

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA EL USO DE ELEMENTOS
PREFABRICADOS DE CONCRETO ARMADO PARA ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORES:

Renzo Adolfo Montenegro Carrillo

Gloria Lorena López Chaupijulca

Manuel Alejandro García Arriola

Sergio Emanuel Vilchez Moreno

Jairo César Muñoz Blanco

ASESOR:

Diego Villagómez Molero

Lima, Diciembre, 2020

RESUMEN

Los elementos prefabricados se han abierto camino en el mercado mundial debido a sus diversas ventajas; sin embargo, se deben tener consideraciones importantes al momento de diseñar con estos. El presente trabajo de investigación expone dichas consideraciones, así como las ventajas que presentan estos elementos.

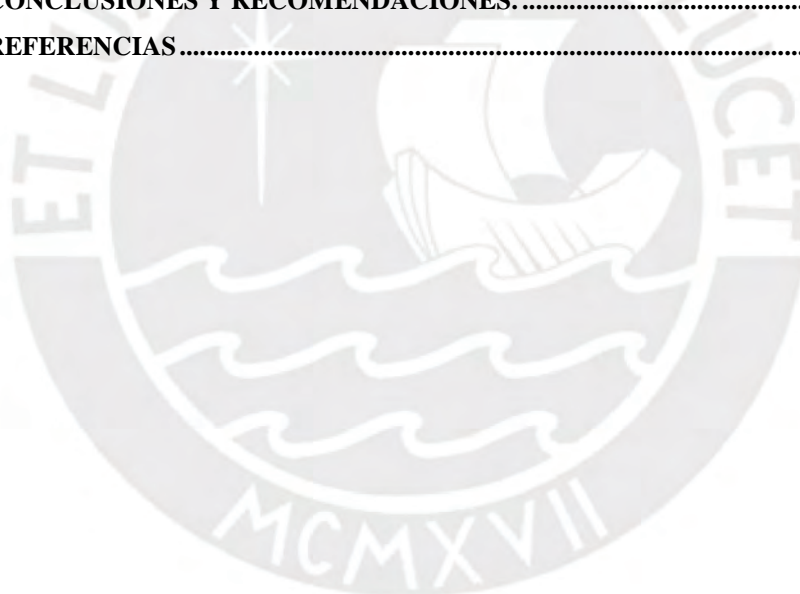
Las consideraciones para el diseño con elementos prefabricados deben ser tomadas en cuenta desde la concepción del elemento a usar. Se debe definir que elemento es el prefabricado a usar y que función tendrá en la estructura para luego analizar el tipo de conexión que tendrá con los demás elementos. Posteriormente se podrá analizar también el tipo de falla que posiblemente tendría y el comportamiento sísmico de los mismos.

Asimismo, se exponen las ventajas durante el proceso constructivo, las consideraciones durante este y el beneficio que tiene el uso de estos elementos en un contexto tan difícil y diferente como el actual. El distanciamiento social y la necesidad de que el sector no se detenga económicamente, brinda como opción más viable el uso de nuevas metodologías como esta.

Es importante mencionar que los códigos de diseño empleados en nuestra normativa aun no cubren este tipo de elementos por lo que se debe tener en consideración al momento de proponer el uso de estos al constructor. El mercado peruano aun es conservador por lo que se requiere exponer mejor las ventajas de esos elementos y educar a los constructores acerca del uso correcto de estos al momento de instalarlos.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Hipótesis	3
1.4 Justificación	3
1.5 Metodología	4
a. Investigación y síntesis de la información	4
b. Definición de conceptos y consideraciones de diseño	5
c. Interpretación y verificación de la hipótesis.....	5
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE.....	6
2.1 Consideraciones Generales	6
2.2 Impacto de los prefabricados	7
CAPÍTULO 3. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL CON ELEMENTOS PREFABRICADOS.....	12
3.1 Elementos Prefabricados en el mercado.....	13
3.3 Conexiones entre elementos.....	18
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	34
CAPÍTULO 5. REFERENCIAS	37



LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Puente Pontes de Fer (Noticreto, 2015)	2
Figura 2-1 Momentos flexionantes a lo largo de vigas preesforzadas simplemente apoyadas (Reinoso et al, 2000).....	6
Figura 2-2 Esfuerzos al centro de la luz y en los extremos de vigas simplemente apoyadas con y sin excentricidad. (Reinoso et al, 2000).....	7
Figura 2-3 Triángulo de la gestión.....	8
Figura 2-4 Diagrama de Gantt comparativo entre dos sistemas de construcción (NOTICRETO, 2016).....	10
Figura 2-5 Transporte de viga prefabricada.....	11
Figura 3-1 Plano referencial de Prelosa (PREANSA, 2020)	12
Figura 3-2 Detalle constructivo de vigueta y complemento (Concremax, 2019).....	13
Figura 3-3 Proceso constructivo con viguetas prefabricadas (Concremax, 2019).....	14
Figura 3-4 Proceso constructivo con prelosas (Concremax, 2019)	15
Figura 3-5 Esquema de prelosas con el complemento y posterior vaciado (Concremax, 2019)..	15
Figura 3-6 Placas alveolares de concreto (Concremax, 2019).....	16
Figura 3-7 Proceso constructivo con placas o losas alveolares (Concremax, 2019)	16
Figura 3-8 Partes de una nave industrial (PREANSA, 2020).....	17
Figura 3-9 Conexión simplemente apoyada en columna-viga (Tecnyconta)	19
Figura 3-10 Conexión semirrígida en columna-viga (Tecnyconta).....	20
Figura 3-11 Conexión semirrígida en columna-viga (Tecnyconta).....	21
Figura 3-12 Conexión sin ménsula de concreto simple (YMCYC).....	21
Figura 3-13 Conexión sin ménsula de acero (YMCYC)	22
Figura 3-14 Viguetas prefabricadas (Mixercon, 2018).....	23
Figura 3-15 Losa alveolar prefabricada (Mixercon, 2018).....	23

Figura 3-16 Prelosa pretensada (Mixercon, 2018).....	24
Figura 3-17 Conexión en viga-losa (Prainsa, 2018)	24
Figura 3-18 Conexión tipo ventana (Construaprende, 2018).....	25
Figura 3-19 Conexiones estructurales (Construaprende, 2018).....	25
Figura 3-20 Falla en zona de soldadura para traslape de acero. (Fintel, 1994)	28
Figura 3-21 Colapso del edificio de estacionamiento CSUN. Iverson y Hawkins (1994)	29
Figura 3-22 Conexión trabe- columna típica del edificio CSUN. Iverson y Hawkins (1994).....	30
Figura 3-23 Tipos de falla en muros: Muros de corte o placas. (1994).....	31



LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Naves industriales realizadas por PREANSA	17
Tabla 3-2 Proyectos de edificación realizados por PREANSA	18



CAPÍTULO 1. Aspectos Generales

1.1 Antecedentes

Los orígenes del concreto datan de la época romana, cuyo uso masivo podemos apreciarlo actualmente en diversas obras. Con el paso del tiempo, las técnicas de construcción con concreto han ido variando siempre en busca de la optimización de recursos.

Por otro lado, es durante la revolución industrial del siglo XVIII que se origina la prefabricación como proceso industrial aplicable a la construcción con la llegada de nuevos materiales para este sector. Siguiendo la evolución de los requerimientos sociales, las crisis socioeconómicas y el desarrollo de los mercados, los proyectos han buscado respuestas ingenieriles a los retos planteados. En ese sentido, la revista noticoncreto distingue la historia de los elementos prefabricados de concreto en tres grandes épocas.

En primer lugar, entre los años 1850 y 1940, los elementos prefabricados aun eran realizados de forma manual y a pie de obra. Por ejemplo, las primeras vigas prefabricadas de concreto armado de Edmond Coignet en 1889 o las primeras losas prefabricadas para cubiertas realizadas en EE. UU. en 1900. Sin embargo, el hito más resaltante de esta primera época es la presentación de la primera patente de concreto pretensado por el ingeniero estructural francés Eugene Freyssinet en 1928. Esto motivó también que se desarrollen aceros con mejor límite elástico y concreto de alta resistencia a edades tempranas. Después de abrir la primera fábrica de concreto pretensado en Francia, Freyssinet construye el primer puente con vigas y losas prefabricadas con una luz de 19 metros en la presa Pontes de Fer en 1936. Asimismo, en el camino mejoró las técnicas de vibrado y curado avanzados para concreto en edades tempranas.



Figura 1-1 Puente Pontes de Fer (Noticreto, 2015)

En la segunda etapa, entre los años de 1940 y 1970, una de las necesidades más importantes a cubrir era la reconstrucción de las ciudades afectadas por la segunda guerra mundial. La solución debía ser rápida y poco costosa; es por ello por lo que la industrialización de la construcción mediante los elementos prefabricados fue uno de los recursos más usados. Por ejemplo, el viaducto ferroviario Adam en Inglaterra con vigas T de 9 metros en cada uno de sus cuatro vanos construido en 1946. Por otro lado, en la unión soviética se crean los barrios urbanos con edificios idénticos usando paneles prefabricados de concreto. Finalmente, en 1960 se estandarizan los sistemas de prefabricados de concreto en Inglaterra por el ministerio de edificios y obras públicas, limitando estos a un máximo de 6 pisos.

En la última etapa del siglo XX, la prefabricación se volvió más abierta puesto que atendía también demandas pequeñas y diferenciadas lo que hizo que la industria busque mejoras para seguir optimizando recursos en su proceso. Asimismo, es importante mencionar que en países del norte de Europa la radical disminución de temperatura en los meses de invierno motivó la posibilidad de implementar más la construcción industrializada usando

elementos prefabricados y posteriormente se adoptaría esta ventaja a los trabajos durante las otras estaciones del año.

Con el transcurso de estos años y las experiencias ganadas, los elementos prefabricados han ido ganando mejor estética y mejores técnicas de fabricación, mejorando así el proceso en general y ampliando la aplicación de estos debido a su confiabilidad ganada. Según López Vidal, el uso de prefabricados nos permite optimizar recursos ya que se pueden combinar servicios e instalaciones dentro de estos elementos en mención.

1.2 Objetivos

Mostrar las diferentes consideraciones de diseño que implica el uso de elementos de concreto armado prefabricados en una edificación.

Objetivos específicos:

- Exponer las distintas conexiones para tener en cuenta para el diseño con elementos prefabricados.
- Presentar la relación costo-tiempo que requiere usar elementos prefabricados en la fase constructiva respecto a la construcción tradicional.
- Dar a conocer los diferentes tipos de elementos prefabricados de concreto armado presentes en el mercado peruano.

1.3 Hipótesis

El mercado de la construcción ha ido mejorando con el tiempo y optimizando recursos. Hoy en día se usan elementos prefabricados con mayor frecuencia; sin embargo, estos involucran diferentes consideraciones que se deben tener en cuenta desde la etapa de diseño.

1.4 Justificación

Hoy en día, todas las industrias están experimentando avances tecnológicos y con ellas también la construcción, la fabricación de prefabricados está diversificando sus moldes,

ensayos y sistemas de vaciado los cuales mejoran el comportamiento del concreto del elemento en la estructura.

Por ello es importante que se profundice también en la investigación de las conexiones de estos prefabricados en la estructura en general para implementar también un mejor comportamiento ante eventos sísmicos u otra eventualidad. Debido a la falta de conocimiento es que la misma norma de diseño E060 no permite el uso de estos elementos; sin embargo, sus amplias ventajas demuestran en campo que su uso es beneficioso, más aún en la coyuntura actual en la que se requiere un aforo en obra más estricto.

Los protocolos sanitarios que han sido impuestos debido a la pandemia del COVID-19 requieren que se trabaje con la capacidad en un 50% debido al aislamiento social; sin embargo, en obra esto complica el tiempo de producción y la fecha de entrega de los proyectos. El uso de los prefabricados es entonces una de las mejores alternativas ya que requiere menos personal y reduce los tiempos en las partidas respectivas.

1.5 Metodología

Esta información será desarrollada mediante un proceso cualitativo con el fin de alcanzar los objetivos planteados. Debido a ello, el trabajo será realizado en 3 etapas distintas para llegar a lo esperado: Investigación y síntesis de la información; definición de conceptos y consideraciones de diseño; e interpretación y verificación de la hipótesis.

a. Investigación y síntesis de la información

Durante la primera etapa, se realizará revisión de la información recolectada sobre la prefabricación del concreto y el uso de estos elementos. Para lo cual, se buscará información en diversos artículos de investigación, tesis, revistas y fichas técnicas de los productos en mención. Inicialmente se profundizará en los aspectos generales de la prefabricación de elementos de concreto armado para después entrar más en detalle en los aspectos a considerar para esta investigación.

b. Definición de conceptos y consideraciones de diseño

En esta segunda etapa, se definirán los conceptos que implica el uso de prefabricados en las diferentes etapas de la construcción con estos. Además, se expondrán las consideraciones de diseño que implica usar estos elementos. Es importante el estudio de estas consideraciones ya que las conexiones de estos elementos podrían variar la respuesta de la estructura ante algún sismo que la afecte en el futuro.

c. Interpretación y verificación de la hipótesis

Finalmente, verificaremos la hipótesis planteada inicialmente interpretando la información recolectada. En general, se buscará contribuir con la actualización y el resumen de la información sobre los elementos prefabricados, así como también de las consideraciones para tener en cuenta en la etapa de diseño de las edificaciones.



CAPÍTULO 2. Estado del arte

2.1 Consideraciones Generales

a. Concreto Presforzado

Este tipo de concreto tiene la particularidad de que ha sido creado aplicando intencionalmente esfuerzos adicionales para mejorar el comportamiento del elemento ante las cargas a las que será sometido posteriormente. El uso del concreto presforzado ha logrado abarcar una gran diversidad puesto que van desde las viguetas en viviendas hasta el uso de estos en puentes con luz libre considerable.

En el “Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas” de Eduardo Reinoso, Mario Rodriguez y Rafael Betancourt, se muestra, en la figura 2-1 y 2-2, la comparación de vigas con distintas disposiciones de esfuerzo y como estas mejoran la respuesta del elemento antes los esfuerzo y momentos aplicados.

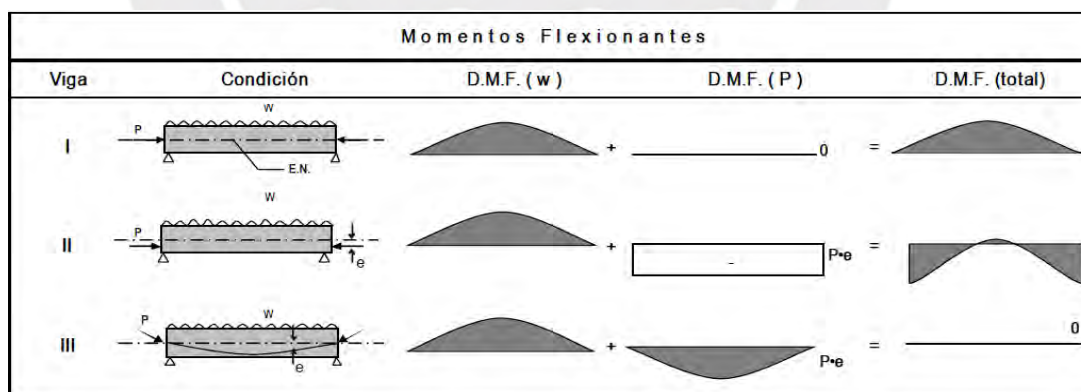


Figura 2-1 Momentos flexionantes a lo largo de vigas preesforzadas simplemente apoyadas (Reinoso et al, 2000)

		Esfuerzos												
Viga	Condición	AL CENTRO DEL CLARO				EN EL EXTREMO								
		Carga (W)	Presfuerzo Axial	Presfuerzo Excéntrico	Total	Carga (W)	Presfuerzo Axial	Presfuerzo Excéntrico	Total					
I			-		+	0 =		0 -		+	0 =			
II			-		+		=		0 -		+		=	
III			-		+		=		0 -		+	0 =		

Figura 2-2 Esfuerzos al centro de la luz y en los extremos de vigas simplemente apoyadas con y sin excentricidad. (Reinoso et al, 2000)

En la figura 2.1 se comparan 3 vigas (I, II, III) siendo el W la carga vertical y P la fuerza del presfuerzo. Los 3 casos muestran diferentes aplicaciones del presfuerzo; en la primera se puede notar que no tiene beneficio la aplicación de este; en la segunda se aplica con excentricidad, pero al no tener cargas verticales tampoco se consigue comportamiento beneficioso; sin embargo, en el tercer caso el presfuerzo aplicado genera momentos que contrarrestan efectivamente la aplicación de las fuerzas verticales.

Por otro lado, la figura 2-2 presenta los diagramas de esfuerzos de los mismos casos antes explicados. En el primer caso se puede observar que si se ha mejorado el comportamiento con la aplicación del presfuerzo pese a que solo sea axial. En los otros dos casos, los esfuerzos en los extremos aún son más menores debido a la excentricidad del presfuerzo.

En general, en los tres casos se demuestra que los preesfuerzos a los que han sido sometidos disminuyen los esfuerzos y momentos; además, es importante mencionar que los efectos secundarios pueden solucionarse sencillamente puesto que solo serías momentos o esfuerzos en los extremos.

2.2 Impacto de los prefabricados

En el mundo de la construcción se han utilizado numerosas técnicas de gestión las cuales han tenido como objetivo hacer más eficiente los procesos constructivos y todo lo que esto abarca, es así como, según el Project Management, un proyecto es exitoso cuando cumple tres requisitos, plazo, presupuesto y calidad.

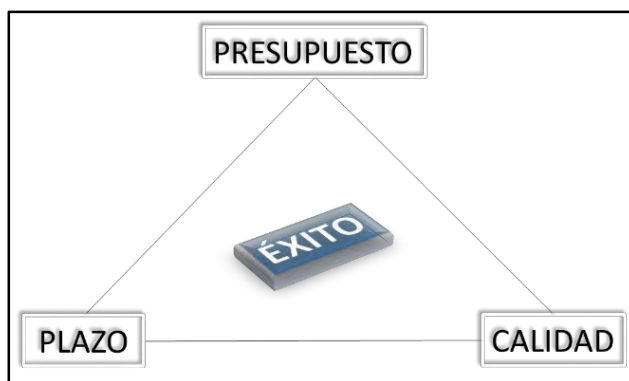


Figura 2-3 Triángulo de la gestión

En ese sentido la industria de prefabricados se presenta como una opción atractiva que va en sintonía con los objetivos establecidos.

El término prefabricado está asociado casi de forma automática al tiempo, pues es una de las mayores ventajas que podemos encontrar en su uso, pero como mencionábamos anteriormente, el presupuesto y la calidad son conceptos asociados en esta industria.

- **COSTOS**

Si se analiza el costo directo de la construcción, una de las ventajas que se pueden encontrar en el uso de prefabricados, es que el presupuesto del casco estructural se podría considerar fijo, pues las piezas son fabricadas de acuerdo a los requerimientos y se evita trabajos rehechos, salvo algún cambio de último momento que de todas maneras no afectaría significativamente el plazo; sin embargo, para analizar el tema de costos debemos ir más allá de los costos directos, pues gran parte del ahorro que puede presentar esta industria está distribuido a lo largo del tiempo, en la etapa de operación y mantenimiento, los elementos prefabricados presentan recubrimientos adecuados los cuales ayudan a aislar satisfactoriamente el fuego de la estructura; no obstante, si las temperaturas son muy elevadas y dañan el acero estructural, éste elemento puede desmontarse individualmente para ser reemplazado.

Por otro lado, cada vez más empresas optan por hacer naves industriales o almacenes de concreto prefabricado por encima del acero estructural convencionalmente usado, con esto reducen costos de mantenimiento a valores mínimos, no presentan problemas de corrosión y

no se tiene que realizar tratamientos periódicos a la estructura, asimismo las primas de seguro son más económicas para estructuras de concreto que para estructuras de acero.

- **CALIDAD**

Los elementos prefabricados son realizados a nivel industrial, con varios procesos automatizados que reducen los defectos encontrados en una construcción tradicional, por otro lado, los agregados utilizados son una previamente seleccionados para cumplir con las demandas establecidas según cada proyecto, el acabado estético puede ayudar a reducir costos de lijado en el caso de sótanos.

- **PLAZOS**

Como se mencionaba anteriormente, la industria de prefabricados es mayormente conocida por la reducción de plazos comparados con un sistema tradicional de construcción, tal es la influencia que algunos estudios hablan de un 40 a 50% de reducción en el plazo, esta cualidad está estrechamente ligada al costo, pero no solo el directo, pues este impacto se ve reflejado en el cliente, mientras más pronto se ponga en uso la edificación, más pronto ocurrirá un retorno de inversión, esta reducción de plazos es posibles, debido a que se pueden superponer tareas que en un sistema convencional no era posible, por ejemplo, mientras en obra se realiza las excavaciones, en la planta de prefabricados ya se están realizando elementos tales como vigas, columnas o losas, los que posteriormente serán ensamblados, a continuación, se muestra un diagrama de gantt que compara un sistema de construcción tradicional y uno con prefabricados, realizado para la construcción de un centro comercial de 120 000 m².



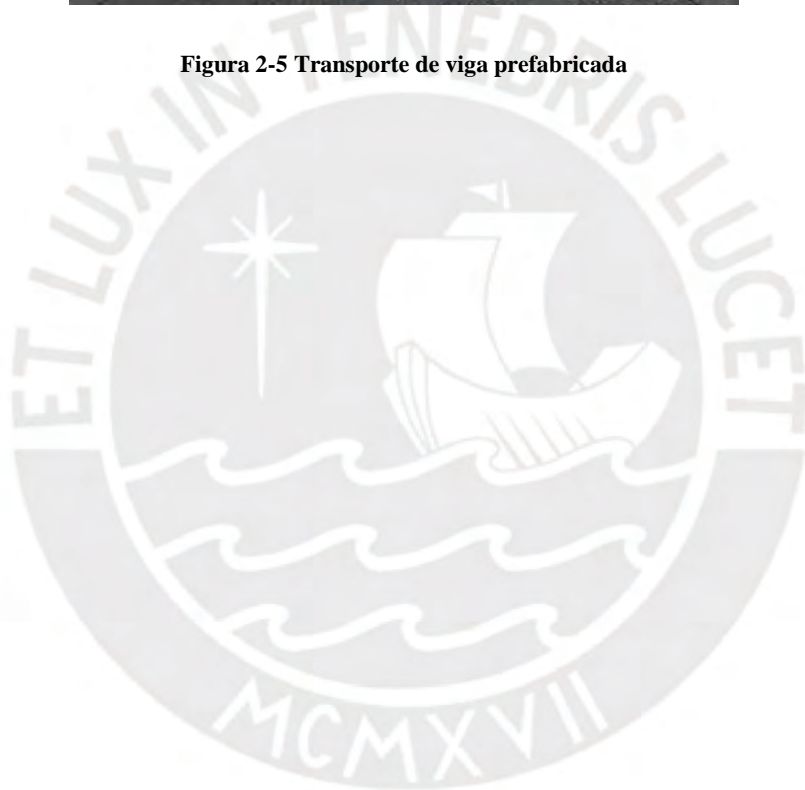
Figura 2-4 Diagrama de Gantt comparativo entre dos sistemas de construcción (NOTICRETO, 2016)

Como podemos notar en los gráficos anteriores, existe una significativa reducción de tiempo, si colocamos esta obra en el contexto de alguna campaña navideña, esta reducción de plazo implica mucho más que un ahorro de tiempo.

Sin embargo, uno de los principales puntos en contra en el uso de estos elementos, es el transporte, muchas veces los elementos diseñados, son tan grandes que tienen dificultad para encontrar una ruta adecuada hasta la obra, estos elementos deben encontrarse bien anclados al camión que los transporta para evitar cualquier accidente con otros vehículos o personas, asimismo al momento de llegar a obra se debe tener especial cuidado en su acopio, pues cualquier maniobra mal ejecutada, puede fisurar al elemento, generando que pierda sus propiedades físicas y tenga que ser reemplazado.



Figura 2-5 Transporte de viga prefabricada



CAPÍTULO 3. Consideraciones para el diseño estructural con elementos prefabricados

Dentro de los elementos prefabricados, es importante tener en cuenta que se necesita una adecuada conexión con los demás elementos estructurales para que dicho sistema funcione de manera adecuada. Todo esto dependerá de las conexiones en los nudos que se harán en el diseño y, posterior a este, en el proceso constructivo. Además, estos elementos cuentan con luces y anchos más grandes debido a los beneficios y la trabajabilidad con los que cuentan.

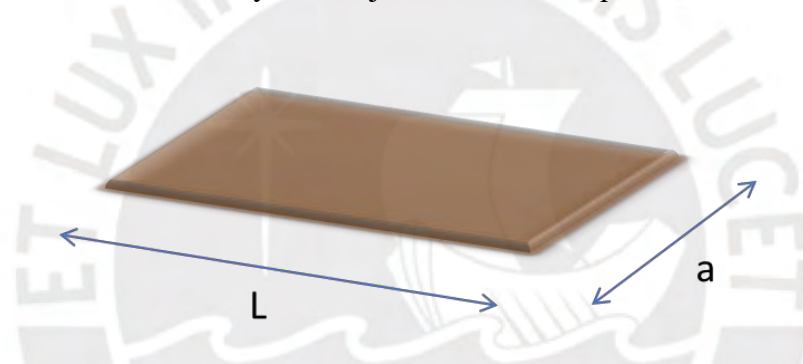


Figura 3-1 Plano referencial de Prelosa (PREANSA, 2020)

En el mercado peruano, la industria de prefabricados aún no es intensiva, esto se debe principalmente a que somos un país sísmico y no existe una normativa exclusiva para este tipo de edificaciones, por el contrario en la normativa vigente se recomienda no utilizar en zonas sísmicas; sin embargo, informes de países vecinos han dado cuenta del buen comportamiento que tienen este tipo de estructuras en eventos sísmicos; no obstante, esto no ha sido impedimento para que empresas como UNICON, PREANSA y muchas otras que cada vez hacen más grande la lista, hayan realizado exitosos proyectos en nuestro país.

A continuación, se presentarán los elementos prefabricados más conocidos y los detalles del proceso constructivo para generar las adecuadas conexiones que se desean, según sea el caso:

3.1 Elementos Prefabricados en el mercado

El mercado global cuenta con gran variedad de elementos prefabricados y cada fabricante presenta su ficha técnica y recomendaciones tanto en conexiones como en almacenamiento. Asimismo, algunos códigos de diseño extranjeros respaldan este tipo de elementos; sin embargo, el mercado nacional aún está limitado a la filosofía conservadora que presenta. Entre los elementos y fabricantes más resaltantes presentes tenemos:

- Viguetas prefabricadas

Estas pueden ser pretensadas o postensadas. Requiere menos encofrado en losa puesto que solo usa apuntalamiento y reforzamiento en los sobreanchos planteados por el diseñador. En cuanto a las empresas que brindan este producto en el mercado nacional hay amplia diversidad, entre ellas podemos mencionar a: Prodac, Concremax, etc.

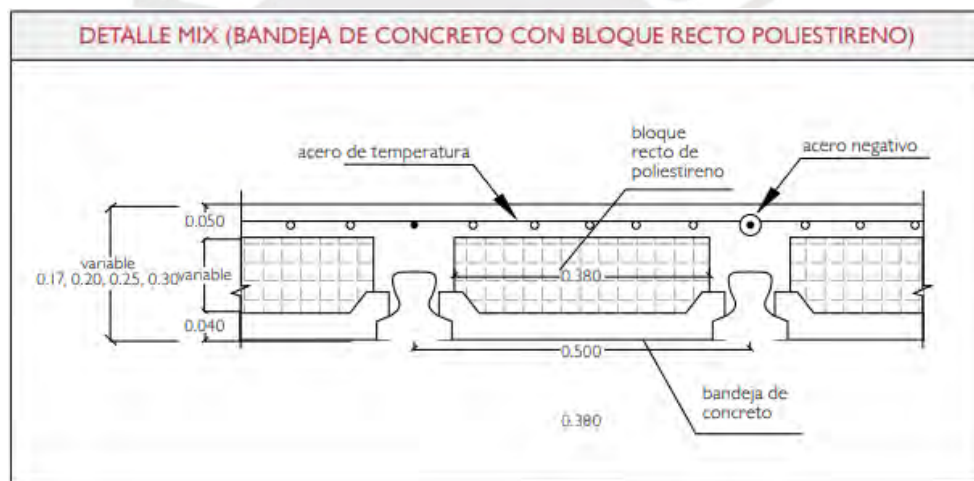


Figura 3-2 Detalle constructivo de viga y complemento (Concremax, 2019)

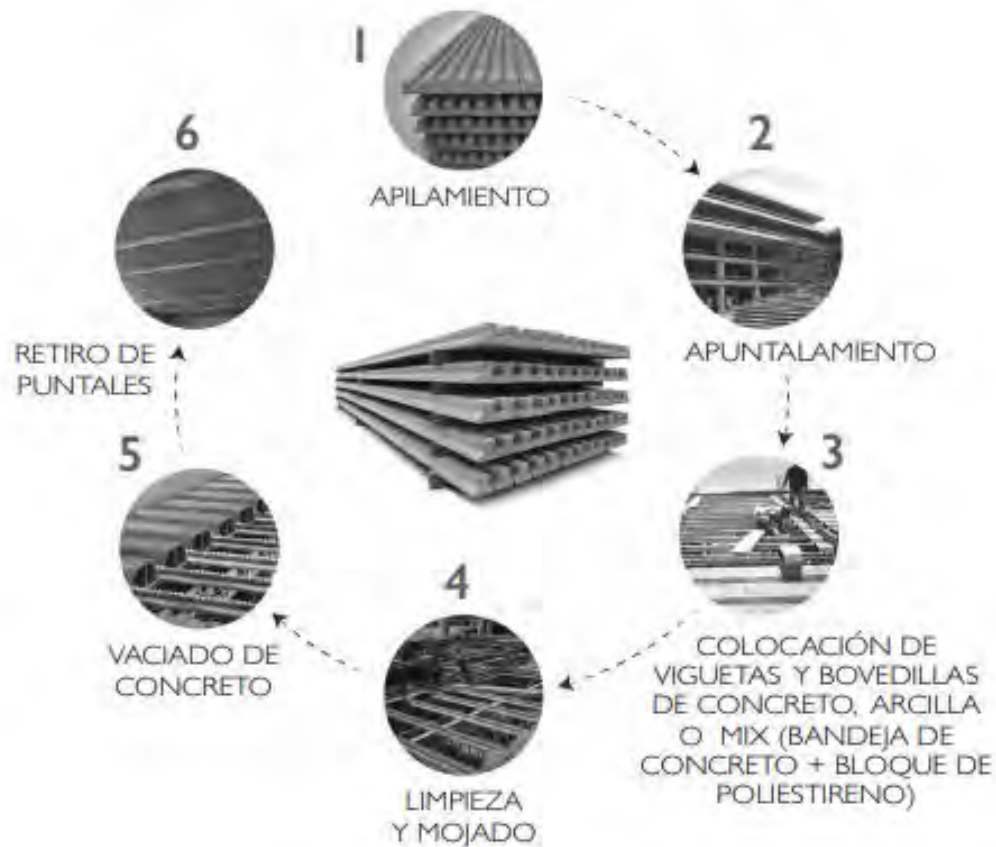


Figura 3-3 Proceso constructivo con viguetas prefabricadas (Concremax, 2019)

- **Prelosas**

Elemento formado por una superficie plana y nervios, según se requiera. Permite instalaciones sanitarias y eléctricas con facilidad, además, no requiere encofrado de fondo de losa, para su instalación se requiere solo el apuntalamiento. Asimismo, permite ahorrar en concreto. En el mercado nacional lo ofrecen algunas empresas como Unicon, Prelima, Betondecken, entre otras.



Figura 3-4 Proceso constructivo con prelasas (Concremax, 2019)



Figura 3-5 Esquema de prelasas con el complemento y posterior vaciado (Concremax, 2019)

- Muros o placas

Elementos que cuentan con mayor capacidad pese a su menor espesor con respecto a los antes mencionados y acabado óptimo.

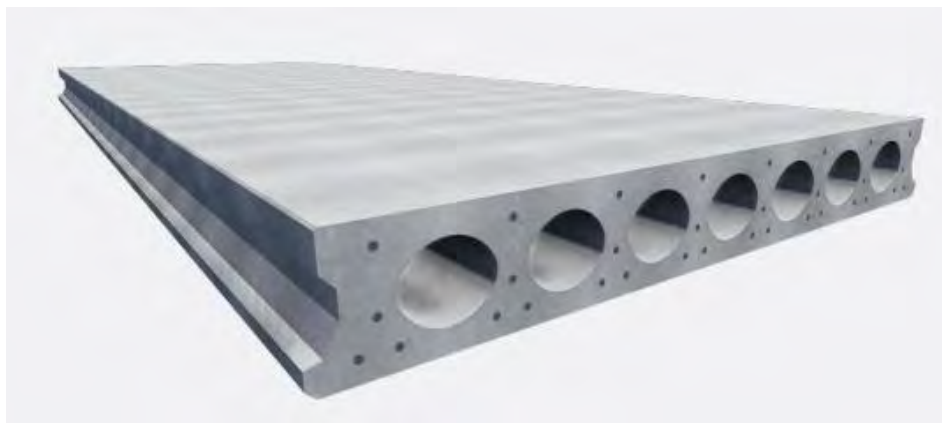


Figura 3-6 Placas alveolares de concreto (Concremax, 2019)

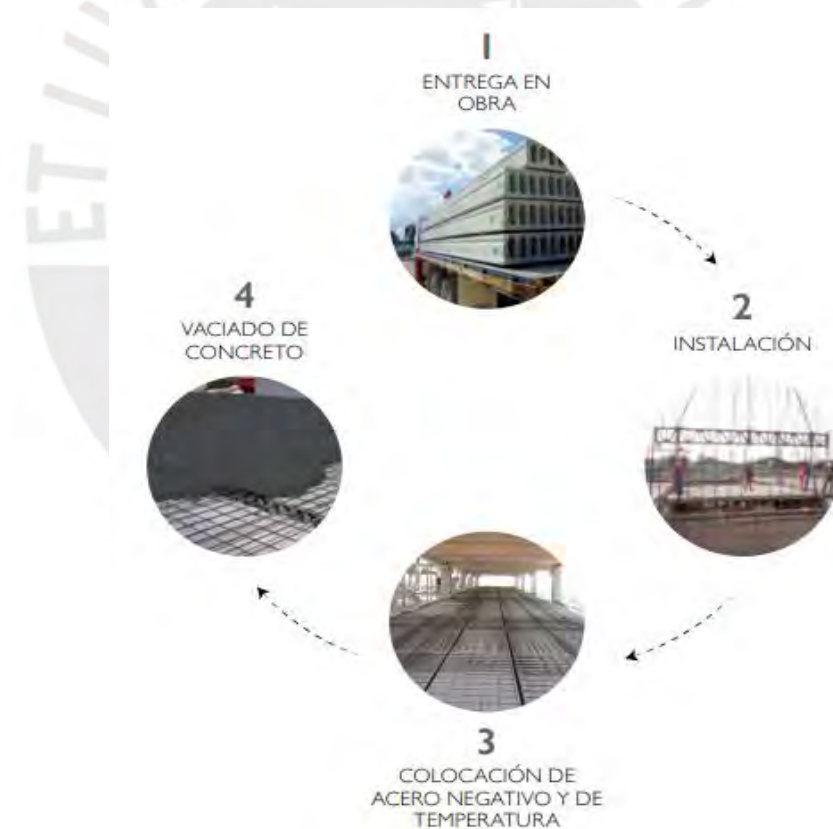


Figura 3-7 Proceso constructivo con placas o losas alveolares (Concremax, 2019)

Asimismo, podemos mencionar los siguientes proyectos realizados por la empresa PREANSA:

- **Naves industriales**

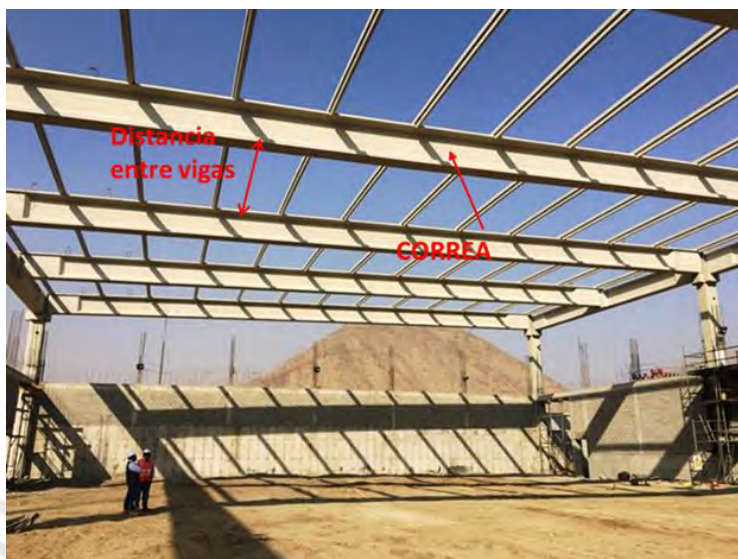


Figura 3-8 Partes de una nave industrial (PREANSA, 2020)

Tabla 3-1 Naves industriales realizadas por PREANSA

PROYECTOS DE NAVES INDUSTRIALES	Área (m ²)	Vol. (m ³)	L correas (m)	Dist. Vigas (m)	Plazo
Centro Logístico CARPITAS (Lurín)	12000	820	20	12	6 semanas
Nueva Planta de cerámica San Lorenzo	20000	1500	24	9	8 semanas
Ampliación de Corporación “ACEROS AREQUIPA”	18400	2000	30	12	5 semanas
Centro de distribución PPL LOGISTICS TRANSMERIDIAN	32000	3200	16.5	23	10 semanas

- **Edificios**

Tabla. 3 proyectos de edificación realizados por PREANSA

Tabla 3-2 Proyectos de edificación realizados por PREANSA

PROYECTOS EDIFICACIÓN	DE	Área (m ²)	Vol. (m ³)	Paños de Losa (m)	Plazo
PLANTA MITSUI (La molina)		13000	1700	14.3 x 14.5	12 semanas
Ampliación MEGAPLAZA	CINEMARK	13000	1600	10.8 x 15	9 semanas

3.3 Conexiones entre elementos

Conexión viga-columna:

Para el caso de la unión de estos 2 elementos estructuras, se conocen 3 tipos de conexiones más conocidas con uso de ménsulas:

- Unión mediante vigas con condición “simplemente apoyado”

Esta conexión es simple. Aquí la viga se encontrará simplemente apoyada, transmitiendo a la columna solo cargas de cortante mediante la extensión de la columna donde se apoya la viga, y el momento generado por la excentricidad de las cortantes en el elemento horizontal, gracias a la ménsula presente en la columna.



Figura 3-9 Conexión simplemente apoyada en columna-viga (Tecnyconta)

- Unión mediante vigas con condición “conexión semirrígida”

A diferencia de la conexión anterior, no solo va a estar transmitiendo las cargas cortantes, sino también momentos flectores, pero solo del tipo “negativo”, dado que, en su diseño, se le provee de conexión continua en la parte superior de la viga, mas no en la parte inferior, por lo cual se transmitirán de la viga a la columna, cargas cortantes y momentos flectores.



Figura 3-10 Conexión semirrígida en columna-viga (Tecnyconta)

- Unión mediante vigas con condición “conexión rígida”

Conocida como conexión hiperestática. Este tipo de conexión es un tipo más fuerte que la anterior mencionada, dado que las transmisiones de cargas serán de fuerzas cortantes y de momentos flectores, tanto del tipo positivo y negativo, puesto que la conexión se dará mediante un sistema similar que la conexión semirrígida, pero con una conexión continua tanto en la parte superior e inferior de la viga.



Figura 3-11 Conexión semirrígida en columna-viga (Tecnyconta)

Por otro lado, también hay conexiones de estos elementos sin la necesidad de hacer uso de ménsulas de concreto:

- Conexión sin ménsula de concreto simple

Para este tipo de conexión, se dejan orificios en las columnas para que el acero pueda pasar por estos mismos, todo a través de extensiones conocidas como “brazos”.

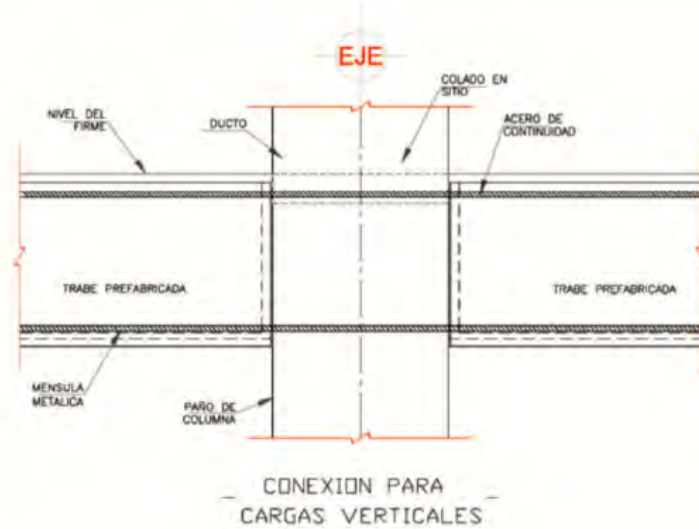


Figura 3-12 Conexión sin ménsula de concreto simple (YMCYC)

- Conexión sin ménsula de concreto-uso de ménsula de acero

Para este tipo de conexión, se dejan orificios en las columnas para que el acero pueda pasar por estos mismos, y luego se conecta a las columnas mediante anclaje mecánico.

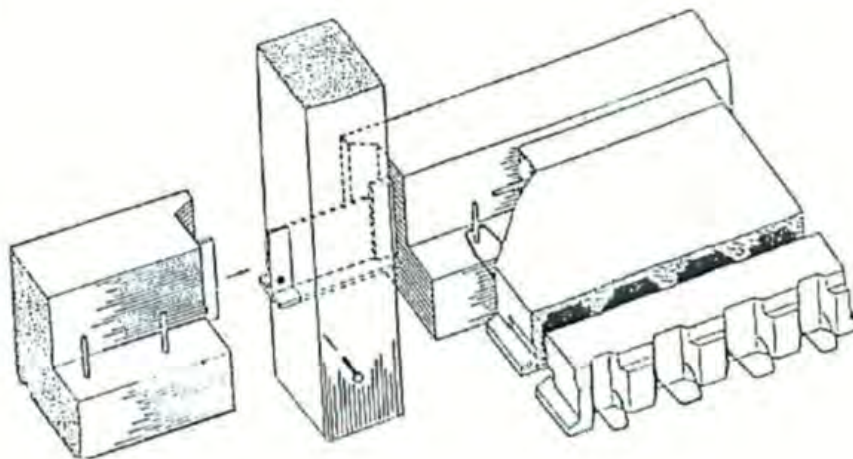


Figura 3-13 Conexión sin ménsula de acero (YMCYC)

Conexión viga-losa:

La conexión entre estos 2 elementos se llega a dar de manera compuesta. El elemento prefabricado se une con la viga mediante un vaciado in situ, con la finalidad que haya una correcta adherencia entre estos elementos y se dé una adecuada transmisión de cargas. En adición a lo mencionado, se le coloca un refuerzo adicional para evitar fallas en el diafragma que se forma por fuerza cortante.

A continuación, se muestran imágenes de los distintos tipos de prefabricados que hay en el mercado peruano:



Figura 3-14 Viguetas prefabricadas (Mixercon, 2018)



Figura 3-15 Losa alveolar prefabricada (Mixercon, 2018)



Figura 3-16 Preloso pretensada (Mixercon, 2018)

La conexión que habrá una vez realizado el vaciado in situ será similar en todos estos tipos de prefabricados. La diferencia principal será en cuanto concreto se necesitará vaciar. En la siguiente imagen, se observa un esquema general que muestra los detalles más importantes de cómo está estructurada la unión entre la viga y la losa en un vaciado in situ.

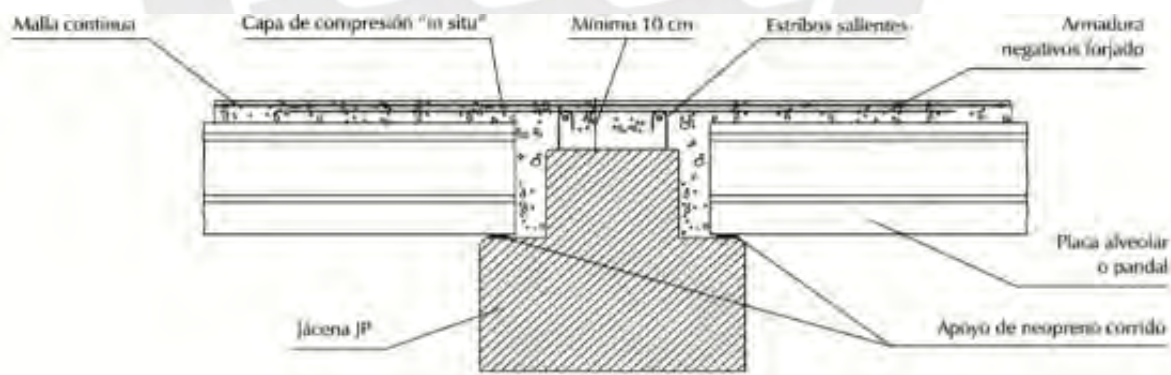


Figura 3-17 Conexión en viga-losa (Prainsa, 2018)

- **Conexión columna-columna:**

Para las uniones de columna y columna, la más conocida es la del tipo “ventana” o conexión “tipo cajón”, como también se le conoce. A continuación, se presentarán 2 imágenes donde se muestra un ejemplo y el detalle de esta unión:



Figura 3-18 Conexión tipo ventana (Construaprende, 2018)

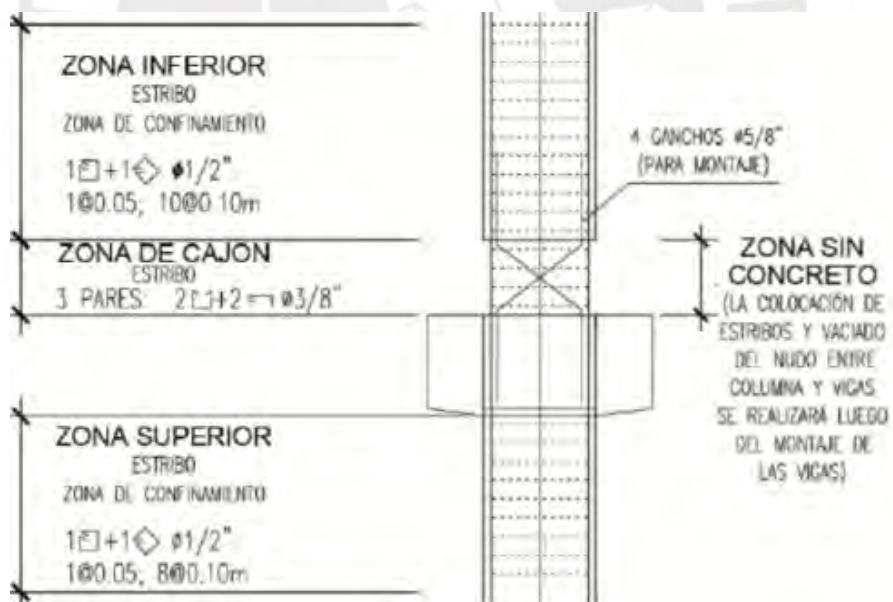


Figura 3-19 Conexiones estructurales (Construaprende, 2018)

3.3 Comportamiento sísmico

Según la Revista de Ingeniería Sísmica (2001), la industria de la prefabricación en los Estados Unidos se inició en la zona Este, lugar donde los efectos sísmicos son nada relevantes, por lo que en los diseños de edificaciones en dicho lugar no se enfocaba en aspectos sísmicos. Lamentablemente, este tipo de construcción y diseño de estructuras prefabricadas han influido en nuestro país el cual es una zona con alto riesgo sísmico. Dicho esto, a lo largo de los años se han empleado soluciones para conexiones entre elementos prefabricados que no tienen resistencia ni ductilidad y que, sin embargo, son deseables en estructuras ubicadas en lugares sísmicos.

De acuerdo con el artículo científico “Estructuras prefabricadas en zona sísmicas”, el comportamiento de las estructuras prefabricadas de concreto armado ante eventos sísmicos, depende básicamente en el tipo de unión o conexión que vincula los diferentes elementos prefabricados.

Se puede afirmar que el comportamiento de estas en zonas sísmicas, como el Perú, es análogo al que corresponde a una estructura de concreto reforzada in situ siempre y cuando la estructura prefabricada presente una tipología de unión en la que se da continuidad a las armaduras que configuran los nudos rígidos. Por ende, la aplicación de normativas para estructuras de concreto armado es la misma que para las prefabricadas. Asimismo, la ductilidad de las secciones de los elementos prefabricados y de sus juntas se halla con los mismos criterios que los correspondientes para el análisis de cualquier estructura de concreto armado.

En resumen, un diseño apropiado de las uniones o conexiones entre los elementos prefabricados permite aplicar a las estructuras prefabricadas, en zonas con peligro sísmico, un tratamiento idéntico con carácter generales establecido por las normas correspondientes a estructuras de concreto reforzado.

A continuación, se detallan algunos comportamientos de estructuras prefabricadas de concreto armado ante eventos sísmicos ocurridos años pasados en diferentes partes del mundo.

- TERREMOTO DE MÉXICO DE 1985

En el terremoto ocurrido el 19 de setiembre de 1985 en la ciudad de México, se observó diferentes niveles de daños en cientos de estructuras de diferente tipo. Si bien no se sabe la cantidad de edificaciones prefabricadas de concreto armado en México en la fecha del evento sísmico, se estimó un pequeño porcentaje pequeño del total de edificaciones existentes. En su mayoría, se observó que la conexión entre trabes y columnas se efectuaba mediante concreto colado en sitio empleando soldadura a fin de dar continuidad al refuerzo del lecho inferior y superior.

Esta evaluación del comportamiento sísmico de edificaciones prefabricadas en el terremoto en mención fue realizado por Fintel (1986) en función al comportamiento observado durante el terremoto el cual se puede considerar favorable ya que se encontraron que cinco edificios prefabricados llegaron al colapso y, de acuerdo a la inspección in situ, se concluyó que las razones por las cuales estos colapsos ocurrieron fueron idénticas a las que ocasionaron el colapso de estructuras de concreto armado convencional.

- TERREMOTO EN ARMENIA EN 1988

En el terremoto ocurrido el 7 de diciembre en la ciudad de Leninakan, se observó daños importantes y colapsos en edificios prefabricados. Con respecto a las estructuras prefabricadas a base de marcos, el 95% de ellos colapsaron donde la mayor parte eran edificios de 9 niveles. De acuerdo con Fintel (1994), las edificaciones de tipo prefabricadas a base de paneles de concreto armado no tuvieron ningún daño en la ciudad en mención a pesar de que la intensidad sísmica se amplificó debido a las características de depósitos aluviales.

A continuación, la figura 3-20 representa la falla la conexión del acero a base de soldadura en un edificio prefabricado a base de marcos que se experimentó en el movimiento telúrico en Armenia.



Figura 3-20 Falla en zona de soldadura para traslape de acero. (Fintel, 1994)

- **TERREMOTO EN JAPÓN EN 1995**

En el terremoto ocurrido en la ciudad de Kobe en 1995 ha sido uno de los más fuertes ocurrido en Japón. Muguruma (1995) evaluó un total de 163 edificios prefabricados de concreto armado y se observó que estas edificaciones tuvieron un excelente comportamiento durante el movimiento telúrico. Las razones de ello fueron las siguientes:

- Los edificios de concreto armado se diseñan con mayores fuerzas que las correspondientes a estructuras convencionales
- Los edificios prefabricados son construidos de forma regular y con características uniformes.
- La calidad del concreto y de la construcción, en general, es muy buena.

- **TERREMOTO EN NORTHRIDGE EN 1994**

En el terremoto de Northridge ocurrido el 17 de enero de 1994 en el estado de California, se observó colapsos y daños severos en edificios prefabricados de concreto armado de los cuales eran principalmente edificaciones destinados a estacionamientos (Iverson y Hawkins, 1994).

Se consideran dos aspectos importantes y relevantes con respecto al comportamiento sísmico de este tipo de edificaciones:

El primer punto se basa en que la trayectoria de acciones sísmicas supuestas en el proceso de diseño de las estructuras en mención no fue la que se intuye del comportamiento observado en ellas.

Este aspecto fue observado en edificios cuya planta tenía forma alargada y, en sus extremos, se ubicaban muros de concreto reforzado. En tal caso, los sistemas de losa no fueron capaces de transmitir las fuerzas sísmicas actuantes en su plano a los muros en mención (Wood et al, 2000).

El segundo punto en este movimiento telúrico fue el comportamiento de edificaciones destinados a estacionamientos en donde el sistema estructural era de tipo mixto (marcos diseñados para soportar fuerzas sísmicas con marcos diseñados para resistir solamente cargas de gravedad). De acuerdo con Iverson y Hawkins (1994), este último tipo de marcos no demostró capacidad suficiente de resistencia y deformación para la demanda impuesta por el evento sísmico.

El caso más conocido es el edificio de estacionamiento CSUN (California State University Northridge) de cuatro niveles tal y como se muestra en la figura 3-21.



Figura 3-21 Colapso del edificio de estacionamiento CSUN. Iverson y Hawkins (1994)

En este edificio, se observó la gran capacidad de deformación de los marcos dúctiles ubicados en el perímetro de la edificación. Lo mismo no ocurre con los marcos interiores del edificio ya que fueron diseñados solo para soportar cargas de gravedad.

La figura 3-22 representa un esquema del tipo de conexión trabe-columna empleado en estos marcos interiores en el que se observa que dicha unión no tiene capacidad de desarrollar momento resistente positivo (refuerzo de lecho inferior en tensión).

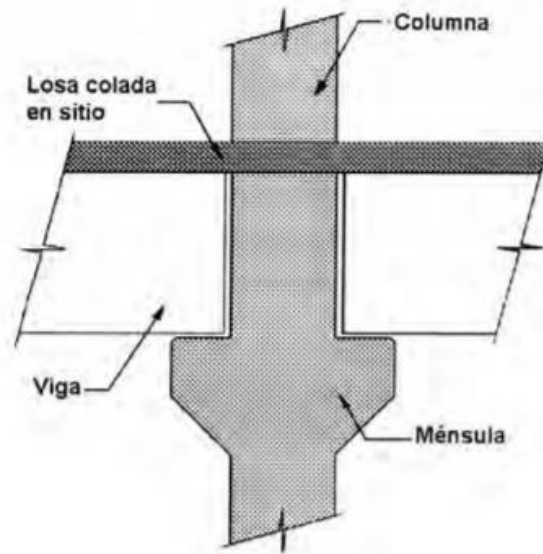


Figura 3-22 Conexión trabe- columna típica del edificio CSUN. Iverson y Hawkins (1994)

3.3 Mecanismos de falla.

Según Mesía, en su artículo Análisis comparativo del uso de elementos prefabricados de concreto armado vs. concreto vaciado in situ en edificios de vivienda de mediana altura en la ciudad de Lima. En edificios típicos el muro es un elemento estructural que resiste cargas de gravedad, sismo y separación de ambientes. Se espera que estos tengan un comportamiento dúctil. Por otro lado, las formas de falla en elementos verticales son las siguientes: por flexión, por tracción diagonal, por adherencia y por deslizamiento. Para un correcto diseño se espera que estos fallen por flexión, ya que los otros 3 corresponden a fallas frágiles. Para realizar esto es necesario aumentar la ductilidad del muro reforzando los talones comprimidos, es decir protegerlos con confinamiento, sea estribos o zunchos.

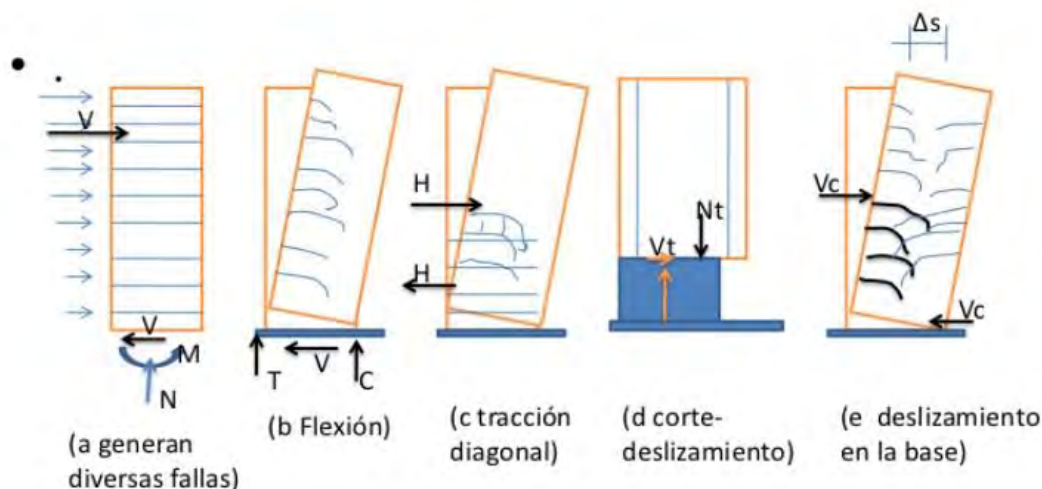


Figura 3-23 Tipos de falla en muros: Muros de corte o placas. (1994)

De manera análoga, se debe asegurar el comportamiento dúctil de los muros prefabricados, protegiendo el talón comprimido de estos y proporcionando una continuidad estructural desde las cimentaciones. Sin embargo, como los muros son muy esbeltos sólo se puede confinar los extremos y solo se pueden reforzar dichos puntos con varillas de acero. (Mesía, R)

Estudios anteriores han demostrado que una losa maciza fabricada con prelosas tendrá un comportamiento similar al de una losa maciza. Además, las losas prefabricadas pasan por un mayor control de

calidad, el curado es a vapor y permite que se aprovechen los tiempos muertos en obra en producir elementos. Al igual que una losa convencional sus principales causas de falla o agrietamiento son debido a deficiencias en extendido y enrasado, restricciones y cambios volumétricos, baja resistencia al desgaste.

Según Nilson, A. Para las vigas prefabricadas y en general la fractura metálica puede clasificarse en dúctil o frágil.

- Falla dúctil
La falla dúctil ocurre después de una gran deformación plástica y se caracteriza porque ocurre una lenta propagación de la grieta.
- Falla frágil
Se denomina falla frágil a aquella que sucede con una rápida propagación de la grieta. La falla tiende a suceder sin poder apreciar la deformación y debido a la rápida propagación de la grieta.

Los tipos de roturas en vigas son los siguientes:

- Rotura por flexión
Las vigas están diseñadas para trabajar casi siempre en flexión. Las causas principales de que suceda esto son las sobrecargas no previstas, deformación excesiva, cuantías insuficientes.
- Rotura por esfuerzo cortante
En resistencia de materiales, el centro de cortante es un punto el cual se encuentra en la sección transversal de la viga, tal que cualquier esfuerzo cortante que pase por él no producirá momento torsor en la sección transversal de la pieza. Las principales causas son sobrecargas no previstas, armaduras transversales insuficientes y baja calidad del hormigón.
- Rotura por compresión
Se da cuando la viga prefabricada está siendo comprimida, trabajando a compresión y su capacidad de resistencia está relacionado con su tamaño y especialmente con la superficie de la cara que percibe el esfuerzo de compresión o mejor dicho con la sección del elemento comprimido. Sus principales causas son cuantía o tracción alta y/o baja resistencia del hormigón a compresión.

- Roturas de pandeo de alma

El pandeo es un fenómeno de inestabilidad que sucede en elementos comprimidos esbeltos y se manifiesta por grandes desplazamientos transversales en la dirección principal de la compresión. Su principal causa es cuando la tensión de compresión supera la resistencia del hormigón.

- Rotura por tracción

Se denomina rotura por tracción a una forma diferente en el trabajo de los materiales, las cuales están apuestas a la compresión, actuando para producir alargamiento en el elemento. Generalmente estos problemas son causados por baja cuantía de armadura y/o baja resistencia a la tracción.



CAPÍTULO 4. Conclusiones y recomendaciones.

Se ha verificado que los elementos prefabricados requieren consideraciones de diseño diferentes a la construcción con elementos tradicionales. Las conexiones entre elementos es un factor para considerar en el diseño ya que el tipo de unión entre los elementos con todo el sistema, así como los mecanismos de falla y el comportamiento sísmico de dichos elementos son un nuevo mecanismo usado en el campo de la ingeniería y no todos estos han sido evaluados aun en situaciones o condiciones reales. Se debe verificar el tipo de conexiones puesto que las conexiones simplemente apoyadas, semirrígidas o rígidas presentan diferentes distribuciones de carga para los elementos involucrados y ello abarca diferentes comportamientos ante las solicitaciones a las que esté sometida la estructura.

Es importante mencionar que el comportamiento de las estructuras realizadas empleando elementos prefabricados en zonas sísmicas depende, de primera mano, de estas conexiones. Según el Dr. Burón, se pueden aplicar las mismas exigencias de la normativa actual siempre que se cumplan con la continuidad de la estructura; es decir, que el tipo de unión que vincula los elementos prefabricados permita la configuración de los nudos rígidos de la estructura en mención. Por lo tanto, si se asegura que el proceso de montaje es el adecuado para que este comportamiento se lleve a cabo, la estructura se comportará como una que ha sido construida in situ sin ninguna otra limitación.

De tal forma, se recomienda usar las mismas consideraciones que para una construcción de concreto armado realizada in situ. El cuidado de los materiales, la longitud de anclaje y la disposición de las cuantías necesarias deben cumplirse para que las uniones y nudos se puedan desarrollar de la misma forma que el tipo común de construcción. Consecuentemente, se podrá considerar la misma ductilidad para las secciones de los prefabricados que para cualquier otra estructura de concreto armado; además, se debe tener en cuenta el uso de la estructura para considerar su respectivo desplazamiento relativo.

Asimismo, es importante mencionar la facilidad que brindan estos elementos en el proceso constructivo. El tiempo de ejecución de la partida involucrada y la mano de obra se reducen considerablemente permitiendo así el ahorro en el proyecto a ejecutar. Hoy en día es importante resaltar esta alternativa debido a la coyuntura que se vive por la pandemia del COVID-19, el distanciamiento social ha sido un factor que afecta considerablemente la capacidad de avance de las obras de construcción y el uso de este tipo de elemento brinda parte de la solución a la problemática mencionada.

La coyuntura actual si bien es cierto ha golpeado en diferentes sectores al planeta entero, también ha impulsado nuevas industrias y repotenciado algunas incipientes, antes de reactivar el sector construcción, el gobierno peruano anexó a la ya existente normativa de seguridad y salud en el trabajo G.050, los protocolos que se deben cumplir de forma obligatoria, para reactivar el rubro de la construcción, entre ellos básicamente se encuentran indicaciones generales de higiene; sin embargo, también se indica que todas las áreas de trabajo deben trabajar con un máximo del 50% de su capacidad, así como 1.5m como mínimo de distanciamiento físico entre los trabajadores.

Estos requisitos han generado que las obras tengan que ser reprogramadas y se extiendan los plazos, debido a lo complejo que puede resultar cumplir con los objetivos del proyecto y los del protocolo de seguridad y salud, en este sentido el uso de prefabricados se muestra como una opción atractiva que permite cumplir con los parámetros del gobierno para enfrentar la pandemia y a la vez con los plazos de cada proyecto. La mano de obra para este tipo de elementos es mucho más reducida que en sistemas tradicionales, lo cual genera menos congestión en las áreas de trabajo y las zonas de acopio se liberan rápidamente, pues estos elementos son transportados a obra cuando están próximos a ser instalados.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que, si bien se usa menos personal en la construcción y dependiendo de los elementos prefabricados a usar, se debe considerar el tipo de acarreo. La mayoría de los proyectos considera el uso de una torre grúa para el desplazamiento de los elementos prefabricados considerados grandes o que podrían generar un acarreo complicado como las prelosas, muros prefabricados entre otros, mientras que por otro lado en otro proyecto puede considerarse acarreo manual o con winche para elementos más manejables como viguetas prefabricadas, entre otros.

Finalmente, es importante mencionar que la normativa actual no incluye los elementos prefabricados, esto debido a varios factores como la falta de conocimiento, el mercado peruano conservador, entre otros. Es importante que se difundan las ventajas que brindan este tipo de elementos para así poder realizar mas proyectos que incluyan estos desde el proceso del diseño y estén respaldados por la normativa nacional. Si bien la coyuntura actual nos ha permitido acercarnos a el empleo de estos, es importante que se mantenga abierta la posibilidad del diseño y uso de los elementos prefabricados con normalidad en nuestro mercado.



CAPÍTULO 5. Referencias

Alejandro López Vidal, D. F.-O. (2015). La construcción con prefabricados de concreto. una historia por escribir. *Noticreto133*, 8.

BETONDECKEN. (2015). *Sistema de prelosas betondecken*. Lima: ---.

Blandón, M. E. (2003). ENSAYOS ANTE CARGAS LATERALES CÍCLICAS REVERSIBLES DE UN EDIFICIO PREFABRICADO DE CONCRETO REFORZADO DE DOS NIVELES. PARTE I: DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO GLOBAL. *Revista de Ingeniería Sísmica No 68-55-92*, 38.

Cabrera, J. A. (2010). *SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PREFABRICADOS APLICABLES A LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN PAÍSES EN DESARROLLO*. Madrid: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.

CONCREMAX. (2019). *Manual de viguetas*. Lima: concremax.

CONCREMAX. (2019). *Manual de placas alveolares*. Lima: concremax

CONCREMAX. (2019). *Manual de prelosas pretensadas*. Lima: concremax

EDUARDO REINOSO ANGULO, M. E. (2000). *MANUAL DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS PREFABRICADAS Y PRESFORZADAS*. Ciudad de México: UNAM.

Mesía Rusconi, R. (2010). *Análisis comparativo del uso de elementos prefabricados de concreto armado vs concreto vaciado in situ en edificios de vivienda de mediana altura en la ciudad de lima*. Lima: UPC.

Nestor Axel Mendoza Ruiz, R. E. (2019). *DISEÑO DE UN HOSPITAL EN CONCRETO PREFABRICADO Y CON AISLACIÓN SÍSMICA*. Lima: PUCP.

SANDINO, M. T. (2004). *Modelo de Diseño Preliminar y Estimación de Costos para Edificios Prefabricados de Concreto*. Costa Rica: ICOTEC.

Burón J., Vega L., Domínguez A & Tanner P. (2003) Estructuras prefabricadas en zonas sísmicas. Informe de la construcción, Vol 54, n° 484.

Rodríguez M. (2001) Comportamiento de estructuras prefabricadas de concreto reforzado para edificaciones en zonas sísmicas, innovaciones y tendencias en su empleo. Revista de Ingeniería Sísmica No. 63 1-34.

Wood S., Stanton J., Hawkins N., “New Seismic Design Provisions for Diaphragms in Precast Concrete Parking Structures”. PCI Journal, enero-febrero 2000.

Fintel M., “Observations on the performance of buildings with shearwalls in earthquakes of the last thirty years”, en “Earthquake Engineering”, Editor A Rutenberg, A. Balkena, Rotterdam, pp 23-28, 1994

Fintel M., “Performance of Precast and Prestressed Concrete in Mexico Earthquake”, PCI Journal, pp 18-42, enero-febrero 1986

Iverson J.K. y Hawkins N., “Performance of Precast/Prestressed Concrete Building Structures During Northridge Earthquake”, PCI Journal, pp 38-55, marzo-abril 1994.

Muguruma H., Nisiyama M. y Watanabe F., “Lessons Learned from the Kobe Earthquake- A Japanese Perspective”, PCI Journal, pp 28-42, julio-agosto 1995.

Mesía, R. (2010) “Análisis comparativo del uso de elementos prefabricados de concreto armado vs. Concreto vaciado in situ en edificios de vivienda de mediana altura en la ciudad de Lima”. Lima. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Vásquez, K (2012) Muros de corte o placas. Lima. Consulta 09/12/2020.

<https://es.slideshare.net/KevinArnoldVasquezBarreto/muros-de-corte-o-placas>

Liébana, M., Álvarez R., (2017) “Patologías en estructuras resueltas con elementos prefabricados de hormigón”. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

Nilson, Arthur H. y Winter, George; Diseño de estructuras de concreto; 11ª Edición, Editorial McGraw-Hill, México, 1997, pp. 56, 58.

Parker, Harry y Ambrose, James; Diseño simplificado de concreto reforzado; 3ª Edición (6ª Edición del inglés), Editorial Limusa, México, 1996, pp. 93, 94, 120.

Madueño D. (2016). Evaluación económica de obras con prefabricados. Revista Construcción y tecnología en concreto.

Faymonville, F. (2020). Faymonville. Recuperado 18 de octubre de 2020, de <https://www.faymonville.com/productos/remolque-acoplado/flexmax/>

Leon C. (2020). Concreto Prefabricado: Aplicaciones y Posibilidades en el Marco de la Emergencia Sanitaria COVID-19. PREANSA

