pórtico 2 | | 17.4 | 33.3 | 14.4 | 14.2 | 19.0 | 98.3 | | 19.0 | 28.6 | 50.7 | | | 1.341 |
| *Pórtico 3 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C24-C25) | Desc. | 8.7 | 13.6 | 5.9 | 5.8 | 7.8 | 41.8 | | 7.8 | 11.7 | 22.3 | | | 0.549 |
| 2(C25-C26) | Desc. | 3.7 | 13.2 | 5.5 | 5.6 | 7.8 | 35.8 | | 7.8 | 11.1 | 16.9 | | | 0.531 |
| 3(C26-C27) | Desc. | 3.6 | 8.3 | 3.0 | 2.8 | 3.4 | 21.1 | | 3.4 | 5.8 | 11.9 | | | 0.260 |
| Total Pórtico 3 | | 16.0 | 35.1 | 14.4 | 14.2 | 19.0 | 98.7 | | 19.0 | 28.6 | 51.1 | | | 1.340 |
| *Pórtico 4 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C28-C29) | Desc. | 7.3 | 8.3 | 3.0 | 2.8 | 3.4 | 24.8 | | 3.4 | 5.8 | 15.6 | | | 0.260 |
| 2(C29-C30) | Desc. | 5.1 | 13.2 | 5.5 | 5.6 | 7.8 | 37.2 | | 7.8 | 11.1 | 18.3 | | | 0.531 |
| 3(C30-C31) | Desc. | 3.6 | 13.6 | 5.9 | 5.8 | 7.8 | 36.7 | | 7.8 | 11.7 | 17.2 | | | 0.550 |
| Total Pórtico 4 | | 16.0 | 35.1 | 14.4 | 14.2 | 19.0 | 98.7 | | 19.0 | 28.6 | 51.1 | | | 1.341 |
| *Pórtico 5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C16-C17) | Desc. | 8.7 | 13.8 | 5.9 | 5.8 | 7.8 | 42.0 | | 7.8 | 11.7 | 22.5 | | | 0.549 |
| 2(C17-C18) | Desc. | 13.6 | 13.7 | 5.5 | 5.6 | 7.8 | 46.2 | | 7.8 | 11.1 | 27.3 | | | 0.531 |
| 3(C18-C19) | Desc. | | 2.8 | 2.7 | 2.8 | 3.4 | 11.7 | | 3.4 | 8.3 | | | | 0.241 |
| 4(C19-C20) | Desc. | 12.5 | 15.0 | 4.6 | 4.6 | 10.1 | 46.8 | | 10.1 | 12.2 | | 24.5 | | 0.430 |
| 5(C20-C21) | Desc. | | 2.8 | 2.7 | 2.8 | 3.4 | 11.7 | | 3.4 | 8.3 | | | | 0.241 |
| 6(C21-C22) | Desc. | 5.1 | 13.5 | 5.5 | 5.6 | 7.8 | 37.5 | | 7.8 | 11.1 | 18.6 | | | 0.531 |
| 7(C22-C23) | Desc. | 3.6 | 13.8 | 5.9 | 5.8 | 7.8 | 36.9 | | 7.8 | 11.7 | 17.4 | | | 0.550 |
| Total Pórtico 5 | | 43.5 | 75.4 | 32.8 | 33.0 | 48.1 | 232.8 | | 48.1 | 74.4 | 85.8 | 24.5 | | 3.073 |
| *Pórtico 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C11-C12) | Desc. | 30.3 | 32.7 | 8.1 | 8.0 | 14.6 | 93.7 | | 14.6 | 16.1 | 11.9 | 26.3 | 24.8 | 0.777 |
| 2(C12-C13) | Desc. | 17.4 | 30.9 | 7.9 | 8.0 | 14.6 | 78.8 | | 14.6 | 15.9 | 10.4 | 37.9 | | 0.769 |
| 3(C13-C14) | Desc. | 24.0 | 24.7 | 7.7 | 7.8 | 14.1 | 78.3 | | 14.1 | 20.2 | | 20.0 | 24.0 | 0.750 |
| 4(C14-C15) | Desc. | 8.3 | 35.2 | 8.1 | 8.0 | 16.3 | 75.9 | | 16.3 | 16.1 | | 43.5 | | 0.779 |
| Total Pórtico 6 | | 80.0 | 123.5 | 31.8 | 31.8 | 59.6 | 326.7 | | 59.6 | 68.3 | 22.3 | 127.7 | 48.8 | 3.075 |
| *Pórtico 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C6-C7) | Desc. | 45.8 | 44.2 | 8.1 | 8.0 | 24.3 | 130.4 | | 11.7 | 28.7 | | 52.5 | 37.5 | 0.777 |
| 2(C7-C8) | Desc. | 28.3 | 42.5 | 7.9 | 8.0 | 24.1 | 110.8 | | 24.1 | 15.9 | | 42.5 | 28.3 | 0.769 |
| 3(C8-C9) | Desc. | 28.5 | 41.5 | 7.7 | 7.8 | 22.4 | 107.9 | | 22.4 | 15.5 | | 41.5 | 28.5 | 0.750 |
| 4(C9-C10) | Desc. | 8.3 | 44.1 | 8.1 | 8.0 | 22.4 | 90.9 | | 22.4 | 16.1 | | 52.4 | | 0.779 |
| Total Pórtico 7 | | 110.9 | 172.3 | 31.8 | 31.8 | 93.2 | 440.0 | | 80.6 | 76.2 | | 188.9 | 94.3 | 3.075 |

| | Tipo | A.neg. Kg | A.pos. kg | A.mon. kg | A.plel kg | A.est. kg | Total kg | Ø6 kg | Ø8 kg | Ø10 kg | Ø12 kg | Ø16 Kg | Ø20 kg | V.horm. m³ |
|------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| *Pórtico 8 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C1-C2) | Desc. | 14.2 | 19.5 | 8.1 | 8.0 | 11.2 | 61.0 | | 11.2 | 16.1 | 33.7 | | | 0.777 |
| 2(C2-C3) | Desc. | 8.7 | 18.3 | 7.9 | 8.0 | 11.2 | 54.1 | | 11.2 | 15.9 | 18.3 | 8.7 | | 0.769 |
| 3(C3-C4) | Desc. | 9.3 | 17.9 | 7.7 | 7.8 | 10.6 | 53.3 | | 10.6 | 15.5 | 27.2 | | | 0.750 |
| 4(C4-C5) | Desc. | 4.7 | 19.6 | 8.1 | 8.0 | 11.2 | 51.6 | | 11.2 | 16.1 | 24.3 | | | 0.779 |
| Total Pórtico 8 | | 36.9 | 75.3 | 31.8 | 31.8 | 44.2 | 220.0 | | 44.2 | 63.6 | 103.5 | 8.7 | | 3.075 |
| *Pórtico 9 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C32-C24) | Desc. | 14.2 | 19.8 | 8.2 | 8.0 | 11.2 | 61.4 | | 11.2 | 16.2 | 34.0 | | | 0.786 |
| 2(C24-C16) | Desc. | 15.4 | 18.7 | 7.8 | 7.9 | 11.2 | 61.0 | | 11.2 | 15.7 | 34.1 | | | 0.760 |
| 3(C16-C11) | Desc. | | 4.6 | 4.6 | 4.6 | 6.2 | 20.0 | | 6.2 | 13.8 | | | | 0.431 |
| 4(C11-C6) | Desc. | 5.3 | 13.8 | 5.9 | 5.9 | 7.8 | 38.7 | | 7.8 | 11.8 | 19.1 | | | 0.560 |
| 5(C6-C1) | Desc. | 3.6 | 14.0 | 6.0 | 6.0 | 7.8 | 37.4 | | 7.8 | 12.0 | 17.6 | | | 0.568 |
| Total Pórtico 9 | | 38.5 | 70.9 | 32.5 | 32.4 | 44.2 | 218.5 | | 44.2 | 69.5 | 104.8 | | | 3.105 |
| *Pórtico 10 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C33-C25) | Desc. | 46.5 | 46.2 | 8.3 | 8.0 | 24.6 | 133.6 | | 24.6 | 16.3 | | 21.2 | 71.5 | 0.789 |
| 2(C25-C17) | Desc. | 8.3 | 43.9 | 8.1 | 8.0 | 21.7 | 90.0 | | 10.0 | 27.8 | | 52.2 | | 0.776 |
| Total Pórtico 10 | | 54.8 | 90.1 | 16.4 | 16.0 | 46.3 | 223.6 | | 34.6 | 44.1 | | 73.4 | 71.5 | 1.565 |
| *Pórtico 11 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C12-C7) | Desc. | 9.0 | 14.2 | 6.2 | 6.0 | 7.8 | 43.2 | | 7.8 | 12.2 | 23.2 | | | 0.579 |
| 2(C7-C2) | Desc. | 3.7 | 15.1 | 6.0 | 6.0 | 7.8 | 38.6 | | 7.8 | 12.0 | 18.8 | | | 0.568 |
| Total Pórtico 11 | | 12.7 | 29.3 | 12.2 | 12.0 | 15.6 | 81.8 | | 15.6 | 24.2 | 42.0 | | | 1.147 |
| *Pórtico 12 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C12-C18) | Desc. | 8.1 | 14.6 | 6.2 | 5.6 | 7.8 | 42.3 | | 7.8 | 11.8 | 22.7 | | | 0.574 |
| *Pórtico 13 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C34-C26) | Desc. | 22.4 | 28.3 | 8.3 | 8.0 | 11.7 | 78.7 | | 11.7 | 16.3 | 4.7 | 46.0 | | 0.789 |
| 2(C26-C18) | Desc. | 5.5 | 26.0 | 8.1 | 8.0 | 11.8 | 59.4 | | 11.8 | 21.3 | | 26.3 | | 0.776 |
| Total Pórtico 13 | | 27.9 | 54.3 | 16.4 | 16.0 | 23.5 | 138.1 | | 23.5 | 37.6 | 4.7 | 72.3 | | 1.565 |
| *Pórtico 14 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C35-C27) | Desc. | 12.0 | 20.1 | 8.3 | 8.0 | 11.2 | 59.6 | | 11.2 | 16.3 | 32.1 | | | 0.789 |
| 2(C27-C19) | Desc. | 4.7 | 19.5 | 8.1 | 8.0 | 11.2 | 51.5 | | 11.2 | 16.1 | 24.2 | | | 0.776 |
| Total Pórtico 14 | | 16.7 | 39.6 | 16.4 | 16.0 | 22.4 | 111.1 | | 22.4 | 32.4 | 56.3 | | | 1.565 |
| *Pórtico 15 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C13-C8) | Desc. | 9.0 | 14.2 | 6.2 | 6.0 | 7.8 | 43.2 | | 7.8 | 12.2 | 23.2 | | | 0.579 |
| 2(C8-C3) | Desc. | 3.7 | 15.1 | 6.0 | 6.0 | 7.8 | 38.6 | | 7.8 | 12.0 | 18.8 | | | 0.568 |
| Total Pórtico 15 | | 12.7 | 29.3 | 12.2 | 12.0 | 15.6 | 81.8 | | 15.6 | 24.2 | 42.0 | | | 1.147 |
| *Pórtico 16 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C36-C28) | Desc. | 12.0 | 20.1 | 8.3 | 8.0 | 11.2 | 59.6 | | 11.2 | 16.3 | 32.1 | | | 0.789 |
| 2(C28-C20) | Desc. | 4.7 | 19.3 | 8.1 | 8.0 | 11.2 | 51.3 | | 11.2 | 16.1 | 24.0 | | | 0.776 |
| Total Pórtico 16 | | 16.7 | 39.4 | 16.4 | 16.0 | 22.4 | 110.9 | | 22.4 | 32.4 | 56.1 | | | 1.565 |
| *Pórtico 17 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C37-C29) | Desc. | 22.4 | 28.2 | 8.3 | 8.0 | 12.4 | 79.3 | | 12.4 | 16.3 | 4.7 | 45.9 | | 0.789 |
| 2(C29-C21) | Desc. | 5.5 | 25.9 | 8.1 | 8.0 | 11.7 | 59.2 | | 11.7 | 21.2 | | 26.3 | | 0.776 |
| Total Pórtico 17 | | 27.9 | 54.1 | 16.4 | 16.0 | 24.1 | 138.5 | | 24.1 | 37.5 | 4.7 | 72.2 | | 1.565 |
| *Pórtico 18 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C21-C14) | Desc. | 7.6 | 13.4 | 6.2 | 5.6 | 7.8 | 40.6 | | 7.8 | 11.8 | 21.0 | | | 0.573 |
| *Pórtico 19 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C14-C9) | Desc. | 9.0 | 14.2 | 6.2 | 6.0 | 7.8 | 43.2 | | 7.8 | 12.2 | 23.2 | | | 0.578 |
| 2(C9-C4) | Desc. | 3.7 | 15.1 | 6.0 | 6.0 | 7.8 | 38.6 | | 7.8 | 12.0 | 18.8 | | | 0.568 |
| Total Pórtico 19 | | 12.7 | 29.3 | 12.2 | 12.0 | 15.6 | 81.8 | | 15.6 | 24.2 | 42.0 | | | 1.146 |
| *Pórtico 20 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C38-C30) | Desc. | 46.1 | 45.1 | 8.3 | 8.0 | 22.6 | 130.1 | | 10.0 | 28.9 | | 53.4 | 37.8 | 0.789 |
| 2(C30-C22) | Desc. | 10.5 | 43.6 | 8.1 | 8.0 | 22.4 | 92.6 | | 22.4 | 16.1 | | 54.1 | | 0.776 |

| | Tipo | A.neg. Kg | A.pos. kg | A.mon. kg | A.piel kg | A.est. kg | Total kg | Ø6 kg | Ø8 kg | Ø10 kg | Ø12 kg | Ø16 Kg | Ø20 kg | V.horm. m³ |
|------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| Total Pórtico 20 | | 56.6 | 88.7 | 16.4 | 16.0 | 45.0 | 222.7 | | 32.4 | 45.0 | | 107.5 | 37.8 | 1.565 |
| *Pórtico 21 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C39-C31) | Desc. | 14.2 | 19.9 | 8.3 | 8.0 | 11.2 | 61.6 | | 11.2 | 16.3 | 34.1 | | | 0.789 |
| 2(C31-C23) | Desc. | 15.4 | 18.6 | 7.8 | 7.9 | 11.2 | 60.9 | | 11.2 | 15.7 | 34.0 | | | 0.757 |
| 3(C23-C15) | Desc. | | 6.7 | 4.6 | 4.7 | 6.2 | 22.2 | | 6.2 | 9.3 | 6.7 | | | 0.431 |
| 4(C15-C10) | Desc. | 5.3 | 13.8 | 5.9 | 5.9 | 7.8 | 38.7 | | 7.8 | 11.8 | 19.1 | | | 0.560 |
| 5(C10-C5) | Desc. | 3.6 | 14.0 | 6.0 | 6.0 | 7.8 | 37.4 | | 7.8 | 12.0 | 17.6 | | | 0.568 |
| Total Pórtico 21 | | 38.5 | 73.0 | 32.6 | 32.5 | 44.2 | 220.8 | | 44.2 | 65.1 | 111.5 | | | 3.105 |
| Total Forjado 2 | | 669.5 | 1207.2 | 398.3 | 393.3 | 655.6 | 3323.9 | | 618.7 | 856.7 | 920.9 | 675.2 | 252.4 | 37.848 |
| Forjado 3 | | | | | | | | | | | | | | |
| *Pórtico 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C32-C33) | Desc. | 4.0 | 10.3 | 5.9 | | 3.6 | 23.8 | 3.6 | | 11.7 | 8.5 | | | 0.352 |
| 2(C33-C34) | Desc. | 2.1 | 9.9 | 5.5 | | 3.6 | 21.1 | 3.6 | | 9.4 | 8.1 | | | 0.340 |
| 3(C34-C35) | Desc. | 1.0 | 5.1 | 3.0 | | 1.4 | 10.5 | 1.4 | | 4.7 | 4.4 | | | 0.166 |
| Total Pórtico 1 | | 7.1 | 25.3 | 14.4 | | 8.6 | 55.4 | 8.6 | | 25.8 | 21.0 | | | 0.858 |
| *Pórtico 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C36-C37) | Desc. | 3.2 | 5.1 | 3.0 | | 1.4 | 12.7 | 1.4 | | 6.9 | 4.4 | | | 0.166 |
| 2(C37-C38) | Desc. | 2.3 | 9.9 | 5.5 | | 3.6 | 21.3 | 3.6 | | 9.6 | 8.1 | | | 0.340 |
| 3(C38-C39) | Desc. | 1.7 | 10.3 | 5.9 | | 3.6 | 21.5 | 3.6 | | 9.4 | 8.5 | | | 0.352 |
| Total Pórtico 2 | | 7.2 | 25.3 | 14.4 | | 8.6 | 55.5 | 8.6 | | 25.9 | 21.0 | | | 0.858 |
| *Pórtico 3 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C24-C25) | Desc. | 8.7 | 13.6 | 5.9 | 5.8 | 7.8 | 41.8 | | 7.8 | 11.7 | 22.3 | | | 0.549 |
| 2(C25-C26) | Desc. | 3.7 | 13.2 | 5.5 | 5.6 | 7.8 | 35.8 | | 7.8 | 11.1 | 16.9 | | | 0.531 |
| 3(C26-C27) | Desc. | 2.4 | 6.5 | 3.0 | 2.8 | 3.4 | 18.1 | | 3.4 | 5.8 | 8.9 | | | 0.260 |
| Total Pórtico 3 | | 14.8 | 33.3 | 14.4 | 14.2 | 19.0 | 95.7 | | 19.0 | 28.6 | 48.1 | | | 1.340 |
| *Pórtico 4 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C28-C29) | Desc. | 6.1 | 6.5 | 3.0 | 2.8 | 3.4 | 21.8 | | 3.4 | 5.8 | 12.6 | | | 0.260 |
| 2(C29-C30) | Desc. | 5.1 | 13.2 | 5.5 | 5.6 | 7.8 | 37.2 | | 7.8 | 11.1 | 18.3 | | | 0.531 |
| 3(C30-C31) | Desc. | 3.6 | 13.6 | 5.9 | 5.8 | 7.8 | 36.7 | | 7.8 | 11.7 | 17.2 | | | 0.550 |
| Total Pórtico 4 | | 14.8 | 33.3 | 14.4 | 14.2 | 19.0 | 95.7 | | 19.0 | 28.6 | 48.1 | | | 1.341 |
| *Pórtico 5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C16-C17) | Desc. | 5.1 | 10.6 | 5.9 | | 3.6 | 25.2 | 3.6 | | 9.7 | 11.9 | | | 0.352 |
| 2(C17-C18) | Desc. | 6.7 | 10.2 | 5.5 | | 3.6 | 26.0 | 3.6 | | 7.6 | 14.8 | | | 0.340 |
| 3(C18-C19) | Desc. | | 2.8 | 2.7 | | 1.4 | 6.9 | 1.4 | | 5.5 | | | | 0.154 |
| 4(C19-C20) | Desc. | 11.8 | 14.2 | 4.6 | | 5.6 | 36.2 | 2.1 | 3.5 | 4.6 | 2.2 | 23.8 | | 0.275 |
| 5(C20-C21) | Desc. | | 2.8 | 2.7 | | 1.4 | 6.9 | 1.4 | | 5.5 | | | | 0.154 |
| 6(C21-C22) | Desc. | 3.4 | 10.4 | 5.5 | | 3.6 | 22.9 | 3.6 | | 7.8 | 11.5 | | | 0.340 |
| 7(C22-C23) | Desc. | 1.7 | 10.6 | 5.9 | | 3.6 | 21.8 | 3.6 | | 9.7 | 8.5 | | | 0.352 |
| Total Pórtico 5 | | 28.7 | 61.6 | 32.8 | | 22.8 | 145.9 | 19.3 | 3.5 | 50.4 | 48.9 | 23.8 | | 1.967 |
| *Pórtico 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C11-C12) | Desc. | 30.2 | 38.8 | 8.1 | 8.0 | 14.0 | 99.1 | | 14.0 | 16.1 | 12.2 | 31.3 | 25.5 | 0.777 |
| 2(C12-C13) | Desc. | 17.0 | 26.7 | 7.9 | 8.0 | 13.5 | 73.1 | | 13.5 | 15.9 | | 43.7 | | 0.769 |
| 3(C13-C14) | Desc. | 25.2 | 24.8 | 7.7 | 7.8 | 12.9 | 78.4 | | 12.9 | 20.3 | | 20.0 | 25.2 | 0.750 |
| 4(C14-C15) | Desc. | 4.7 | 45.9 | 8.1 | 8.0 | 15.7 | 82.4 | | 15.7 | 16.1 | 4.7 | 45.9 | | 0.779 |
| Total Pórtico 6 | | 77.1 | 136.2 | 31.8 | 31.8 | 56.1 | 333.0 | | 56.1 | 68.4 | 16.9 | 140.9 | 50.7 | 3.075 |
| *Pórtico 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C6-C7) | Desc. | 42.9 | 58.2 | 8.1 | 8.0 | 25.2 | 142.4 | | 11.7 | 29.6 | 4.7 | | 96.4 | 0.777 |
| 2(C7-C8) | Desc. | 27.8 | 42.5 | 7.9 | 8.0 | 25.3 | 111.5 | | 25.3 | 15.9 | | 42.5 | 27.8 | 0.769 |
| 3(C8-C9) | Desc. | 38.4 | 36.5 | 7.7 | 7.8 | 23.7 | 114.1 | | 12.9 | 26.3 | 6.4 | 30.1 | 38.4 | 0.750 |
| 4(C9-C10) | Desc. | 4.7 | 56.0 | 8.1 | 8.0 | 21.8 | 98.6 | | 21.8 | 16.1 | 4.7 | 23.0 | 33.0 | 0.779 |
| Total Pórtico 7 | | 113.8 | 193.2 | 31.8 | 31.8 | 96.0 | 466.6 | | 71.7 | 87.9 | 15.8 | 95.6 | 195.6 | 3.075 |

| | Tipo | A.neg. Kg | A.pos. kg | A.mon. kg | A.piel kg | A.est. kg | Total kg | Ø6 kg | Ø8 kg | Ø10 kg | Ø12 kg | Ø16 Kg | Ø20 kg | V.horm. m³ |
|--------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| *Pórtico 8 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C1-C2) | Desc. | 16.8 | 24.0 | 8.1 | | 6.5 | 55.4 | 6.5 | | 10.3 | 3.2 | 20.8 | 14.6 | 0.497 |
| 2(C2-C3) | Desc. | 13.6 | 18.4 | 7.9 | | 6.7 | 46.6 | 6.7 | | 7.9 | 18.4 | | 13.6 | 0.492 |
| 3(C3-C4) | Desc. | 14.8 | 15.9 | 7.7 | | 5.9 | 44.3 | 5.9 | | 12.4 | 11.2 | | 14.8 | 0.480 |
| 4(C4-C5) | Desc. | 2.2 | 25.5 | 8.1 | | 6.2 | 42.0 | 6.2 | | 14.8 | | 21.0 | | 0.499 |
| Total Pórtico 8 | | 47.4 | 83.8 | 31.8 | | 25.3 | 188.3 | 25.3 | | 45.4 | 32.8 | 41.8 | 43.0 | 1.968 |
| *Pórtico 9 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C32-C24) | Desc. | 17.2 | 25.7 | 8.2 | | 7.0 | 58.1 | 7.0 | | 15.0 | | 21.1 | 15.0 | 0.503 |
| 2(C24-C16) | Desc. | 18.3 | 19.0 | 7.8 | | 6.0 | 51.1 | 6.0 | | 7.8 | 19.0 | 18.3 | | 0.486 |
| 3(C16-C11) | Desc. | | 9.0 | 4.6 | | 2.9 | 16.5 | 2.9 | | 6.9 | 6.7 | | | 0.276 |
| 4(C11-C6) | Desc. | 2.5 | 11.4 | 5.9 | | 3.6 | 23.4 | 3.6 | | 11.3 | 8.5 | | | 0.358 |
| 5(C6-C1) | Desc. | 1.7 | 10.6 | 6.0 | | 3.6 | 21.9 | 3.6 | | 9.5 | 8.8 | | | 0.363 |
| Total Pórtico 9 | | 39.7 | 75.7 | 32.5 | | 23.1 | 171.0 | 23.1 | | 50.5 | 43.0 | 39.4 | 15.0 | 1.986 |
| *Pórtico 10 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C33-C25) | Desc. | 43.6 | 57.0 | 8.3 | 8.0 | 24.2 | 141.1 | | 10.7 | 29.8 | 4.7 | 23.7 | 72.2 | 0.789 |
| 2(C25-C17) | Desc. | 4.7 | 45.7 | 8.1 | 8.0 | 20.7 | 87.2 | | 20.7 | 16.1 | 4.7 | 45.7 | | 0.776 |
| Total Pórtico 10 | | 48.3 | 102.7 | 16.4 | 16.0 | 44.9 | 228.3 | | 31.4 | 45.9 | 9.4 | 69.4 | 72.2 | 1.565 |
| *Pórtico 11 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C12-C7) | Desc. | 9.2 | 14.2 | 6.2 | 6.0 | 7.8 | 43.4 | | 7.8 | 12.2 | 23.4 | | | 0.579 |
| 2(C7-C2) | Desc. | 3.6 | 15.1 | 6.0 | 6.0 | 7.8 | 38.5 | | 7.8 | 12.0 | 18.7 | | | 0.568 |
| Total Pórtico 11 | | 12.8 | 29.3 | 12.2 | 12.0 | 15.6 | 81.9 | | 15.6 | 24.2 | 42.1 | | | 1.147 |
| *Pórtico 12 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C12-C18) | Desc. | 8.4 | 14.1 | 6.2 | 5.6 | 7.8 | 42.1 | | 7.8 | 11.8 | 22.5 | | | 0.574 |
| *Pórtico 13 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C34-C26) | Desc. | 30.2 | 37.8 | 8.3 | 8.0 | 14.0 | 98.3 | | 14.0 | 16.3 | 4.7 | 37.8 | 25.5 | 0.789 |
| 2(C26-C18) | Desc. | 4.7 | 32.8 | 8.1 | 8.0 | 12.8 | 66.4 | | 12.8 | 16.1 | 16.7 | 20.8 | | 0.776 |
| Total Pórtico 13 | | 34.9 | 70.6 | 16.4 | 16.0 | 26.8 | 164.7 | | 26.8 | 32.4 | 21.4 | 58.6 | 25.5 | 1.565 |
| *Pórtico 14 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C35-C27) | Desc. | 12.2 | 21.3 | 8.3 | 8.0 | 11.2 | 61.0 | | 11.2 | 16.3 | 33.5 | | | 0.789 |
| 2(C27-C19) | Desc. | 4.7 | 20.5 | 8.1 | 8.0 | 11.2 | 52.5 | | 11.2 | 16.1 | 25.2 | | | 0.776 |
| Total Pórtico 14 | | 16.9 | 41.8 | 16.4 | 16.0 | 22.4 | 113.5 | | 22.4 | 32.4 | 58.7 | | | 1.565 |
| *Pórtico 15 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C13-C8) | Desc. | 9.0 | 14.2 | 6.2 | 6.0 | 7.8 | 43.2 | | 7.8 | 12.2 | 23.2 | | | 0.579 |
| 2(C8-C3) | Desc. | 3.6 | 14.0 | 6.0 | 6.0 | 7.8 | 37.4 | | 7.8 | 12.0 | 17.6 | | | 0.568 |
| Total Pórtico 15 | | 12.6 | 28.2 | 12.2 | 12.0 | 15.6 | 80.6 | | 15.6 | 24.2 | 40.8 | | | 1.147 |
| *Pórtico 16 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C36-C28) | Desc. | 12.2 | 21.3 | 8.3 | 8.0 | 11.2 | 61.0 | | 11.2 | 16.3 | 33.5 | | | 0.789 |
| 2(C28-C20) | Desc. | 4.7 | 20.6 | 8.1 | 8.0 | 11.2 | 52.6 | | 11.2 | 16.1 | 25.3 | | | 0.776 |
| Total Pórtico 16 | | 16.9 | 41.9 | 16.4 | 16.0 | 22.4 | 113.6 | | 22.4 | 32.4 | 58.8 | | | 1.565 |
| *Pórtico 17 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C37-C29) | Desc. | 30.2 | 35.2 | 8.3 | 8.0 | 14.0 | 95.7 | | 14.0 | 16.3 | 18.8 | 21.1 | 25.5 | 0.789 |
| 2(C29-C21) | Desc. | 4.7 | 33.1 | 8.1 | 8.0 | 12.8 | 66.7 | | 12.8 | 16.1 | 17.0 | 20.8 | | 0.776 |
| Total Pórtico 17 | | 34.9 | 68.3 | 16.4 | 16.0 | 26.8 | 162.4 | | 26.8 | 32.4 | 35.8 | 41.9 | 25.5 | 1.565 |
| *Pórtico 18 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C21-C14) | Desc. | 10.9 | 13.4 | 6.2 | 5.6 | 7.8 | 43.9 | | 7.8 | 11.8 | 24.3 | | | 0.573 |
| *Pórtico 19 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C14-C9) | Desc. | 9.2 | 14.2 | 6.2 | 6.0 | 7.8 | 43.4 | | 7.8 | 12.2 | 23.4 | | | 0.578 |
| 2(C9-C4) | Desc. | 3.6 | 15.1 | 6.0 | 6.0 | 7.8 | 38.5 | | 7.8 | 12.0 | 18.7 | | | 0.568 |
| Total Pórtico 19 | | 12.8 | 29.3 | 12.2 | 12.0 | 15.6 | 81.9 | | 15.6 | 24.2 | 42.1 | | | 1.146 |
| *Pórtico 20 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C38-C30) | Desc. | 44.0 | 56.7 | 8.3 | 8.0 | 23.8 | 140.8 | | 11.2 | 28.9 | 4.7 | 23.4 | 72.6 | 0.789 |
| 2(C30-C22) | Desc. | 4.7 | 45.7 | 8.1 | 8.0 | 20.7 | 87.2 | | 20.7 | 16.1 | 4.7 | 45.7 | | 0.776 |

| | Tipo | A.neg. Kg | A.pos. kg | A.mon. kg | A.piel kg | A.est. kg | Total kg | Ø6 kg | Ø8 kg | Ø10 kg | Ø12 kg | Ø16 Kg | Ø20 kg | V.horm. m³ |
|-------------------|-------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| Total Pórtico 20 | | 48.7 | 102.4 | 16.4 | 16.0 | 44.5 | 228.0 | | 31.9 | 45.0 | 9.4 | 69.1 | 72.6 | 1.565 |
| *Pórtico 21 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1(C39-C31) | Desc. | 17.2 | 25.7 | 8.3 | | 7.0 | 58.2 | 7.0 | | 15.1 | | 21.1 | 15.0 | 0.505 |
| 2(C31-C23) | Desc. | 18.3 | 19.0 | 7.8 | | 6.0 | 51.1 | 6.0 | | 7.8 | 19.0 | 18.3 | | 0.484 |
| 3(C23-C15) | Desc. | | 9.0 | 4.6 | | 2.9 | 16.5 | 2.9 | | 6.9 | 6.7 | | | 0.276 |
| 4(C15-C10) | Desc. | 2.5 | 10.7 | 5.9 | | 3.6 | 22.7 | 3.6 | | 10.6 | 8.5 | | | 0.358 |
| 5(C10-C5) | Desc. | 1.7 | 10.6 | 6.0 | | 3.6 | 21.9 | 3.6 | | 9.5 | 8.8 | | | 0.363 |
| Total Pórtico 21 | | 39.7 | 75.0 | 32.6 | | 23.1 | 170.4 | 23.1 | | 49.9 | 43.0 | 39.4 | 15.0 | 1.986 |
| Total Forjado 3 | | 648.4 | 1284.7 | 398.3 | 235.2 | 551.8 | 3118.4 | 108.0 | 393.4 | 778.1 | 703.9 | 619.9 | 515.1 | 32.431 |
| Total Obra | | 1514.3 | 3067.9 | 1193.6 | 628.5 | 1487.4 | 7891.7 | 383.9 | 1012.1 | 2247.6 | 2174.9 | 1295.1 | 778.1 | 88.617 |

- A. neg.: Armado de negativos
- A. pos.: Armado de positivos
- A. mon.: Armado montaje
- A. piel: Armado piel
- A. est.: Armado estribos

3.7 Dimensionamiento de columnas.

Para dimensionar se debe realizar un pre-dimensionamiento bajo los siguientes puntos:

a) Columnas externas

- Área de la columna
- $h = P_{servicio} / 0,45 f'c$

b) Columnas centrales

- Área de la columna
- $h = P_{servicio} / 0,35 f'c$

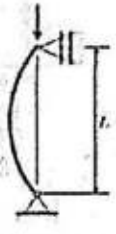
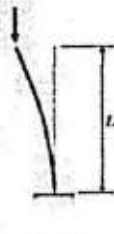


| Columnas | | | |
|---|---|---|---|
| (a) Columna articulada-articulada | (b) Columna empotrada-libre | (c) Columna empotrada-empotrada | (d) Columna empotrada-articulada |
| $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$ | $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$ | $P_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$ | $P_{cr} = \frac{2.046 \pi^2 EI}{L^2}$ |
|  |  |  |  |
| $L_e = L$ | $L_e = 2L$ | $L_e = 0.5L$ | $L_e = 0.699L$ |
| $K = 1$ | $K = 2$ | $K = 0.5$ | $K = 0.699$ |

Figura 3.17

- Tramo: Nivel inicial / nivel final del tramo entre plantas.
- Armaduras:
 - Primer sumando: Armadura de esquina.
 - Segundo sumando: Armadura de cara X.
 - Tercer sumando: Armadura de cara Y.
- Estribos: Se indica solamente el estribo perimetral dispuesto. Si existen otros estribos y ramas debe consultar el dibujo del cuadro de pilares. Pueden existir distintas separaciones en cabeza, pie y nudo, que puede consultar en opciones y despiece de pilares.
- H: Altura libre del tramo de pilar sin arriostramiento intermedio.
- Hpx: Longitud de pandeo del tramo de pilar en dirección 'X'.
- Hpy: Longitud de pandeo del tramo de pilar en dirección 'Y'.
- Pésimos: Esfuerzos pésimos (mayorados), correspondientes a la peor combinación que produce las mayores tensiones y/o deformaciones. Incluye la amplificación de esfuerzos debidos a los efectos de segundo orden y excentricidad adicional por pandeo.
- Referencia: Esfuerzos pésimos (mayorados), correspondientes a la peor combinación que produce las mayores tensiones y/o deformaciones. Incluye la amplificación de esfuerzos debidos a los efectos de segundo orden (no incluye pandeo).
- Los esfuerzos están referidos a ejes locales del pilar en la tabla 3.12

| Pilar | Planta | Dimensión (cm) | Tramo (m) | Armaduras | Estribos | Nsd | Vsdx | Vrd1x | Vrd2x | Vsdy | Vrd1y | Vrd2y |
|-------|-----------|----------------|-------------|-------------------|-----------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | | | | | | (t) | (t) | (t) | (t) | (t) | (t) | (t) |
| C1 | Forjado 3 | 60x30 | 3.40/5.88 | 4Ø16 +4Ø16 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | -25.61 | 0.42 | 85.12 | 8.51 | -0.43 | 78.29 | 9.83 |
| | Forjado 2 | 60x30 | 0.00/2.95 | 4Ø16 +4Ø16 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | -22.09 | -0.84 | 85.12 | 9.00 | -0.26 | 78.29 | 10.28 |
| | Forjado 1 | 60x30 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 +4Ø16 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | -19.33 | 0.45 | 85.12 | 9.38 | -0.32 | 78.29 | 10.64 |
| C2 | Forjado 3 | 80x35 | 3.40/5.88 | 4Ø20 +6Ø20 +4Ø20 | Ø6c/24 cm | 31.38 | 0.40 | 134.51 | 19.41 | -16.14 | 123.96 | 21.15 |
| | Forjado 2 | 80x35 | 0.00/2.95 | 4Ø20 +6Ø20 +4Ø20 | Ø6c/24 cm | 34.80 | -0.57 | 134.51 | 19.89 | 6.44 | 123.96 | 21.60 |
| | Forjado 1 | 80x35 | -1.50/-0.30 | 4Ø20 +6Ø20 +4Ø20 | Ø6c/24 cm | 37.51 | 0.47 | 134.51 | 20.28 | -6.04 | 123.96 | 21.95 |
| C3 | Forjado 3 | 85x40 | 3.40/5.88 | 4Ø25 +10Ø25 +2Ø16 | Ø8c/20 cm | 58.53 | 1.19 | 163.30 | 37.82 | -31.55 | 151.41 | 35.21 |
| | Forjado 2 | 85x40 | 0.00/2.95 | 4Ø25 +10Ø25 +2Ø16 | Ø8c/20 cm | 62.18 | -0.54 | 163.30 | 38.34 | 12.63 | 151.41 | 35.69 |
| | Forjado 1 | 85x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø25 +10Ø25 +2Ø16 | Ø8c/20 cm | 65.03 | 0.64 | 163.30 | 38.74 | -11.87 | 151.41 | 36.06 |
| C4 | Forjado 3 | 95x40 | 3.40/5.88 | 4Ø25 +8Ø25 +2Ø25 | Ø8c/27 cm | 67.63 | 1.15 | 183.38 | 37.35 | -40.27 | 169.23 | 38.02 |
| | Forjado 2 | 95x40 | 0.00/2.95 | 4Ø25 +8Ø25 +2Ø25 | Ø8c/27 cm | 71.35 | -0.46 | 183.38 | 37.88 | 16.13 | 169.23 | 38.51 |
| | Forjado 1 | 95x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø25 +8Ø25 +2Ø25 | Ø8c/27 cm | 74.20 | 0.58 | 183.38 | 38.29 | -15.17 | 169.23 | 38.89 |
| C5 | Forjado 3 | 90x40 | 3.40/5.88 | 4Ø32 +6Ø32 +2Ø32 | Ø8c/27 cm | 66.97 | 1.37 | 172.48 | 37.91 | -39.79 | 158.72 | 36.76 |
| | Forjado 2 | 90x40 | 0.00/2.95 | 4Ø32 +6Ø32 +2Ø32 | Ø8c/27 cm | 70.67 | -0.47 | 172.48 | 38.44 | 15.94 | 158.72 | 37.24 |
| | Forjado 1 | 90x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø32 +6Ø32 +2Ø32 | Ø8c/27 cm | 73.53 | 0.60 | 172.48 | 38.84 | -14.99 | 158.72 | 37.61 |

| Pilar | Planta | Dimensión (cm) | Tramo (m) | Armaduras | Estribos | Nsd | Vsdx | Vrd1x | Vrd2x | Vsdy | Vrd1y | Vrd2y |
|-------|-----------|----------------|-------------|-------------------|-----------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | | | | | | (t) | (t) | (t) | (t) | (t) | (t) | (t) |
| C6 | Forjado 3 | 95x40 | 3.40/5.88 | 4Ø25 +10Ø25 +2Ø20 | Ø8c/27 cm | 58.67 | 1.75 | 183.55 | 35.62 | -32.37 | 169.23 | 33.58 |
| | Forjado 2 | 95x40 | 0.00/2.95 | 4Ø25 +10Ø25 +2Ø20 | Ø8c/27 cm | 62.33 | -0.50 | 183.55 | 36.14 | 12.97 | 169.23 | 34.06 |
| | Forjado 1 | 95x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø25 +10Ø25 +2Ø20 | Ø8c/27 cm | 65.18 | 0.65 | 183.55 | 36.55 | -12.19 | 169.23 | 34.43 |
| C7 | Forjado 3 | 80x35 | 3.40/5.88 | 4Ø20 +8Ø20 +4Ø16 | Ø6c/20 cm | 31.43 | 2.53 | 134.68 | 19.98 | -17.10 | 123.96 | 21.64 |
| | Forjado 2 | 80x35 | 0.00/2.95 | 4Ø20 +8Ø20 +4Ø16 | Ø6c/20 cm | 34.67 | -0.49 | 134.68 | 20.44 | 6.85 | 123.96 | 22.06 |
| | Forjado 1 | 80x35 | -1.50/-0.30 | 4Ø20 +8Ø20 +4Ø16 | Ø6c/20 cm | 37.56 | 0.62 | 134.68 | 20.84 | -6.41 | 123.96 | 22.44 |
| C8 | Forjado 3 | 60x30 | 3.40/5.88 | 4Ø16 +4Ø16 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | -11.84 | 0.02 | 85.12 | 10.43 | -0.82 | 78.29 | 11.59 |
| | Forjado 2 | 60x30 | 0.00/2.69 | 4Ø16 +4Ø16 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 0.99 | -2.06 | 85.12 | 12.21 | -0.37 | 78.29 | 13.24 |
| | Forjado 1 | 60x30 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 +4Ø16 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 4.91 | 1.41 | 85.12 | 12.76 | -0.25 | 78.29 | 13.74 |
| C9 | Forjado 3 | 80x40 | 3.40/5.88 | 4Ø20 +4Ø12 +2Ø20 | Ø6c/15 cm | 42.68 | -28.06 | 153.72 | 28.88 | -0.03 | 145.16 | 24.20 |
| | Forjado 2 | 80x40 | 0.00/2.95 | 4Ø20 +4Ø12 +2Ø20 | Ø6c/15 cm | 46.28 | 10.62 | 153.72 | 29.39 | -0.12 | 145.16 | 24.68 |
| | Forjado 1 | 80x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø20 +4Ø12 +2Ø20 | Ø6c/15 cm | 49.10 | -9.31 | 153.72 | 29.79 | 0.03 | 145.16 | 25.06 |
| C10 | Forjado 3 | 60x35 | 3.40/5.88 | 4Ø16 +2Ø12 +2Ø16 | Ø6c/15 cm | 69.95 | 17.42 | 99.18 | 22.69 | -0.53 | 93.78 | 21.21 |
| | Forjado 2 | 60x35 | 0.00/2.69 | 4Ø16 +2Ø12 +2Ø16 | Ø6c/15 cm | 91.60 | -13.52 | 99.18 | 25.70 | -0.15 | 93.78 | 24.06 |
| | Forjado 1 | 70x35 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 +4Ø12 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 95.54 | 10.28 | 117.14 | 27.80 | 0.06 | 109.53 | 27.64 |
| C11 | Forjado 3 | 80x40 | 3.40/5.88 | 4Ø25 +4Ø12 +4Ø25 | Ø8c/15 cm | 62.95 | -46.41 | 152.80 | 52.68 | 0.15 | 143.83 | 34.53 |
| | Forjado 2 | 80x40 | 0.00/2.95 | 4Ø25 +4Ø12 +4Ø25 | Ø8c/15 cm | 66.66 | 17.85 | 152.80 | 53.20 | -0.08 | 143.83 | 35.02 |
| | Forjado 1 | 80x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø25 +4Ø12 +4Ø25 | Ø8c/15 cm | 69.49 | -15.79 | 152.80 | 53.60 | 0.04 | 143.83 | 35.39 |
| C12 | Forjado 3 | 80x40 | 3.40/5.88 | 4Ø16 +4Ø12 +4Ø16 | Ø6c/15 cm | 61.60 | 31.22 | 154.13 | 35.70 | 0.58 | 145.57 | 25.82 |
| | Forjado 2 | 80x40 | 0.00/2.69 | 4Ø16 +4Ø12 +4Ø16 | Ø6c/15 cm | 76.87 | -16.44 | 154.13 | 37.86 | -0.13 | 145.57 | 27.86 |
| | Forjado 1 | 80x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 +4Ø12 +4Ø16 | Ø6c/15 cm | 80.73 | 12.70 | 154.13 | 38.41 | 0.22 | 145.57 | 28.38 |
| C13 | Forjado 3 | 80x40 | 3.40/5.88 | 4Ø25 +4Ø12 +4Ø25 | Ø8c/15 cm | 62.97 | -46.35 | 152.80 | 52.68 | 0.14 | 143.83 | 34.53 |
| | Forjado 2 | 80x40 | 0.00/2.95 | 4Ø25 +4Ø12 +4Ø25 | Ø8c/15 cm | 66.68 | 17.81 | 152.80 | 53.20 | -0.04 | 143.83 | 35.02 |
| | Forjado 1 | 80x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø25 +4Ø12 +4Ø25 | Ø8c/15 cm | 69.51 | -15.77 | 152.80 | 53.60 | 0.04 | 143.83 | 35.40 |
| C14 | Forjado 3 | 80x35 | 3.40/5.88 | 4Ø20 +8Ø20 +4Ø16 | Ø6c/20 cm | 122.31 | 31.42 | 134.68 | 32.84 | -3.64 | 123.96 | 33.48 |
| | Forjado 2 | 80x35 | 0.00/2.69 | 4Ø20 +8Ø20 +4Ø16 | Ø6c/20 cm | 134.45 | -12.00 | 134.68 | 34.56 | -0.80 | 123.96 | 35.06 |
| | Forjado 1 | 80x35 | -1.50/-0.30 | 4Ø20 +8Ø20 +4Ø16 | Ø6c/20 cm | 138.14 | 9.48 | 134.68 | 35.08 | -0.06 | 123.96 | 35.54 |
| C15 | Forjado 3 | 80x40 | 3.40/5.88 | 4Ø20 +4Ø12 +2Ø20 | Ø6c/15 cm | 42.27 | -27.81 | 153.72 | 28.82 | 0.35 | 145.16 | 24.15 |
| | Forjado 2 | 80x40 | 0.00/2.95 | 4Ø20 +4Ø12 +2Ø20 | Ø6c/15 cm | 45.84 | 10.48 | 153.72 | 29.33 | 0.00 | 145.16 | 24.63 |
| | Forjado 1 | 80x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø20 +4Ø12 +2Ø20 | Ø6c/15 cm | 48.66 | -9.21 | 153.72 | 29.73 | 0.05 | 145.16 | 25.00 |
| C16 | Forjado 3 | 60x25 | 3.40/5.88 | 4Ø20 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 99.56 | 17.62 | 70.59 | 25.53 | 2.28 | 62.79 | 22.13 |
| | Forjado 2 | 60x25 | 0.00/2.69 | 4Ø20 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 113.94 | -6.58 | 70.59 | 27.52 | 0.40 | 62.79 | 23.90 |
| | Forjado 1 | 60x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø20 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 117.75 | 5.01 | 70.59 | 28.05 | 0.26 | 62.79 | 24.37 |
| C17 | Forjado 3 | 60x30 | 3.40/5.88 | 4Ø16 +4Ø16 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | -25.89 | 0.99 | 85.12 | 8.47 | 0.73 | 78.29 | 9.80 |
| | Forjado 2 | 60x30 | 0.00/2.95 | 4Ø16 +4Ø16 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | -22.57 | -0.94 | 85.12 | 8.93 | 0.13 | 78.29 | 10.22 |
| | Forjado 1 | 60x30 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 +4Ø16 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | -19.83 | 0.50 | 85.12 | 9.32 | 0.44 | 78.29 | 10.57 |
| C18 | Forjado 3 | 80x30 | 3.40/5.88 | 4Ø25 +8Ø20 +2Ø25 | Ø8c/20 cm | 32.01 | 1.18 | 114.60 | 25.35 | 15.69 | 102.41 | 23.83 |
| | Forjado 2 | 80x30 | 0.00/2.95 | 4Ø25 +8Ø20 +2Ø25 | Ø8c/20 cm | 35.52 | -0.62 | 114.60 | 25.84 | -6.34 | 102.41 | 24.27 |
| | Forjado 1 | 80x30 | -1.50/-0.30 | 4Ø25 +8Ø20 +2Ø25 | Ø8c/20 cm | 38.22 | 0.48 | 114.60 | 26.22 | 5.98 | 102.41 | 24.61 |
| C19 | Forjado 3 | 90x40 | 3.40/5.88 | 4Ø25 +10Ø25 +2Ø16 | Ø8c/20 cm | 57.24 | 1.79 | 173.50 | 39.19 | 31.39 | 160.32 | 35.67 |
| | Forjado 2 | 90x40 | 0.00/2.95 | 4Ø25 +10Ø25 +2Ø16 | Ø8c/20 cm | 60.95 | -0.58 | 173.50 | 39.71 | -12.64 | 160.32 | 36.16 |
| | Forjado 1 | 90x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø25 +10Ø25 +2Ø16 | Ø8c/20 cm | 63.80 | 0.64 | 173.50 | 40.12 | 11.91 | 160.32 | 36.54 |
| C20 | Forjado 3 | 95x40 | 3.40/5.88 | 4Ø32 +8Ø32 +2Ø32 | Ø8c/27 cm | 68.43 | 1.36 | 182.67 | 39.44 | 40.82 | 167.53 | 40.81 |
| | Forjado 2 | 95x40 | 0.00/2.95 | 4Ø32 +8Ø32 +2Ø32 | Ø8c/27 cm | 71.20 | -0.40 | 182.67 | 39.83 | -16.41 | 167.53 | 41.17 |
| | Forjado 1 | 95x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø32 +8Ø32 +2Ø32 | Ø8c/27 cm | 74.05 | 0.50 | 182.67 | 40.23 | 15.47 | 167.53 | 41.54 |
| C21 | Forjado 3 | 95x40 | 3.40/5.88 | 4Ø32 +6Ø32 +2Ø32 | Ø8c/27 cm | 67.08 | 1.97 | 182.67 | 39.25 | 39.67 | 167.53 | 37.43 |
| | Forjado 2 | 95x40 | 0.00/2.95 | 4Ø32 +6Ø32 +2Ø32 | Ø8c/27 cm | 70.78 | -0.50 | 182.67 | 39.77 | -15.95 | 167.53 | 37.91 |
| | Forjado 1 | 95x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø32 +6Ø32 +2Ø32 | Ø8c/27 cm | 73.64 | 0.60 | 182.67 | 40.17 | 15.04 | 167.53 | 38.28 |
| C22 | Forjado 3 | 85x40 | 3.40/5.88 | 4Ø25 +10Ø25 +2Ø16 | Ø8c/20 cm | 58.78 | 2.26 | 163.30 | 37.86 | 31.90 | 151.41 | 35.24 |
| | Forjado 2 | 85x40 | 0.00/2.95 | 4Ø25 +10Ø25 +2Ø16 | Ø8c/20 cm | 62.26 | -0.44 | 163.30 | 38.35 | -12.82 | 151.41 | 35.70 |
| | Forjado 1 | 85x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø25 +10Ø25 +2Ø16 | Ø8c/20 cm | 65.11 | 0.57 | 163.30 | 38.75 | 12.10 | 151.41 | 36.07 |
| C23 | Forjado 3 | 80x40 | 3.40/5.88 | 4Ø16 +10Ø16 +4Ø16 | Ø6c/20 cm | 22.86 | 3.65 | 154.13 | 25.66 | 15.87 | 145.16 | 21.22 |
| | Forjado 2 | 80x40 | 0.00/2.95 | 4Ø16 +10Ø16 +4Ø16 | Ø6c/20 cm | 26.73 | -0.75 | 154.13 | 26.21 | -6.38 | 145.16 | 21.73 |
| | Forjado 1 | 80x40 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 +10Ø16 +4Ø16 | Ø6c/20 cm | 29.63 | 0.79 | 154.13 | 26.62 | 6.04 | 145.16 | 22.12 |
| C24 | Forjado 3 | 60x30 | 3.40/5.88 | 4Ø16 +4Ø16 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | -6.85 | -0.18 | 85.12 | 11.12 | 0.33 | 78.29 | 12.23 |
| | Forjado 2 | 60x30 | 0.00/2.69 | 4Ø16 +4Ø16 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 7.27 | -0.70 | 85.12 | 13.09 | 0.20 | 78.29 | 14.04 |
| | Forjado 1 | 60x30 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 +4Ø16 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 10.43 | 1.38 | 85.12 | 13.53 | 0.16 | 78.29 | 14.45 |

| Pilar | Planta | Dimensión (cm) | Tramo (m) | Armaduras | Estribos | Nsd | Vsdx | Vrd1x | Vrd2x | Vsdy | Vrd1y | Vrd2y |
|-------|-----------|----------------|-------------|------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | (t) | (t) | (t) | (t) | (t) | (t) | (t) |
| C25 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 15.97 | 0.44 | 39.25 | 8.97 | -0.35 | 37.10 | 7.41 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 32.88 | -0.17 | 39.25 | 11.20 | -0.29 | 37.10 | 9.52 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 36.59 | 0.19 | 39.25 | 11.69 | -0.29 | 37.10 | 9.98 |
| C26 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 15.64 | 0.65 | 39.25 | 8.92 | -0.35 | 37.10 | 7.36 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 32.32 | -0.21 | 39.25 | 11.12 | -0.27 | 37.10 | 9.45 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 36.02 | 0.28 | 39.25 | 11.61 | -0.30 | 37.10 | 9.91 |
| C27 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 16.92 | -0.07 | 39.25 | 9.09 | -0.36 | 37.10 | 7.52 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 34.02 | -0.35 | 39.25 | 11.35 | -0.25 | 37.10 | 9.66 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 37.69 | 0.33 | 39.25 | 11.83 | -0.31 | 37.10 | 10.12 |
| C28 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø16 | Ø6c/16 cm | 7.56 | 2.99 | 38.99 | 7.77 | -0.30 | 36.75 | 6.77 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø16 | Ø6c/16 cm | 16.30 | 1.02 | 38.99 | 8.92 | -0.21 | 36.75 | 7.85 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 | Ø6c/16 cm | 18.89 | 0.21 | 38.99 | 9.26 | -0.31 | 36.75 | 8.17 |
| C29 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 36.80 | -0.49 | 39.25 | 11.72 | -0.08 | 37.10 | 10.01 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 79.96 | 0.51 | 39.25 | 17.41 | -0.03 | 37.10 | 15.39 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 84.44 | -0.48 | 39.25 | 18.00 | -0.04 | 37.10 | 15.95 |
| C30 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 41.20 | 0.96 | 39.25 | 12.30 | -0.14 | 37.10 | 10.55 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 82.86 | -0.30 | 39.25 | 17.80 | -0.08 | 37.10 | 15.75 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 87.43 | 0.37 | 39.25 | 18.40 | 0.01 | 37.10 | 16.32 |
| C31 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 42.48 | -0.53 | 39.25 | 12.47 | -0.17 | 37.10 | 10.71 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 84.32 | -0.39 | 39.25 | 17.99 | -0.12 | 37.10 | 15.94 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 88.81 | 0.44 | 39.25 | 18.58 | 0.00 | 37.10 | 16.50 |
| C32 | Forjado 3 | 40x25 | 3.40/5.99 | 4Ø16 +2Ø12 +2Ø16 | Ø6c/15 cm | 17.96 | 6.54 | 45.36 | 10.76 | -0.21 | 42.13 | 10.13 |
| | Forjado 2 | 40x25 | 0.00/2.74 | 4Ø16 +2Ø12 +2Ø16 | Ø6c/15 cm | 37.44 | 2.72 | 45.36 | 13.36 | -0.09 | 42.13 | 12.55 |
| | Forjado 1 | 40x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 +2Ø12 +2Ø16 | Ø6c/15 cm | 40.93 | -1.14 | 45.36 | 13.82 | 0.05 | 42.13 | 12.98 |
| C33 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 21.47 | -0.57 | 39.25 | 9.69 | -0.08 | 37.10 | 8.09 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 53.30 | 0.89 | 39.25 | 13.89 | -0.12 | 37.10 | 12.06 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 56.84 | -0.79 | 39.25 | 14.36 | 0.55 | 37.10 | 12.51 |
| C34 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 27.82 | 0.95 | 39.25 | 10.53 | 0.04 | 37.10 | 8.88 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 55.81 | -0.37 | 39.25 | 14.23 | 0.12 | 37.10 | 12.38 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 59.52 | 0.42 | 39.25 | 14.71 | 0.38 | 37.10 | 12.84 |
| C35 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 28.69 | -0.28 | 39.25 | 10.65 | 0.04 | 37.10 | 8.99 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 59.35 | -0.55 | 39.25 | 14.69 | 0.24 | 37.10 | 12.82 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 62.95 | 0.52 | 39.25 | 15.17 | 0.45 | 37.10 | 13.27 |
| C36 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø16 +2Ø12 +2Ø16 | Ø6c/15 cm | 11.53 | 5.00 | 38.99 | 9.00 | 0.06 | 36.87 | 7.74 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø16 +2Ø12 +2Ø16 | Ø6c/15 cm | 26.43 | 2.26 | 38.99 | 10.96 | 0.09 | 36.87 | 9.58 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 +2Ø12 +2Ø16 | Ø6c/15 cm | 29.68 | -0.79 | 38.99 | 11.38 | 0.09 | 36.87 | 9.99 |
| C37 | Forjado 3 | 30x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 +2Ø12 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | -5.96 | -1.20 | 32.87 | 5.25 | -0.89 | 31.80 | 4.77 |
| | Forjado 2 | 30x25 | 0.00/2.74 | 4Ø16 +2Ø16 | Ø6c/16 cm | 24.43 | 0.81 | 32.62 | 9.09 | -2.76 | 31.50 | 8.97 |
| | Forjado 1 | 30x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 + ... +2Ø16 | Ø6c/16 cm | 27.69 | -0.65 | 32.62 | 9.95 | 1.21 | 31.50 | 8.91 |
| C39 | Forjado 3 | 30x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 27.14 | 1.76 | 32.87 | 9.52 | -1.24 | 31.80 | 8.52 |
| | Forjado 2 | 30x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 43.41 | 0.38 | 32.87 | 11.62 | -1.11 | 31.80 | 10.55 |
| | Forjado 1 | 30x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 45.20 | 0.64 | 32.87 | 11.85 | -0.02 | 31.80 | 10.77 |
| C40 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 12.90 | -0.56 | 39.25 | 8.56 | -0.31 | 37.10 | 7.02 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 42.63 | -1.83 | 39.25 | 12.49 | -0.25 | 37.10 | 10.73 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 58.95 | -3.02 | 39.25 | 14.64 | -0.65 | 37.10 | 12.77 |
| C41 | Forjado 3 | 30x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 | Ø6c/15 cm | 23.35 | 2.11 | 32.87 | 8.66 | -0.33 | 31.80 | 8.04 |
| | Forjado 2 | 30x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 | Ø6c/15 cm | 50.98 | 1.27 | 32.87 | 12.23 | -0.27 | 31.80 | 11.49 |
| | Forjado 1 | 30x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 | Ø6c/15 cm | 57.00 | 1.33 | 32.87 | 13.01 | -0.63 | 31.80 | 12.24 |
| C42 | Forjado 3 | 30x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 | Ø6c/15 cm | 20.04 | -0.18 | 32.87 | 8.24 | -1.50 | 31.80 | 7.63 |
| | Forjado 2 | 30x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 | Ø6c/15 cm | 38.65 | -0.81 | 32.87 | 10.64 | -1.14 | 31.80 | 9.95 |
| | Forjado 1 | 30x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 | Ø6c/15 cm | 41.18 | 0.18 | 32.87 | 10.97 | -0.01 | 31.80 | 10.27 |
| C43 | Forjado 3 | 30x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 26.57 | 0.49 | 32.87 | 9.08 | -2.19 | 31.80 | 8.82 |
| | Forjado 2 | 30x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 53.60 | -0.19 | 32.87 | 12.57 | -1.92 | 31.80 | 12.20 |
| | Forjado 1 | 30x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 56.94 | 0.22 | 32.87 | 13.37 | 0.56 | 31.80 | 12.24 |
| C44 | Forjado 3 | 40x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 13.59 | 1.51 | 45.62 | 9.08 | -0.97 | 42.41 | 9.09 |
| | Forjado 2 | 40x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 26.50 | 0.27 | 45.62 | 10.81 | -0.67 | 42.41 | 10.70 |
| | Forjado 1 | 40x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 29.67 | 0.35 | 45.62 | 11.24 | -0.08 | 42.41 | 11.10 |

| Pilar | Planta | Dimensión (cm) | Tramo (m) | Armaduras | Estribos | Nsd | Vsd _x | Vrd1 _x | Vrd2 _x | Vsd _y | Vrd1 _y | Vrd2 _y | |
|-------|-----------|----------------|-------------|------------|----------|-----------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------|
| | | | | | | (t) | (t) | (t) | (t) | (t) | (t) | (t) | |
| C45 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 9.05 | -0.35 | 39.25 | 8.05 | -1.28 | 37.10 | 6.54 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 54.88 | 0.29 | 39.25 | 14.10 | 0.09 | 37.10 | 12.26 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 59.11 | -0.21 | 39.25 | 14.66 | -0.14 | 37.10 | 12.79 |
| C46 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 30.94 | 1.14 | 39.25 | 10.94 | -0.47 | 37.10 | 9.27 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 36.80 | 0.03 | 39.25 | 11.72 | -0.01 | 37.10 | 10.01 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 59.99 | 0.55 | 39.25 | 14.78 | -0.01 | 37.10 | 12.90 |
| C47 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 9.40 | 0.87 | 39.25 | 8.10 | -0.29 | 37.10 | 6.59 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 21.26 | 0.09 | 39.25 | 9.67 | -0.23 | 37.10 | 8.07 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 24.77 | 0.28 | 39.25 | 10.13 | 0.15 | 37.10 | 8.50 |
| C48 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 7.82 | 0.39 | 39.25 | 7.89 | -0.33 | 37.10 | 6.39 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 17.96 | -0.44 | 39.25 | 9.23 | -0.20 | 37.10 | 7.65 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 21.57 | 0.10 | 39.25 | 9.71 | 0.13 | 37.10 | 8.10 |
| C49 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 29.73 | 0.41 | 39.25 | 10.78 | -0.32 | 37.10 | 9.12 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 57.01 | -0.47 | 39.25 | 14.38 | -0.04 | 37.10 | 12.53 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 60.71 | -0.11 | 39.25 | 14.87 | 0.01 | 37.10 | 12.99 |
| C50 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 39.92 | 0.70 | 39.25 | 12.13 | -0.74 | 37.10 | 10.40 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 82.55 | -0.16 | 39.25 | 17.76 | -0.20 | 37.10 | 15.72 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 86.87 | 0.21 | 39.25 | 18.32 | 0.13 | 37.10 | 16.25 |
| C51 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 20.16 | 0.88 | 39.25 | 9.52 | -0.35 | 37.10 | 7.93 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 38.40 | 0.00 | 39.25 | 11.93 | -0.16 | 37.10 | 10.20 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 42.10 | 0.58 | 39.25 | 12.42 | 0.07 | 37.10 | 10.67 |
| C52 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 1.43 | 0.31 | 39.25 | 7.05 | -0.07 | 37.10 | 5.59 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 3.83 | -0.46 | 39.25 | 7.36 | -0.02 | 37.10 | 5.89 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 5.54 | -0.08 | 39.25 | 7.59 | 0.06 | 37.10 | 6.10 |
| C53 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø16 +2Ø16 | +2Ø16 | Ø6c/16 cm | 14.28 | 0.72 | 38.99 | 9.13 | 3.49 | 36.75 | 8.11 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø16 +2Ø16 | +2Ø16 | Ø6c/16 cm | 32.70 | -0.21 | 38.99 | 11.55 | 2.46 | 36.75 | 10.38 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 +2Ø16 | +2Ø16 | Ø6c/16 cm | 36.14 | 0.24 | 38.99 | 12.00 | -0.91 | 36.75 | 10.81 |
| C54 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø16 +2Ø12 | | Ø6c/15 cm | 10.22 | 0.92 | 38.99 | 9.35 | 2.59 | 36.87 | 7.57 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø16 +2Ø12 | | Ø6c/15 cm | 21.71 | 0.00 | 38.99 | 9.85 | 1.56 | 36.87 | 9.00 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 24.63 | 0.41 | 39.08 | 10.54 | -0.24 | 36.75 | 9.03 |
| C55 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 4.62 | 0.80 | 39.25 | 7.47 | 0.93 | 37.10 | 5.99 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 10.90 | -0.11 | 39.25 | 8.30 | 0.70 | 37.10 | 6.77 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 12.99 | 0.27 | 39.25 | 8.57 | 0.37 | 37.10 | 7.03 |
| C56 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 2.69 | 0.60 | 39.25 | 7.21 | 0.88 | 37.10 | 5.75 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 7.38 | -0.30 | 39.25 | 7.83 | 0.70 | 37.10 | 6.33 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø12 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 9.55 | 0.15 | 39.25 | 8.12 | 0.37 | 37.10 | 6.60 |
| C57 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø16 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 11.22 | 0.62 | 39.08 | 8.78 | 2.46 | 36.75 | 7.38 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø16 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 23.72 | -0.32 | 39.08 | 10.42 | 1.54 | 36.75 | 8.92 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 + ... | +2Ø12 | Ø6c/15 cm | 26.56 | -0.06 | 39.08 | 10.80 | -0.23 | 36.75 | 9.27 |
| C58 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø20 +2Ø20 | | Ø6c/16 cm | 15.55 | 0.72 | 38.74 | 9.30 | 3.94 | 36.39 | 8.85 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø20 +2Ø20 | | Ø6c/16 cm | 34.65 | -0.18 | 38.74 | 11.79 | 2.61 | 36.39 | 11.19 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø20 + ... | +2Ø20 | Ø6c/16 cm | 38.07 | 0.21 | 38.74 | 12.80 | -1.03 | 36.39 | 11.02 |
| C59 | Forjado 3 | 35x25 | 3.40/5.99 | 4Ø16 | | Ø6c/16 cm | 7.41 | 0.83 | 38.99 | 7.75 | 1.66 | 36.75 | 6.75 |
| | Forjado 2 | 35x25 | 0.00/2.74 | 4Ø16 | | Ø6c/16 cm | 16.12 | -0.06 | 38.99 | 8.89 | 1.12 | 36.75 | 7.83 |
| | Forjado 1 | 35x25 | -1.50/-0.30 | 4Ø16 | | Ø6c/16 cm | 18.67 | 0.59 | 38.99 | 9.23 | 0.07 | 36.75 | 8.14 |

3.8 Dimensionamiento de zapatas.

Elementos de cimentación

Para la introducción de cimentación se deben tener en cuenta dos aspectos (en el caso de una vivienda), las zapatas bajo muros y las zapatas aisladas en pilares.

La cimentación puede ser calculada posteriormente y de modo independiente al resto de modelos, de este modo se puede esperar hasta obtener la información geotécnica para su procesado. En muchas ocasiones, la realización de un pre dimensionado de la cimentación con una tensión de trabajo, el terreno puede llevar a la modificación completa de la cimentación por motivos geotécnicos.

Zapatas aisladas.

Las zapatas de pilares se deben introducir manualmente, y determinar su posición (centrada, de medianera o de esquina), así como si existen zapatas combinadas entre dos pilares. A continuación, en la figura, se puede observar que a la hora de colocar el puntero sobre un pilar, dependiendo de su colocación se puede distinguir entre distintas zapatas.

Descripción listada de zapatas:

Tabla 3.13

| Referencias | Geometría | Armado |
|-------------|---|------------------------------|
| C1 | Zapata cuadrada Ancho: 95.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 5Ø12c/18 Y: 5Ø12c/18 |
| C2, C3 | Zapata cuadrada Ancho: 120.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 6Ø12c/18 Y: 6Ø12c/18 |
| C4 | Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 60.0 cm Ancho inicial Y: 62.5 cm Ancho final X: 60.0 cm Ancho final Y: 57.5 cm Ancho zapata X: 120.0 cm Ancho zapata Y: 120.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 6Ø12c/18 Y: 6Ø12c/18 |
| C5 | Zapata cuadrada Ancho: 95.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 5Ø12c/18 Y: 5Ø12c/18 |
| C6 | Zapata cuadrada Ancho: 130.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 8Ø12c/16 Y: 8Ø12c/16 |
| C7, C30 | Zapata cuadrada Ancho: 190.0 cm Canto: 40.0 cm | X: 6Ø20c/30 Y: 6Ø20c/30 |
| C8 | Zapata cuadrada Ancho: 180.0 cm Canto: 40.0 cm | X: 9Ø16c/20 Y: 9Ø16c/20 |
| C9 | Zapata cuadrada Ancho: 190.0 cm Canto: 40.0 cm | X: 17Ø12c/11 Y: 17Ø12c/11 |

| Referencias | Geometría | Armado |
|-------------|---|----------------------------------|
| C10 | Zapata cuadrada Ancho: 130.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 8Ø12c/16 Y: 8Ø12c/16 |
| C11 | Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 49.3 cm Ancho inicial Y: 55.0 cm Ancho final X: 60.7 cm Ancho final Y: 55.0 cm Ancho zapata X: 110.0 cm Ancho zapata Y: 110.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 7Ø12c/16 Y: 7Ø12c/16 |
| C12 | Zapata cuadrada Ancho: 160.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 12Ø12c/13 Y: 12Ø12c/13 |
| C13 | Zapata cuadrada Ancho: 160.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 7Ø16c/24 Y: 7Ø16c/24 |
| C14 | Zapata cuadrada Ancho: 175.0 cm Canto: 45.0 cm | X: 13Ø12c/12.5 Y: 13Ø12c/12.5 |
| C15 | Zapata cuadrada Ancho: 110.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 7Ø12c/16 Y: 7Ø12c/16 |
| C16 | Zapata cuadrada Ancho: 145.0 cm Canto: 40.0 cm | X: 6Ø16c/25 Y: 6Ø16c/25 |
| C17 | Zapata cuadrada Ancho: 150.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 6Ø16c/25 Y: 6Ø16c/25 |
| C18 | Zapata cuadrada Ancho: 130.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 7Ø12c/17 Y: 7Ø12c/17 |
| C19 | Zapata cuadrada Ancho: 150.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 6Ø16c/24 Y: 6Ø16c/24 |
| C20 | Zapata cuadrada Ancho: 150.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 11Ø12c/12.5 Y: 11Ø12c/12.5 |
| C21 | Zapata cuadrada Ancho: 130.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 7Ø12c/18 Y: 7Ø12c/18 |
| C22 | Zapata cuadrada Ancho: 150.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 6Ø16c/27 Y: 6Ø16c/27 |
| C23 | Zapata cuadrada Ancho: 110.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 6Ø12c/18 Y: 6Ø12c/18 |
| C24 | Zapata cuadrada Ancho: 130.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 7Ø12c/18 Y: 7Ø12c/18 |

| Referencias | Geometría | Armado |
|-------------|--|----------------------------------|
| C25 | Zapata cuadrada Ancho: 190.0 cm Canto: 45.0 cm | X: 15Ø12c/12.5 Y: 15Ø12c/12.5 |
| C26 | Zapata cuadrada Ancho: 150.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 6Ø16c/27 Y: 6Ø16c/27 |
| C27 | Zapata cuadrada Ancho: 100.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 5Ø12c/18 Y: 5Ø12c/18 |
| C28 | Zapata cuadrada Ancho: 100.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 5Ø12c/18 Y: 5Ø12c/18 |
| C29 | Zapata cuadrada Ancho: 150.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 10Ø12c/15 Y: 10Ø12c/15 |
| C31 | Zapata cuadrada Ancho: 120.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 6Ø12c/18 Y: 6Ø12c/18 |
| C32 | Zapata cuadrada Ancho: 100.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 5Ø12c/18 Y: 5Ø12c/18 |
| C33 | Zapata cuadrada Ancho: 130.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 8Ø12c/16 Y: 8Ø12c/16 |
| C34 | Zapata cuadrada Ancho: 110.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 7Ø12c/16 Y: 7Ø12c/16 |
| C35 | Zapata cuadrada Ancho: 100.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 5Ø12c/18 Y: 5Ø12c/18 |
| C36 | Zapata cuadrada Ancho: 100.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 5Ø12c/18 Y: 5Ø12c/18 |
| C37 | Zapata cuadrada Ancho: 110.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 7Ø12c/16 Y: 7Ø12c/16 |
| C38 | Zapata cuadrada Ancho: 130.0 cm Canto: 35.0 cm | X: 8Ø12c/16 Y: 8Ø12c/16 |
| C39 | Zapata cuadrada Ancho: 100.0 cm Canto: 30.0 cm | X: 5Ø12c/18 Y: 5Ø12c/18 |

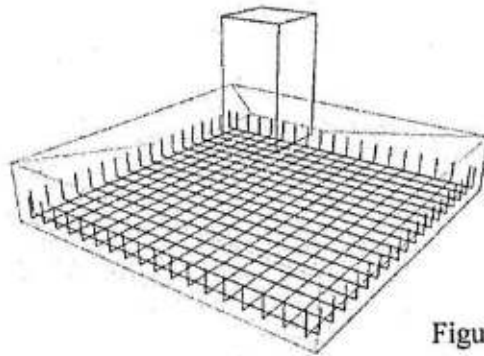


Figura 3.18

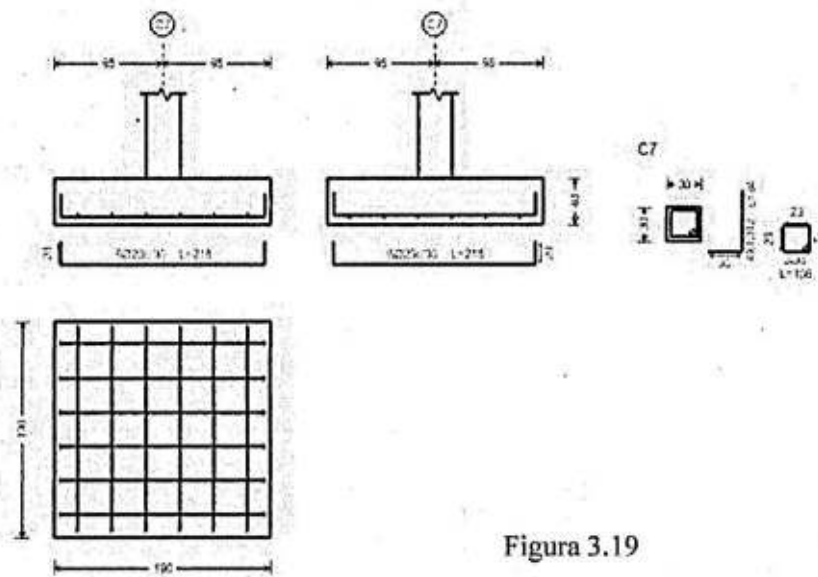


Figura 3.19

3.9 Escaleras.

Escalera 1

Geometría

- Ámbito: 1.500 m
- Huella: 0.300 m
- Contrahuella: 0.175 m
- Peldañado: Hormigonado con la losa

Cargas

- Peso propio: 0.750 t/m^2
- Peldañeado: 0.189 t/m^2
- Barandillas: 0.300 t/m
- Solado: 0.100 t/m^2
- Sobrecarga de uso: 0.300 t/m^2

Tramos

Tramo I

Geometría

- Planta final: Forjado 3
- Planta inicial: Forjado 2
- Espesor: 0.30 m
- Huella: 0.300 m
- Contrahuella: 0.175 m
- N° de escalones: 18
- Desnivel que salva: 3.15 m
- Meseta sin apoyos

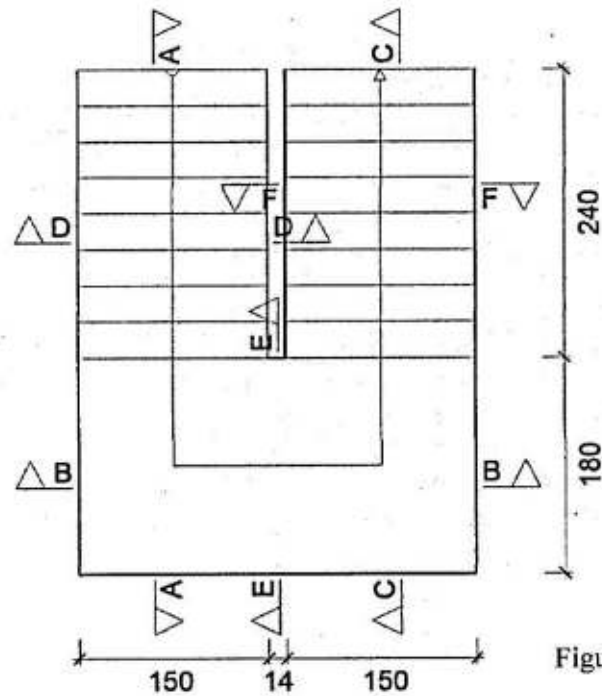


Figura 3.20

Esfuerzos

- N: Axil (t)
- M: Flector (t·m)
- V: Cortante (t·m)

Tabla 3.14

| Hipótesis | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------|-----------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Sección | Hipótesis | Esfuerzos | Posiciones | | | | | | |
| | | | 0.000 m | 0.763 m | 1.526 m | 2.289 m | 3.052 m | 3.815 m | 4.578 m |
| A-A | Peso propio | N | 6.059 | 5.763 | 5.440 | 4.753 | 3.084 | 0.745 | -0.020 |
| | | M | -0.037 | -0.281 | -0.174 | 0.297 | 1.016 | 0.259 | -0.003 |
| | | V | 0.619 | 0.101 | -0.313 | -0.831 | 1.340 | 0.608 | 0.011 |
| | Cargas muertas | N | 3.048 | 2.825 | 2.608 | 2.218 | 1.455 | 0.352 | -0.009 |
| | | M | -0.030 | -0.283 | -0.298 | -0.059 | 0.372 | 0.094 | -0.001 |
| | | V | 0.513 | 0.182 | -0.123 | -0.448 | 0.481 | 0.220 | 0.005 |
| | Sobrecarga de uso | N | 2.278 | 2.180 | 2.067 | 1.816 | 1.176 | 0.284 | -0.008 |
| | | M | -0.012 | -0.083 | -0.031 | 0.145 | 0.405 | 0.103 | -0.001 |
| | | V | 0.200 | 0.017 | -0.123 | -0.308 | 0.535 | 0.243 | 0.004 |

Tabla 3.15

| Combinaciones | | | | | | | | | |
|---------------|----------------------|-----------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Sección | Combinación | Esfuerzos | Posiciones | | | | | | |
| | | | 0.000 m | 0.523 m | 1.047 m | 1.570 m | 2.093 m | 2.617 m | 3.140 m |
| B-B | PP+CM | N | -0.137 | -0.821 | -1.527 | 0.681 | 1.742 | 0.898 | 0.123 |
| | | M | -0.011 | 0.062 | 0.246 | 0.247 | 0.130 | -0.003 | -0.030 |
| | | V | -0.677 | -0.730 | -0.529 | 1.257 | 0.447 | 0.349 | 0.423 |
| | 1.5·PP+1.5·CM | N | -0.206 | -1.232 | -2.290 | 1.021 | 2.613 | 1.347 | 0.184 |
| | | M | -0.017 | 0.093 | 0.369 | 0.371 | 0.195 | -0.005 | -0.046 |
| | | V | -1.015 | -1.095 | -0.793 | 1.886 | 0.671 | 0.523 | 0.635 |
| | PP+CM+1.6·Qa | N | -0.196 | -1.161 | -2.157 | 0.960 | 2.464 | 1.272 | 0.175 |
| | | M | -0.017 | 0.089 | 0.350 | 0.353 | 0.185 | -0.004 | -0.045 |
| | | V | -0.962 | -1.034 | -0.745 | 1.789 | 0.633 | 0.496 | 0.603 |
| | 1.5·PP+1.5·CM+1.6·Qa | N | -0.265 | -1.571 | -2.920 | 1.300 | 3.335 | 1.721 | 0.236 |
| | | M | -0.023 | 0.120 | 0.473 | 0.476 | 0.250 | -0.006 | -0.060 |
| | | V | -1.301 | -1.399 | -1.010 | 2.418 | 0.857 | 0.670 | 0.815 |

Resultados:

Tabla 3.16

| Armadura | | | |
|-----------------|--------------|----------|----------|
| Sección | Tipo | Superior | Inferior |
| A-A | Longitudinal | Ø16c/20 | Ø16c/20 |
| B-B | Longitudinal | Ø16c/20 | Ø16c/20 |
| C-C | Longitudinal | Ø16c/20 | Ø16c/20 |
| D-D | Transversal | Ø8c/15 | Ø8c/15 |
| E-E | Transversal | Ø16c/20 | Ø16c/20 |
| F-F | Transversal | Ø8c/15 | Ø8c/15 |

3.10 Comprobación.

3.10.1 Comprobación del modelo.

Los resultados de cype deben ser verificados, dado que es un programa de cálculo, es el propio calculista que debe conocer los métodos y el funcionamiento de la estructura, para así poder determinar con certeza el buen comportamiento estructural del edificio proyectado.

Para ello es determinante seguir un proceso ordenado y tener en cuenta todos los elementos que intervienen en el proyecto, revisando las comprobaciones necesarias para transmitir esa información en los de ejecución.

Deformada.

En primer lugar y para tener una visión general de las deformaciones que está sufriendo la estructura se puede activar la pestaña “deformada”, en la cual con un código de colores y una escala determinada se pueden observar estos movimientos diferenciales de los distintos elementos respecto a suposición original.

En algunas ocasiones, es en este paso que se puede ver una incorrecta introducción de algún elemento lo cual conlleva a un deformando de manera desmesurada. Este punto de la revisión puede servir para valorar la correcta introducción del modelo en pocos minutos, dependiendo de la complejidad del proyecto.

Asientos admisibles y límites de deformación.

Asientos admisibles de la cimentación. Se calculará en función del tipo de terreno, tipo y características del edificio.

Límites de deformación de la estructura. El cálculo de deformaciones es un cálculo de estados límites de utilización con las cargas de servicio, coeficiente de mayoración de acciones =1, y de minoración de resistencias =1.

Hormigón armado. Para el cálculo de las flechas en los elementos flechados y forjados, se tendrán en cuenta tanto las deformaciones instantáneas como las diferidas, calculándose las inercias equivalentes de acuerdo a lo indicado en la norma.

Para el cálculo de las flechas se ha tomado en cuenta el proceso constructivo, las condiciones ambientales, y edad de puesta en carga, de acuerdo a unas condiciones habituales de la práctica constructiva en la edificación convencional. Por tanto, a partir de estos supuestos se estiman los coeficientes de fluencia pertinentes para la determinación de la flecha activa, suma de las flechas instantáneas más las diferidas producidas con posterioridad a la construcción de las tabiquerías.

En los elementos de hormigón armado se establecen los siguientes límites para edificaciones normales:

Tabla 3.17

| Flechas activas máximas relativas y absolutas para elementos de Hormigón Armado y Acero | | |
|---|--|-------------------------------|
| Estructura no solidaria con otros elementos | Estructura solidaria con otros elementos | |
| | Elementos flexibles | Elementos rígidos |
| VIGAS Y LOSAS Relativa: $\delta /L < 1/350$ | Relativa: $\delta /L < 1/350$ | Relativa: $\delta /L < 1/300$ |
| FORJADOS Relativa: $\delta /L < 1/350$ | Relativa: $\delta /L < 1/350$ | Relativa: $\delta /L < 1/300$ |

| Flechas totales máximas relativas para elementos de Hormigón Armado y Acero | | |
|---|--|-------------------------------|
| Estructura no solidaria con otros elementos | Estructura solidaria con otros elementos | |
| | Elementos flexibles | Elementos rígidos |
| VIGAS, LOSAS Y FORJADOS Relativa: $\delta /L < 1/300$ | Relativa: $\delta /L < 1/300$ | Relativa: $\delta /L < 1/300$ |

3.10.2 Descripción del análisis efectuado por el programa.

CYPECAD ha sido concebido para realizar el cálculo y dimensionado de estructuras de hormigón armado diseñado con losas unidireccionales, reticulares y losas macizas para edificios sometidos a acciones verticales y horizontales.

El análisis de las solicitaciones se realiza mediante un cálculo espacial en 3D, por métodos matriciales de rigidez.

Se establece la compatibilidad de deformaciones en todos los nudos, considerando 6 grados de libertad, y se crea la hipótesis de indeformabilidad del plano de cada planta, para simular el comportamiento rígido del forjado, impidiendo los desplazamientos relativos entre nudos del mismo (diafragma rígido). Por tanto, cada planta sólo podrá girar y desplazarse en su conjunto (3 grados de libertad).

Para todos los estados de carga, se realiza un cálculo estático, (excepto cuando se consideran acciones dinámicas por sismo, en cuyo caso se emplea el análisis modal espectral), y se supone un comportamiento lineal de los materiales, por tanto, un cálculo de primer orden, de cara a la obtención de desplazamientos y esfuerzos.

La estructura se discretiza en elementos tipo barra, emparrillados de barras y nudos, y elementos finitos triangulares.

Resumen total en superficies y volúmenes del proyecto (de obra)

Superficie total: 1195.64 m²

Superficie total forjados: 996.07 m²

Viguetas: 996.07 m²

Superficie en planta de vigas y muros: 189.04 m²

Superficie lateral de vigas y muros: 701.78 m²

Hormigón total en vigas: 88.68 m³

Vigas: 88.68 m³

Volumen total forjados: 66.46 m³

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.

Para el presente proyecto se optó por el paraboloides elíptico como alternativa de solución para cubrir las grandes luces del proyecto. Este tipo de estructuras son auto soportante, pues su diseño contempla los esfuerzos a los que es sometida la estructura, tanto para peso propio como para agentes externos. Para el diseño de estas estructuras se contempló el método tradicional, en el cual se contemplan los esfuerzos de membrana, a partir de las fuerzas que se obtienen en los bordes y en las Secciones cercanas a las columnas, se diseñó los elementos de viga que transmiten los esfuerzos. Siendo este método el que se usa para todos los paraboloides pues considera esfuerzos axiales y de flexión en los diferentes estados de carga que va a soportar.

El paraboloides elíptico realizado en hormigón armado es una superficie que estructural y constructivamente, es adecuada para cubrir grandes luces. Su forma, de doble curvatura, hace que su funcionamiento como membrana sea mejor que el de otro tipo de superficies. La misma naturaleza, que adopta esta forma frente a determinados esfuerzos, así lo confirma. Es además una superficie reglada que permite la construcción de encofrados a través de tablas rectas, de manera más sencilla que otras superficies desarrollables curvas.

La utilización de las estructuras en paraboloides elíptico supone ventajas evidentes, alto y cantidades de material con participación de una mano de obra no especializada (excepto para las labores de encofrado). Estas condiciones mejoran cuando las estructuras son usadas como elementos modulares, que optimizan un módulo y lo repiten obteniendo importantes simplificaciones desde el punto de vista del cálculo y la ejecución.

Se realizó el diseño de los elementos estructurales que conforman la edificación.

Se pudo analizar y diseñar estructuralmente la parte de las aulas usando el programa

cypecad con los pasos necesarios para el diseño de vigas, columnas.

4.2 RECOMENDACIONES.

El paraboloides elíptico por ser una estructura especial poco convencional no se encuentra mucha bibliografía para el diseño, por lo que se recomendaría realizar un manual o un folleto para estandarizar su diseño el cual va ser de mucha ayuda para las futuras generaciones dedicadas a la rama de las estructuras.

Se recomienda considerar el estudio del costo de encofrado y contar además de personal con experiencia en la construcción de este tipo de estructuras. Así entonces el sistema de encofrado a emplearse merece un análisis detallado, pues hoy en día existen innovadores métodos que tienden a minimizar el costo de la construcción de cubiertas de doble curvatura.

En cuanto al diseño de elementos de hormigón armado, se pueden desarrollar programas completos considerando la variabilidad de las estructuras y el empleo de diferentes reglamentos, basándonos fundamentalmente en las características del medio en el que se encontramos ya que existen normativas que al momento de diseño se deben cumplir.