

Diseño de Estructuras de Hormigón Prefabricado e In Situ ante Solicitaciones Sísmicas: Hospital de Tepic en Nayarit, México

Design of Precast Concrete Structures and on site in accordance with Seismic Loads: Tepic Hospital in Nayarit

Dorota Gorecka Aguirre ^a, Alejandro Aguilar López ^b, Nicolás Espino Espíndola ^c,
Carlos Castañón Jiménez ^d

^aIngeniero Civil. IDOM. Responsable de Estructuras de Edificación México. dorota.gorecka@idom.com

^bIngeniero Civil. IDOM. Diseñador de Estructuras. a.aguilar@idom.com

^cIngeniero Civil. IDOM. Diseñador de Estructuras. nicolas.espino@idom.com

^dIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. IDOM. Director de Estructuras. ccastanon@idom.com

RESUMEN

El artículo muestra y comenta los principales aspectos del diseño, criterios sismo-resistentes, recomendaciones y cuidados adicionales que se deben tener al diseñar una estructura con elementos prefabricados en zonas sísmicas en México, presentando como ejemplo el proyecto de hospital construido en Tepic Nayarit, una de las zonas altamente sísmicas dentro del país.

ABSTRACT

The article presents and comments on the main aspects of the design, earthquake-resistant criteria, recommendations and additional safety procedures that should be considered when designing a structure with prefabricated elements in seismic areas in Mexico, presenting as an example a project of hospital built in Tepic Nayarit, a highly seismic zone within the country.

PALABRAS CLAVE: prefabricado en zona sísmica, conexiones prefabricadas, diafragmas.

KEYWORDS: precast in seismic zone, precast connections, diaphragms.

1. Introducción.

La construcción de edificios de hormigón armado en zonas de alta sismicidad en México es muy común, y cada vez con mayor frecuencia se presenta el uso de prefabricados en sistemas estructurales resistentes a cargas laterales.

La experiencia en el trabajo experimental y sobre todo por la incidencia de sismos recientes de alta intensidad han demostrado que una estructura de hormigón *in situ* bien diseñada, presenta un buen comportamiento.

Tal como en el cálculo de las estructuras hormigonadas *in situ*, en las estructuras que incorporan elementos de hormigón prefabricado como elementos principales sean pilares o vigas, se deben tomar diferentes criterios respecto al análisis sísmico, como las consideraciones de ductilidad, distorsiones máximas, diseño de nodos, etc. En este contexto, la normativa local sugiere un diseño con los mismos criterios para estructuras hormigonadas en sitio, que, para

prefabricadas, sin embargo, en este documento se comentan algunos criterios y recomendaciones que difieren entre dichas estructuras, estos datos se basan principalmente en el estudio experimental que se ha venido realizando al cabo de varios años en el Instituto de Ingeniería de la UNAM [1] y en Universidades e Institutos internacionales.

Como ejemplo, se presenta la estructura del Hospital General localizado en Tepic Nayarit, México. Una de las zonas con mayor sismicidad en México, por su cercanía a la franja del pacífico.

Para el diseño sísmico de este proyecto se tienen fuerzas sísmicas máximas normalizadas respecto a la gravedad de 1.16 g, como se muestra en el siguiente espectro de diseño (Figura 1).

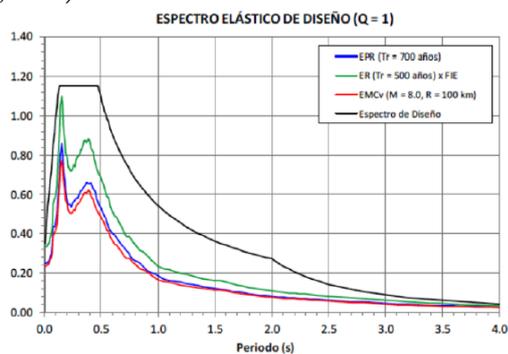


Figura 1. Espectro de diseño sísmico elástico para Hospital de Tepic

Los objetivos de desempeño para el edificio con uso final de Hospital son los siguientes.

- Bajo sismos que puedan presentarse varias veces durante la vida útil, no se tengan daños.
- Y bajo el sismo de seguridad contra colapso, ocurran daños mínimos que no interrumpan la operación de edificio.

Estos objetivos son similares a los especificados en los siguientes estándares internacionales ASCE 41, ASCE 07, y su antecesor FEMA con objetivos asociados a estructuras de alta importancia estructural.

La participación de IDOM en este proyecto inicio en la etapa de conceptualización, anteproyecto, proyecto ejecutivo, desarrollando la arquitectura hospitalaria y las siguientes

ingenierías; estructural, hidráulica sanitaria, gases especiales, eléctrico, mecánico, etc. Y continuo durante la etapa de construcción a través de la dirección arquitectónica dando soporte in situ en todas las fases.

2. Sistema estructural

El hospital se divide en 6 cuerpos, cada uno con diferentes alturas que van de 2 niveles (9.40 m de alto) a 5 niveles + helipuerto (25.00 m de alto) (Figuras 2 y 3).

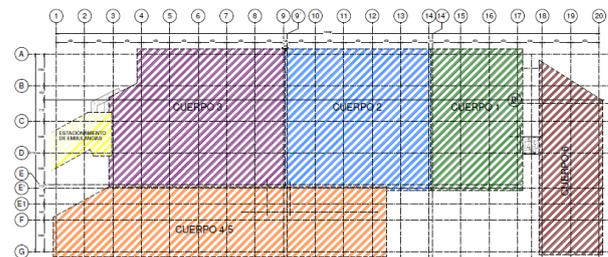


Figura 2. Planta esquemática de localización de cuerpos estructurales del Hospital de Tepic

Entre cada unión de cuerpos se generó una junta constructiva con pilar doble. Esta junta tiene la holgura necesaria para evitar el choque entre edificios durante algún evento sísmico severo. La separación está asociada al desplazamiento de colapso.

El hormigón utilizado en los elementos estructurales corresponde al Tipo Estructural clase I, con resistencia de 30 MPa en cimentación y 40 MPa en pilares, vigas y losas prefabricadas.

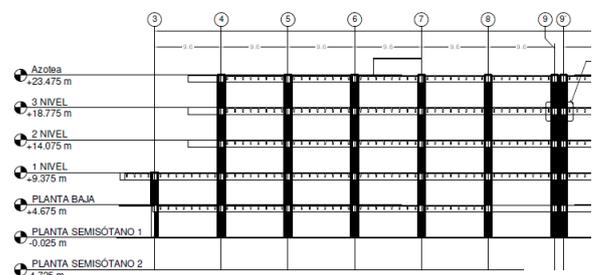


Figura 3. Elevación de edificio de 5 niveles.

La estructura del edificio se basa en pórticos ortogonales de hormigón armado de baja ductilidad para resistir fuerzas de gravedad (verticales) y fuerzas sísmicas (horizontales), los

tableros tipo del edificio tienen luces máximas 12.00 m x 9.60 m.

Los pilares son de sección cuadrada con dimensiones de 90 cm x 90 cm, hormigonados en sitio. Las vigas prefabricadas de sección “U” que posterior al montaje del entrepiso se hormigona el interior para completar la sección final rectangular con dimensiones de 60 cm x 100 cm.

El forjado se resuelve mediante vigas pretensadas doble T simplemente apoyadas que trabajan en el sentido de la luz más larga. Sobre estos forjados pretensados se hormigona un sobrefirme de compresión, que en conjunto funcionan como diafragma transmisor de fuerzas laterales.

Al tener un terreno de una baja capacidad portante se optó por una cimentación profunda con “pilas” hormigonadas en sitio de entre 20 m y 30 m de profundidad para transmitir las cargas en el estrato resistente. La transición de cimentación a pilares se resolvió con encepados de soporte, que se interconectan con vigas de cimentación con dimensión de 60 cm x 140 cm (Figuras 4 y 5).

Además, debido a la compleja topografía del sitio, la estructura se construyó sobre tres diferentes niveles de desplante.

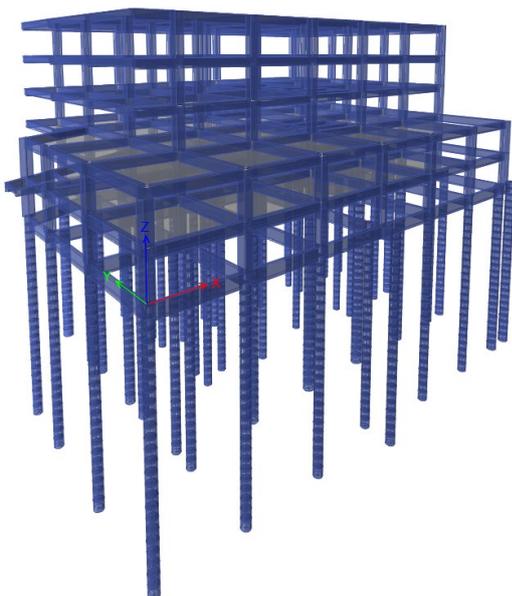


Figura 4. Gráfico del modelo estructural correspondiente al cuerpo 3 del hospital de Tepic. El modelo incluye superestructura y cimentación.



Figura 5. Cuerpo 1 del edificio en proceso de montaje, cuerpo 2 en proceso de construcción de pilares.

3. Estructuras prefabricadas en zonas sísmicas

El empleo de prefabricados para edificación en México se ha efectuado en casos muy aislados, aun cuando actualmente hay una tendencia de aumentar su uso en construcción. Sin embargo, existen algunas limitantes que se mencionan a continuación.

La primera limitante se refiere al comportamiento sísmico inadecuado observado en sismos anteriores. Aunque también se ha mostrado buen comportamiento en algunos edificios, los ejemplos de mal comportamiento han creado la idea de que las estructuras prefabricadas tienen un pobre desempeño comparado con las estructuras tradicionales hormigonadas en sitio, y esto ha frenado su desarrollo y uso en la actualidad.

La segunda limitación es en cuanto a la normatividad. En México esta normatividad se refiere a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño de Estructuras de Concreto (NTC-DC) [2], Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTC-DS) versión 2017 [3] y el Manual de Diseño de Obras Civiles de Diseño Sísmico de la CFE 2015 [4].

Si bien en estas normas ya se tienen capítulos respecto a las estructuras prefabricadas, se tienen dudas respecto al diseño

de nodos, conexiones, factores de comportamiento sísmico, deformaciones y consideraciones de diafragma.

4. Indicaciones de análisis y diseño

El análisis estructural bajo cargas sísmicas consistió en un análisis modal espectral. Tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

1. Se revisó que el peso efectivo de análisis sea al menos el 90% del peso total de la estructura.
2. Se tomaron en cuenta los modos de vibración necesarios para alcanzar la masa del punto anterior.
3. Las respuestas modales se combinaron mediante el método SRSS siempre que los modos naturales difieran al menos 10%, en caso contrario se deberá considerar que existe una correlación entre los modos y se aplicará otro método como el CQC.
4. Las secciones deben incluir la reducción de rigidez a flexión conforme a lo siguientes factores.
 - Pilares $0.7 I_b$, Vigas $0.5 I_b$, Forjados al ser elementos pretensados no es necesario reducirlos ya que el presfuerzo evita la abertura de grietas.
 - Nodos, reducción con valores de entre 0.50 y 0.70.

En los siguientes incisos se hablará de los puntos importantes a considerar y que difieren del diseño de una escritura tradicional hormigonada en sitio.

- Ductilidad.
- Conexiones trabe columna.
- Límite de distorsiones.
- Acción diafragma.

4.1 Ductilidad

La ductilidad de la estructura es su capacidad de admitir grandes deformaciones sin que sus elementos pierdan en gran medida la resistencia

y rigidez. En estructuras que cuentan con elementos prefabricados, será muy difícil lograr llegar a su comportamiento plástico sin aceptar daños, por lo cual las NTC DS 2017, especifican los siguientes valores de ductilidad dependiendo la zona donde se realice la conexión.

- Valor de 2, cuando las conexiones se localicen en zonas críticas, es decir, donde se encuentran los valores de cortantes y momentos máximos.
- Valor de 3, con conexiones en zonas no críticas o alejadas del nodo.
- En ambos casos se considera una sobre-resistencia de materiales de 1.75 mínimo.

Estudios experimentales referentes al factor de comportamiento sísmico o ductilidad [1], indican que para una misma estructura sometida a diferentes excitaciones sísmicas pueden alcanzar en promedio ductilidades de 1.48, es de interés destacar que los límites superiores alcanzan valores de 3, para estructuras con detallado de alta ductilidad. De aquí la importancia de la elección del tipo de conexión y del detallado de acero de refuerzo [2] que se realice para las conexiones (Figura 6).

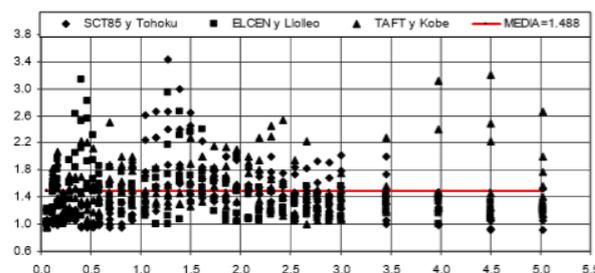


Figura 6. Grafica con valores de ductilidad medida para estructuras con diferentes periodos. La línea roja representa la media de ductilidad.

Se requiere tener cuidado en la selección del factor de comportamiento sísmico, ya que, en algunos casos, si no se tienen los cuidados de detallado y diseño necesario para asegurar la ductilidad se puede comprometer la estabilidad del edificio [2,5,6,7].

En México es una práctica común en el diseño utilizar un factor de comportamiento sísmico de 2 y un detallado dúctil de las zonas de conexión, utilizando el concepto de “emulación”

que se explicará más adelante. Además, esto ha sido comprobado experimentalmente [5], donde se observa que los resultados de especímenes estudiados fueron comparables a las que se obtendrían en especímenes con conexiones de estructuras hormigonadas en sitio.

4.2 Conexiones pilar-viga

Está claro que la naturaleza de las conexiones en una estructura de pórticos con elementos prefabricados (vigas y pilares) influye en forma directa en el comportamiento estático y dinámico que puede presentar un edificio. Entonces, desde ese punto de vista debe estar claro durante el proceso de diseño, la implicación de decidirse por una u otra tipología de conexión y, por consiguiente, muy claros deben estar los conceptos y procedimientos de diseño en cada caso.

Las conexiones entre elementos prefabricados de hormigón son principalmente de dos tipos, las llamadas “húmedas” las cuales son coladas en sitio, y que tienen una respuesta estructural muy semejante a las estructuras coladas en sitio. Por este motivo al diseño con este tipo de criterio se le denomina como “emulación”, este se puede lograr por medio de conectores o traslapes entre varillas.

El otro tipo de conexión se llama “seca” en la que generalmente la conexión se logra soldando placas de acero embebidas en los elementos de hormigón prefabricado.



Figura 7. Conexión “húmeda” Hospital de Tepic.



Figura 8. Conexión “seca” con soldadura en placas y varillas [8]

Con base a la situación del proyecto como la condición sísmica, destino, normatividad por mencionar algunos, una de las preguntas que se deben plantear es, ¿Cómo se quiere que se comporte la estructura o cómo se debe comportar? Una vez que eso está claro, no resulta difícil elegir qué solución en términos de conexiones que se desea aplicar. Sin embargo, se deben tomar en cuenta aspectos económicos, rapidez y facilidad de construcción, etc.

Para el diseño del edificio en estudio se utilizó el concepto de “emulación” ya mencionado, el cual no utiliza soldadura, y ha sido empleado en países sísmicos como Japón, Chile y Nueva Zelanda. El comportamiento observado de este tipo de estructuras ha sido satisfactorio. Además este tipo de estructura prefabricada ha sido estudiado en la mesa vibradora del Instituto de ingeniería de la UNAM en México [1,5,8], obteniendo resultados favorables.

En el diseño debe tomarse en cuenta la normatividad y conocimiento experimental, aplicando las siguientes recomendaciones al momento de diseñar y ejecutar.

1. Durante el modelado estructural se debe considerar la rigidez del nodo, proporcional a la relación de momentos como se muestra en la figura 9. Si bien, este ajuste de rigidez aplica también para estructuras hormigonadas en sitio, en la práctica común no se toma en cuenta en la mayoría de los despachos de ingeniería. Subestimando los valores de rigidez y en consecuencia la deformación del sistema.

Un valor inicial adoptado en este caso es de 0.75 de modificador de rigidez en nodo, después de este se verifican los valores y ajustan.

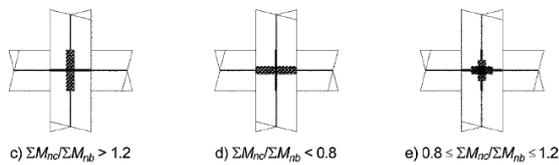


Figura 9 Consideraciones de rigidez en nodos ASCE 07-13.

2. Cuando una conexión forme parte del sistema estructural resistente a fuerzas laterales, esta deberá resistir no menos que 1.3 veces el valor de diseño de las fuerzas y momentos internos (fuerzas de estado último) que transmita, esto de acuerdo con los ensayos experimentales [1,5,8], con la finalidad de que la resistencia y la capacidad de deformación de un sistema propuesto a base de pórticos prefabricados sean iguales o excedan a las correspondientes a sistemas comparables hormigonados en sitio.
3. Durante el proceso de diseño se deben considerar recubrimientos con valores de 10 cm a 15 cm en el lecho inferior, esto debido a que el cajón prefabricado tendrá un espesor mínimo de 10 cm en su parte inferior, reduciendo la efectividad del refuerzo y en algunos casos disminuyendo la resistencia de la sección si se presentan inversiones de momento debidos a sismo.
4. Rugosidad intencional entre superficies de contacto del prefabricado y el colado en sitio. Es importante detallar el nodo o interfaz de contacto con llaves de cortante tipo “greca” al interior de los prefabricados para mejorar la adherencia (Figura 10).

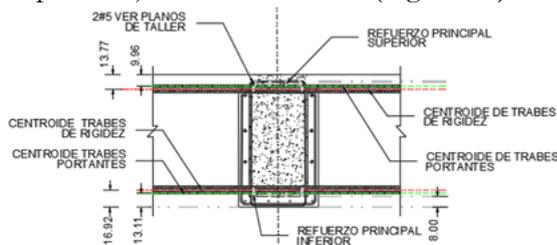


Figura 10 Canto efectivo en el diseño de refuerzo en vigas prefabricadas.

5. Comportamiento pilar fuerte – viga débil. Es decir, que la resistencia del elemento vertical será mayor a la resistencia de vigas. Este punto no está especificado en los códigos para diseño de edificios con ductilidad limitada, esto tiene el objetivo que la incursión inelástica se presente en las vigas antes que en los pilares. Esta revisión está orientada al diseño por capacidad y debe considerarse la sobre-resistencia de los materiales.
6. Al detallar las conexiones deben especificarse las holguras para la manufactura y el montaje. Cuando se diseñe la conexión para trabajar monolíticamente, las holguras deberán rellenarse con mortero con estabilizador de volumen o baja contracción de manera que se garantice la transmisión de los esfuerzos de compresión y cortante.

En resumen, aplicando los puntos anteriores y realizando el diseño por capacidad de las secciones, trataremos de asegurar que la estructura incursione en el rango inelástico de manera consistente y estable, donde el eslabón débil donde se presentara la incursión inelástica se concentre en el paño de las vigas.

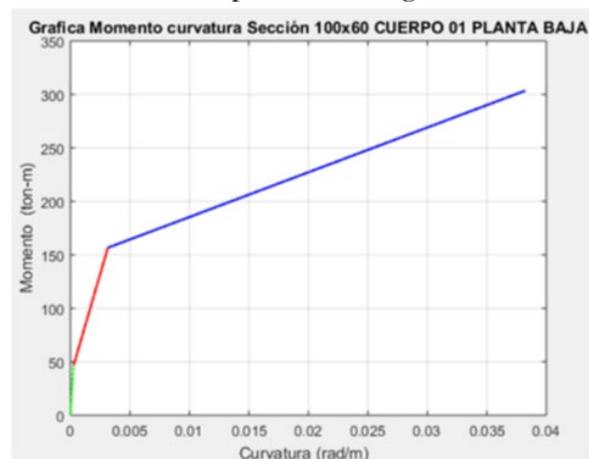


Figura 11 Revisión de capacidad y ductilidad local mediante diagramas Momento-Curvatura en vigas prefabricadas.

4.3 Distorsiones máximas, diseño basado en control de desplazamientos

Se sabe que el nivel de daño estructural y no estructural, así como de contenidos, es consecuencia de los niveles excesivos de movimiento que una estructura exhibe durante una excitación sísmica. El objetivo del diseño es que se pueda controlar el nivel de daño en los diferentes subsistemas de las edificaciones a través de controlar adecuadamente su respuesta dinámica durante excitaciones sísmicas de diferente intensidad.

Para esto las NTC DS [3], definen las siguientes condiciones de diseño.

- Estado límite de seguridad contra colapso (Estado Límite Último).
- Y limitación de daños ante sismos frecuentes (Estado límite de Servicio).

Esta revisión debe realizarse para cada elemento vertical, sean pórticos, muros o núcleos de hormigón, y deberá regir la mayor que se presente en el conjunto. Las fuerzas con las cuales se revisaron estas distorsiones corresponden al espectro elástico, con ductilidad unitaria y sin sobre-resistencia.

Los límites para las distorsiones mencionadas son las siguientes:

- Estado límite de seguridad contra colapso.
Ductilidad baja. 0.015
Ductilidad media. 0.020
- Limitación de daños ante sismos frecuentes.
Ductilidad media y baja. 0.004

En el caso del Hospital Tepic las distorsiones presentan valores de 0.010 adecuado en términos de seguridad y óptimo para seguridad de contenidos.

4.4 Consideraciones de diafragma

Los diafragmas se dimensionarán con los criterios para vigas comunes o de diafragma, según su relación luz a canto. Debe comprobarse que posean suficiente resistencia a flexión en el plano y a cortante en el estado límite de falla, así como que la transmisión de las fuerzas sísmicas

entre el diafragma horizontal y los elementos verticales destinados a resistir las fuerzas sísmicas sea adecuada.

En sistemas de forjados prefabricados se permite el uso de un firme sobre el prefabricado que funcione como diafragma, esto solo si el espesor de este firme es adecuado para resistir por sí mismo las fuerzas de diseño sobre su plano.

Para hacer realidad el diseño, se deben considerar algunas hipótesis que se mencionan a continuación.

- La contribución de los pisos prefabricados para resistir las fuerzas sísmicas será ignorada ya que no contiene refuerzo secundario destinado para este fin. Sin embargo, estas unidades restringen el pandeo del firme de hormigón, permitiendo que éste resista la totalidad de la fuerza del diafragma. De este modo, el firme de hormigón se comporta como un elemento membrana sometido solo a fuerzas en su plano.
- El espesor del firme no será menor que 60 mm si la luz mayor de los tableros es de 6 m o más. Y en ningún caso será menor que 30 mm.
- Fuerzas de diseño, La fuerza sísmica de F_{piso_i} será igual a la suma de la aceleración del terreno a_0 y las aceleraciones relativas, c'_i , multiplicadas por el peso del nivel w_i , por lo tanto, se tiene que:
- $$F_{\text{piso}} = (a_0 + c'_i)w_i \quad (1)$$
- La fuerza sísmica de piso será modelada como un conjunto de fuerzas concentradas en el área del diafragma. Para tal fin, se divide la planta en un número adecuado de paneles y se reparte la fuerza proporcionalmente al área de cada panel. Como resultado se obtiene un conjunto de fuerzas concentradas en los centros de dichos paneles, cuya suma da la fuerza sísmica de piso.

En el modelado o en un análisis manual es necesario colocar puntales y tirantes adicionales para lograr el equilibrio del

sistema; de esta manera se elaboró el modelo de puntal y tirante mostrado enseguida. Las fuerzas en los puntales y tirantes (en función de P) se obtienen a partir del equilibrio en los nodos.

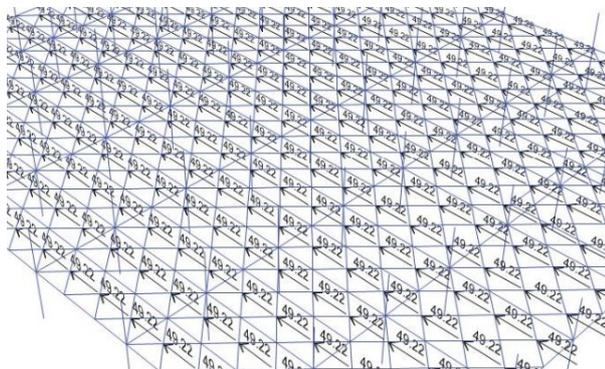


Figura 12 Modelo simplificado para obtener las fuerzas en tirantes de diafragma.

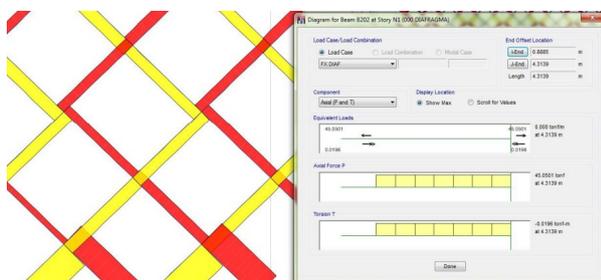


Figura 13 Fuerzas de diseño para tirantes en tracción y compresión.

Con los elementos mecánicos obtenidos tensión-compresión, se revisará la resistencia del concreto y el refuerzo con malla electrosoldada o con refuerzo corrugado.

Los resultados del Hospital Tepic arrojan un refuerzo mínimo para una capa de hormigón de 6 cm, reforzada con malla electrosoldada.

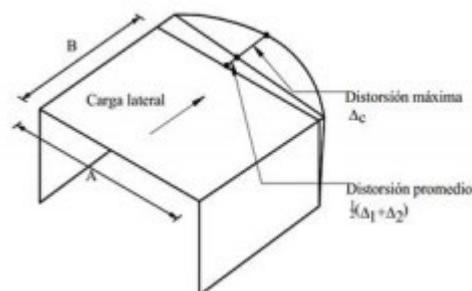
4.4.1 Diafragma rígido o flexible

Esta revisión se basa en los estudios realizados por Tena Colunga, Chinchilla Portillo, & Juárez Luna, 2013 y Ju y Lin.

- Índice de flexibilidad UBC-97, ASCE 07, FEMA-368

Se considera diafragma flexible cuando el desplazamiento lateral máximo del diafragma excede dos veces el desplazamiento lateral promedio del entrepiso, calculándose este último a partir de promediar los desplazamientos laterales obtenidos en los elementos verticales resistentes adyacentes. (Tena Colunga,

Chinchilla Portillo, & Juárez Luna, 2013) (Figura 14).



- Índice de flexibilidad de Ju y Lin.

Para evaluar este índice se consideran dos desplazamientos. 1.- El desplazamiento al centro de la luz modelando un sistema de piso en el cual se considera su potencial flexibilidad. 2.- El desplazamiento al centro de la luz modelando un sistema de piso que considere una rigidez infinita. Y el índice propuesto está dado por

$$R = \frac{\Delta_{flexible} - \Delta_{rigido}}{\Delta_{flexible}} \quad (2)$$

El valor debe ser menor a 0.30 para ser considerado diafragma rígido, conforme a los estudios mencionados.

Para evaluar este comportamiento se modela el sistema de piso como elemento finito (placas tipo Shell). Y se medirá la deformación en los puntos mencionados.

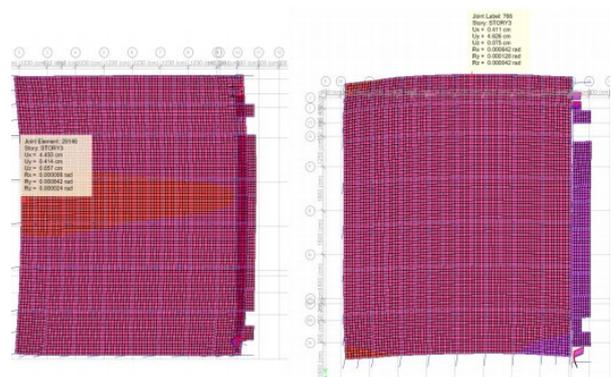


Figura 15 grafica de deformaciones en el diafragma para los dos sentidos ortogonales de análisis.

Analizando ambos casos se concluye que el diafragma para ese sistema de piso puede ser considerado como rígido y se deberán tener los siguientes cuidados en el elemento prefabricado doble T. Para asegurar una adecuada deformación de diafragma se detallará el siguiente dispositivo.

1. Todas las piezas prefabricadas doble T deberán tener conectores sísmicos para ligar una con otra, estos deben ser capases de transmitir las fuerzas de inercia producidas por el peso que actúa en su área tributaria.

5. Fabricación y construcción en sitio

5.1 Patio de fabricación en sitio

Debido a la falta de plantas de prefabricación en la zona donde se construye el Hospital, se optó por prefabricar las losas doble T y vigas de sección “U” a pie de obra. Los moldes y camas de tensado fueron ejecutados en el sitio de construcción. Para asegurar la calidad de la fabricación, se contó con personal especializado de la constructora y supervisión externa.

5.2 Cinemática de montaje

Previo a los trabajos de montaje se deberá de hacer un análisis, condiciones de montaje, y equipo disponible para realizar un montaje óptimo, el ingeniero analizara por medio de cinemática de montaje todas las interferencias que se presentaran para poder determinar la ubicación de las grúas, ángulos máximos de brazo para el procedimiento de montaje.

5.3 Construcción

Las fases de construcción son como una estructura hormigonada en sitio.

Primero se construye la cimentación y el hormigonado de columnas hasta el paño bajo de las vigas. Las vigas prefabricadas sección “U” son montadas en su posición hasta contar con las vigas en toda la periferia del tablero.

Una vez hormigonados los pilares y montadas las vigas que forman el tablero (pueden o no estar montadas las losas doble T) se realiza el armado del nodo, colocando el acero longitudinal de continuidad y acero de cortante (estribos), se cimbra el nodo y se realiza el colado con concreto de resistencia rápida para poder

cargar lo más rápido posible el tablero. Además, durante el colado debe cuidarse la posición del acero de refuerzo y vibrarse adecuadamente.

En algunos casos, cuando las cuantías de refuerzo son elevadas es conveniente el uso de concretos autocompactables de baja contracción, ya que no requiere vibrado y se reducen los agrietamientos por cambios volumétricos.

Para completar el proceso de nuestra estructura falta realizar los trabajos hormigonados en sitio, como lo son el junteo entre losas prefabricadas, los firmes de compresión, y colados complementarios o de ajuste en zonas o huecos que no se alcanzan a cubrir con las losas prefabricada. (Figuras 16 a 20).



Figura 16. Habilitado de acero de refuerzo en pilas de cimentación, con longitud de 25 m



Figura 17. Moldes metálicos para hormigonado de elementos pretensados doble T y cabezal de tensado.



Figura 18 Molde metálicos para colado de vigas prefabricadas sección U



Figura 19 Montaje de viga prefabricada sección U



Figura 20 Montaje de losa prefabricada doble T

6. Conclusiones

Es un hecho que la construcción en hormigón se encamina hacia el uso más extendido de estructuras prefabricadas, ya que presenta una gran superioridad en términos de calidad, durabilidad, rapidez de ejecución, mayor relación beneficio-costos, costos de mantenimiento. Además de que en los últimos años se han destacado por su aportación y sintonía con los requerimientos de sustentabilidad.

En este trabajo se comentaron algunos criterios de diseño de edificios prefabricados. Se

hace énfasis en el problema del diseño y comportamiento sísmico de conexiones entre elementos prefabricados, ya que este aspecto es el más relevante para el diseño sísmico de estructuras prefabricadas.

Si bien es cierto, que en México son pocos los despachos que diseñan estructuras prefabricadas para zonas sísmicas, actualmente se han realizado una gran cantidad de estudios analíticos, experimentales, y la aplicación directa en edificios en México, que sirven como base para ampliar y compartir el know-how de las grandes prefabricadoras nacionales y extranjeras.

Referencias

- [1] M. Rodríguez & M. Torres, (2012). Evaluación del Comportamiento Sísmico de Conexiones Trabe-Columna de Concreto Prefabricado con Soldadura en Barras de Refuerzo. *Revista de Ing. Sísmica*, pp. 95-144.
- [2] Gobierno del Distrito Federal. (2017). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, México: Gaceta Oficial del Distrito Federal. pp. 372-566.
- [3] Gobierno del Distrito Federal. (2017). Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo: Gaceta Oficial del Distrito Federal. pp. 44-83.
- [4] Comisión Federal de Electricidad. (2017). Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño Sísmico CFE 2015.
- [5] J. Reyes, UNAM. 2003, pp. 158.
- [6] A. Gallegos Suárez & G. Ríos Mingram, (s.f.). Conexiones y Elementos Prefabricados. *Revista de Ingeniería Sísmica*.
- [7] J. G. Prado (2010). Prefabricación y prefuerzo en centros comerciales. Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil, pp. 719.
- [8] Zermeño. (1992). Ensayes en México de una conexión prefabricada. Trabe-columna.