

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ADOPCIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE
CONCRETO PREFABRICADO BAJO LA PERSPECTIVA DE LA
INGENIERÍA ESTRUCTURAL**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Edgar Alexander Vilcamich Muñoz

ASESOR:

PhD. Danny Eduardo Murguía Sánchez


Lima, marzo, 2025

Informe de Similitud

Yo, Danny Eduardo Murguía Sánchez, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada: "ADOPCIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO PREFABRICADO BAJO LA PERSPECTIVA DE LA INGENIERIA ESTRUCTURAL", del autor Edgar Alexander Vilcamich Muñoz, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 11%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 19/01/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 19 de enero de 2025

Apellidos y nombres del asesor: <u>Murguía Sánchez, Danny Eduardo</u>	
DNI: 42283195	 Firma
ORCID: 0000-0003-1009-4058	

RESUMEN

Los elementos de concreto prefabricado se han convertido en una alternativa de construcción que ofrece distintos beneficios a los proyectos de edificación; sin embargo, durante el planteamiento de un proyecto, se requiere una serie de consideraciones que permitan el correcto uso y adopción de estos elementos. A pesar de ello, uno de los aspectos del que se tiene menos información dentro de las áreas que estudian y aplican los elementos prefabricados, es la ingeniería estructural. Siendo esta especialidad de la ingeniería civil, la que tiene mayor influencia cuando se trata de adoptar tecnologías emergentes en la construcción. A medida que se continúen las investigaciones en prefabricados de concreto, estos elementos tendrán mayor influencia en los proyectos peruanos. Por ello, la presente tesis tiene como objetivo identificar los factores que promueven o impiden la adopción de elementos prefabricados de concreto, desde la perspectiva de ingenieros estructurales, así como las percepciones de los mismos respecto al uso de este sistema de construcción, dado que su rol ante la toma de decisiones de esos sistemas es de suma importancia.

Esta investigación adopta una estrategia cualitativa. La metodología consta de la captura de datos a través de una entrevista semi estructurada que permita analizar las percepciones de ingenieros estructurales, respecto al uso de prefabricados y las variables influyentes en la práctica de la ingeniería estructural. Posterior a ello, los resultados obtenidos por las entrevistas serán procesados con el fin de describir aquellos factores que influyen en la adopción de concreto prefabricado en un contexto peruano. Los resultados sugieren que los criterios de diseño estructural y las limitantes en la norma, son los principales factores que limitan la adopción del prefabricado, siendo el diseño de conexiones entre elementos la variable de mayor interés entre ingenieros estructurales.

Finalmente, se formularon recomendaciones para promover y difundir sistemas constructivos novedosos como una oportunidad de desarrollo del sector construcción en el Perú, lo cual permitirá el crecimiento de ingenieros expertos y de aquellos que deciden innovar en concreto prefabricado mediante la discusión e intercambio de conocimiento.

Dedicatoria

A mi padres, pareja y amigos, por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria y por compartirme sus conocimientos y experiencias.

A mi asesor, el doctor Danny Murguía, por la confianza a lo largo del proyecto para finalizarlo con éxito.

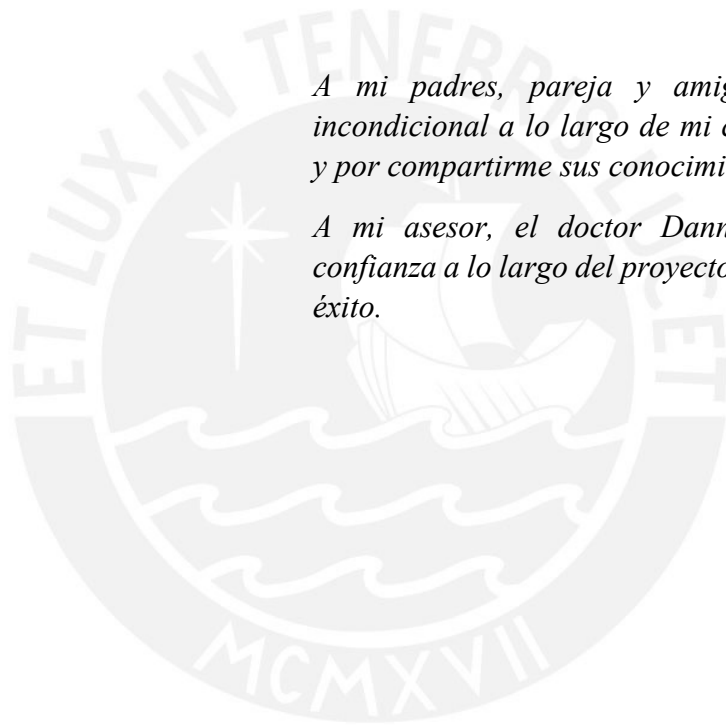


TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación de la investigación	2
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo general:.....	4
1.3.2 Objetivos específicos:	4
CAPÍTULO II: CONCRETO PREFABRICADO EN EDIFICACIONES.....	5
2.1 Industria del concreto prefabricado	5
2.1.1 Definición.....	5
2.1.2 Reseña histórica	6
2.2 Concreto prefabricado en edificaciones peruanas	10
2.2.1 Reseña histórica	10
2.2.2 Principales productos para edificaciones	12
CAPÍTULO III: ADOPCIÓN DEL CONCRETO PREFABRICADO EN EDIFICACIONES ...	18
3.1 Dificultades de implementar elementos prefabricados de concreto	18
3.1.1 Innovación en los procesos constructivos	18
3.1.2 Factores que dificultan la adopción de prefabricados.....	19
3.2 Factores determinantes durante la etapa de diseño estructural adoptando elementos prefabricados.....	25
3.2.1 Relaciones con el cliente.....	26
3.2.2 Mercado actual y proveedores.....	27
3.2.3 Educación e investigación.....	28
3.3 Consideraciones de diseño estructural para elementos prefabricados	29
3.3.1 Limitaciones de la norma	29
3.3.2 Comportamiento de las conexiones entre elementos.....	32
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	36
4.1 Revisión de la literatura y marco teórico	36
4.2 Diseño de la técnica de investigación	36
4.3 Recolección de datos.....	37
4.4 Análisis y discusión de los resultados obtenidos.....	37
4.5 Conclusiones y recomendaciones	38

CAPÍTULO V: DISEÑO DE LA TECNICA DE INVESTIGACION.....	40
5.1 Perfil del entrevistado	40
5.2 Preguntas de control.....	41
5.3 Diseño de la entrevista	41
5.4 Recolección y procesamiento de la información.....	43
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	47
6.1 Criterios de diseño estructural	49
6.2 Madurez de la cadena de suministro del prefabricado.....	51
6.3 Relaciones con el cliente	53
6.4 Educación e investigación.....	55
CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	60
7.1 Variables influyentes en la adopción del concreto prefabricado.....	63
7.1.1 Factor: Criterios de diseño estructural	64
7.1.2 Factor: Mercado actual y proveedores.....	68
7.1.3 Factor: Relación entre el cliente y el proyectista.....	71
7.1.4 Factor: Educación e investigación.....	74
7.2 Correlación entre los factores estudiados.....	77
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
8.1 Conclusiones relacionadas con los objetivos	82
8.2 Recomendaciones	84
CAPÍTULO IX: REFERENCIAS.....	86
ANEXOS.....	95

Listado de tablas

Tabla 1: Porcentaje total de viviendas particulares, según material predominante en los techos y área residencial, 2009-2019	3
Tabla 2: Clasificación de elementos prefabricados de concreto.....	6
Tabla 3: Total importado (US\$) de elementos prefabricados para la construcción o ingeniería civil	21
Tabla 4: Normas internacionales utilizadas en Chile y Colombia.....	30
Tabla 5: Sistemas prefabricados y sus conexiones indicadas por la norma de concreto estructural en Nueva Zelanda	33
Tabla 6: Cuadro resumen de entrevistados, rol y experiencia. (Fuente: Elaboración propia).....	44
Tabla 7: Variables respecto a las consideraciones estructurales. (Fuente: Elaboración propia). ..	49
Tabla 8: Variables respecto a la Madurez de la cadena de suministros del prefabricado. (Fuente: Elaboración propia).....	52
Tabla 9: Variables respecto a las relaciones entre cliente y proyectista. (Fuente: Elaboración propia).	53
Tabla 10: Variables respecto a la educación e investigación. (Fuente: Elaboración propia).	55
Tabla 11: Codificación de las variables dentro de cada factor de la investigación. (Fuente: Elaboración propia).....	60

Listado de Gráficos

Gráfico 1: Incidencias en el factor de Criterios de diseño estructural.	49
Gráfico 2: Porcentaje de entrevistados según su respuesta ante la existencia de diferencia en el comportamiento de elementos prefabricados.	50
Gráfico 3: Incidencias en el factor de Mercado actual y proveedores.	52
Gráfico 4: Incidencias en el factor de Relación entre cliente y proyectista.	54
Gráfico 5: Incidencias en el factor de Educación e investigación.	55
Gráfico 6: Porcentaje de entrevistados según su respuesta ante el nivel de investigación de elementos estructurales prefabricados en el Perú.	56
Gráfico 7: Factores que dificultan o promueven la adopción de elementos prefabricados ordenados por las variables de mayor influencia.....	58

Listado de ilustraciones

<i>Figura 1: Módulos tridimensionales tipo “cajón” apilables. Edward T. Potter</i>	7
Figura 2: Montaje de vigas prefabricadas en el puente para la presa “Pontes de Fer”	8
Figura 3: Montaje de vigas T postensadas en “Manufacturas La Libertad”	10
Figura 4: Montaje de vigas doble T pretensadas del centro comercial Higuereeta.....	11
Figura 5: Proceso constructivo de sótanos del Centro de Convenciones de Lima	12
Figura 6: Sección transversal de losa con viguetas prefabricadas (CONCREMAX, s.f.)	13
Figura 7: Aligerado con prelosa y bloques de poliestireno (CONCREMAX, s.f.)	13
Figura 8: Instalación de placa alveolar en entrepiso (CONCREMAX, s.f.)	14
Figura 9: Sistema de previga propuesta por UNICON y Aceros Arequipa	15
Figura 10: Izaje de viga prefabricada en ampliación de Megaplaza de Chorrillos.....	16
Figura 11: Columnas de concreto prefabricado de 28 Mpa (a)-Instalación de muro anclado prefabricado (b).....	17
Figura 12: Cinta precomprimida de sellado de juntas verticales	25
Figura 13: Factores determinantes para el objetivo de la investigación	35
Figura 14: Entrevista Semiestructurada-Preguntas de la investigación	42
Figura 15: Frecuencia de palabras en forma de “nube” dentro del programa ATLAS.ti.....	48

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El primero capítulo de este proyecto de tesis contará con la parte introductoria, la justificación y los objetivos del estudio, con el fin de dar un primer planteamiento del problema a estudiar.

1.1 Introducción

A pesar de los avances en tecnología, los métodos de construcción contemporáneos todavía presentan niveles de productividad relativamente bajos, lo cual puede ralentizar el progreso de los proyectos y aumentar los costos (Torres, 2022). Una estrategia para mejorar esta situación es la integración de elementos prefabricados, que permiten una construcción más rápida y eficiente al reducir el tiempo en el sitio.

La prefabricación de concreto es un proceso que permite mejorar los plazos de construcción y crear ambientes controlados más seguros para los trabajadores. Actualmente, la industria de concreto prefabricado presenta una serie de dificultades para adaptarse en las edificaciones del Perú (Torres, 2022). A lo largo de las distintas etapas de un proyecto, es necesaria la correcta gestión de recursos y capacitación de los profesionales implicados para obtener los múltiples beneficios que ofrecen estos elementos (Seminario, C. & Vidal, F., 2023). Como parte de estas dificultades, se puede destacar también la ausencia de una normativa peruana adecuada que defina los lineamientos a seguir en el diseño de elementos prefabricados y que permita la industrialización de los mismos (Torres, 2022).

Durante la etapa de diseño estructural, tiende a ser poco el conocimiento que se tiene acerca de las percepciones de los profesionales implicados en esta etapa con respecto a la adopción de estos elementos. Para que estos elementos sean realmente efectivos y se integren adecuadamente en el diseño, la intervención de ingenieros estructurales es esencial. Su papel es garantizar que cada

componente prefabricado se ajuste a los estándares de calidad y seguridad necesarios, optimizando así tanto la funcionalidad como la durabilidad de la estructura final. Debido a esto, el siguiente proyecto de tesis plantea analizar los conceptos y variables que los ingenieros estructurales consideran de gran importancia durante la adopción de elementos de concreto prefabricado. De este modo, se propondrán recomendaciones con el fin de promover la difusión de estos elementos en futuras edificaciones del Perú.

1.2 Justificación de la investigación

La industria de concreto prefabricado en el mundo no detendrá su crecimiento en el sector construcción, dado los grandes beneficios e indicadores óptimos de desempeño que ha desarrollado al haberse realizado distintas investigaciones a lo largo de los años. Sin embargo, gran parte de las edificaciones peruanas continúan con el tradicional sistema constructivo sin innovar o implementar las novedosas opciones que el sector ofrece a los profesionales. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, en el Perú, el 41.4% de viviendas particulares utilizó concreto armado como material predominante en techos durante el 2019. Este material tiene mayor impacto en el sector urbano donde el porcentaje es del 52.7% mientras que en zonas rurales el concreto armado se utiliza en el 3.5% de viviendas (INEI, 2019). De acuerdo con la base de datos indicada en la Tabla 1, los porcentajes del uso de concreto armado en viviendas va en aumento en comparación con años anteriores.

Tabla 1: Porcentaje total de viviendas particulares, según material predominante en los techos y área residencial, 2009-2019

Material predominante en los techos / Área de residencia	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Concreto armado	38.3	39	38.7	39.3	38.9	38.8	38.8	39.1	40	40.3	41.4
Madera	2.4	2	1.8	1.8	2.1	2.3	2.4	2.4	2.4	2.2	2.3
Tejas	10	9.8	10.1	9.7	9.3	9	8.4	8.1	8.3	8.1	7.7
Plancha de calamina	37.2	37.7	38.4	39	40.7	41.3	42.7	43.3	42.7	43.3	43
Caña o estera con torta de barro	4	3.7	3.8	3.9	3.9	4.1	3.9	3.8	3.4	3.5	3.3
Estera	1.9	1.3	1.3	1.2	1.2	0.9	0.9	0.7	0.7	0.6	0.6
Paja, hojas de palmera	5	4.7	4.6	4.2	3.4	3.1	2.6	2.3	1.9	1.7	1.5
Otro material	1.2	1.6	1.3	0.8	0.5	0.4	0.4	0.3	0.6	0.2	0.2

Fuente: INEI, 2019

A pesar de ello, el ingeniero Fabián Agudelo, gerente de la unidad de prefabricados de UNICON, menciona que la relación entre el volumen de concreto prefabricado y el concreto vaciado en obra es 1.5% en el Perú, mientras que España maneja una relación cercana al 10% (Canal UNICON, 2020, 42m50s). Ante esta situación, las edificaciones peruanas tienen oportunidad de desarrollo, implementación e innovación en concreto prefabricado; por tanto, se tiene que dar la debida importancia a la discusión e intercambio de conocimiento entre los profesionales expertos y los que deciden innovar en prefabricados, lo cual indicará los rumbos que tomará esta industria en la construcción.

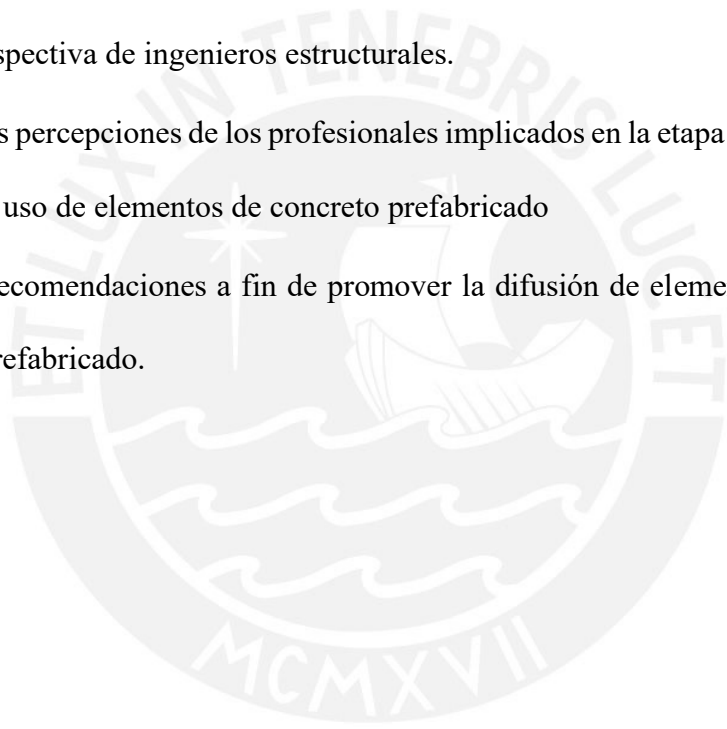
1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general:

Categorizar las variables de la ingeniería estructural que permitan la adopción del concreto prefabricado con el fin de reducir la brecha de conocimientos entre profesionales.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar los factores que promueve o impiden la adopción del concreto prefabricado bajo la perspectiva de ingenieros estructurales.
- Analizar las percepciones de los profesionales implicados en la etapa de diseño estructural respecto al uso de elementos de concreto prefabricado
- Proponer recomendaciones a fin de promover la difusión de elementos estructurales de concreto prefabricado.



CAPÍTULO II: CONCRETO PREFABRICADO EN EDIFICACIONES

El siguiente capítulo abordará información detallada del panorama actual de la industria del concreto prefabricado, dejando de lado los elementos NO estructurales debido a que no se encuentran dentro del alcance de la investigación. Por un lado, se presentarán algunas definiciones resaltantes del concreto prefabricado, así como breves reseñas históricas que resaltan las primeras complicaciones al implementar prefabricados; y, por último, se presentará la situación actual en el Perú respecto al uso de elementos prefabricados de concreto y los principales productos del sector

2.1 Industria del concreto prefabricado

2.1.1 Definición

Se define al concreto prefabricado como aquel elemento de concreto que ha sido encofrado, vaciado y curado en un lugar distinto a su destino final, y difiere del concreto vaciado *in situ* por su respuesta ante esfuerzos y tensiones causados por efectos internos y externos durante su fabricación (Elliott, 2017). Estos elementos se adaptaron a los procesos de construcción por la necesidad de afrontar las dificultades locales y optimizar la gestión de edificaciones. El elemento prefabricado es una tecnología industrializada que cuenta con índices de calidad y rentabilidad en diversas edificaciones; sin embargo, la industrialización no se refiere a la producción de productos nuevos, sino a la producción de cualquier producto con materiales disponibles de una forma tecnificada (Novas, 2010; Perú Construye, 2018).

La industria del concreto prefabricado permite fabricar o elaborar partes de una edificación con especialistas de cada elemento, con el fin de colocarlos posteriormente en el sitio de la obra (Flores et al, 2018). Las empresas dedicadas a esta industria tienden a optimizar los procesos de fabricación de elementos específicos. Un ejemplo de ello es la empresa CONCREMAX, la

cual ofrece productos como vigas, losas y viguetas en su área de prefabricados, desarrollándolas en grandes series de producción para optimizar sus recursos y sus ventas. Sin embargo, algunos proyectos optan por la prefabricación en el lugar de la obra, con el control y diseño adecuado. En otras palabras, existe variedad en cuanto a elementos y procesos que permiten clasificar al concreto prefabricado bajo distintos parámetros, como su uso, tipo de reforzamiento, peso, entre otros (Tabla 2).

Tabla 2: Clasificación de elementos prefabricados de concreto

Tipo	Clasificación
Uso	Sistemas para aplicaciones arquitectónicas Elementos estructurales Tuberías y Canales de drenaje Piezas para túneles
Tipo de Refuerzo	Concreto simple y reforzado Concreto reforzado con fibras (micro y macrofibras) Concreto pretensado Concreto postensado
Peso	Livianos (menor a 30kg) Semipesados (menor a 500 kg) Pesados (mayor a 500 kg)

Adaptado de Santamaría, 2016

2.1.2 Reseña histórica

La técnica y definición de prefabricación tiene sus orígenes mucho antes de la creación del concreto y se entendía como la aplicación de procesos industriales a la construcción. Es a finales del siglo XIX, que el concreto y la prefabricación se unen y evolucionan técnicamente debido a los avances tecnológicos de la época (López y Fernández, 2015). Las primeras menciones de concreto prefabricado en edificaciones datan de 1889, cuando el ingeniero Edward T. Potter patenta la aplicación de módulos tridimensionales tipo “cajón” para un edificio prefabricado en Estados Unidos (Escrig, 2010), representado en la Figura 1.

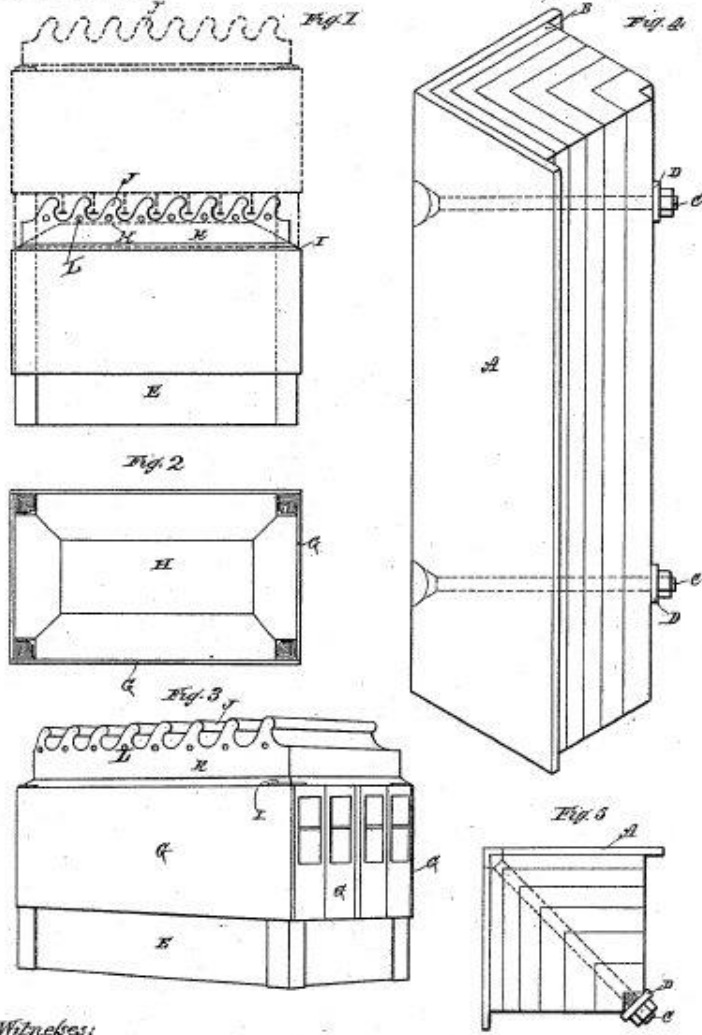
(No Model.)

2 Sheets—Sheet 1.

E. T. POTTER.
PORTABLE OR SECTIONAL BUILDING.

No. 425,250.

Patented Apr. 8, 1890.



Witnesses:
Orrin Hopkinson
Frank & Hanley

Inventor
Edward T. Potter
By
Duncan, Curtis & Hase.
Attorneys.

Figura 1: Módulos tridimensionales tipo "cajón" apilables. Edward T. Potter
Fuente: Escrig, 2010

En 1928, el ingeniero Eugene Freyssinet patenta uno de sus inventos sobre el proceso de aplicación de pre compresión en el concreto, el cual facilita la construcción de elementos prefabricados basado en el pretensado de acero (Xercavins et al, 2010). Años después, en 1936, se construye el primer puente con elementos pretensados, *Pontes de Fer* en Francia (Figura 2). Este proyecto contaba con losas prefabricadas y elementos con luces de 19 m, mejorando las técnicas de vibrado y curado para el concreto en edades tempranas (López, 2016; Montenegro et al, 2020).



Figura 2: Montaje de vigas prefabricadas en el puente para la presa “Pontes de Fer”

Fuente: López & Fernández, 2015

En la actualidad, se han realizado diversas investigaciones acerca de elementos prefabricados de concreto en el sector construcción, las cuales permiten que sea una opción viable e innovadora de sistema estructural y constructivo. Es debido al proceso y técnica de la prefabricación que el concreto puede someterse a tensiones iniciales, las cuales se podrán

modificar para conseguir elementos presforzados. Las empresas que producen elementos prefabricados aprovechan esta característica en el desarrollo de concreto pre y postensado, estos se benefician de los esfuerzos iniciales aplicados para mejorar el comportamiento de los elementos ante las futuras cargas a las que será sometido (Montenegro et al., 2020). Este tipo de elementos lleva en el mercado varios años y son varias empresas que desarrollan e industrializan su producción, debido a la diversidad de investigaciones e información con la que se cuenta desde su creación y que sustenta su uso en distintos tipos de edificaciones.

Investigaciones recientes alrededor del mundo se han desarrollado en otros ámbitos del concreto prefabricado y su producción. Por ejemplo, en diciembre del 2022, fue publicado un estudio acerca de la perspectiva futura de la construcción modular, así como los desafíos de los sistemas actuales; no solo refiriéndose a prefabricados de concreto, si no incluyendo acero, aluminio, madera, entre otros. Los responsables de esta investigación tenían como objetivo detallar conceptos generales de la construcción modular, criterios de diseño, comportamiento sísmico y detalles en sus uniones; además, el artículo compara la construcción modular con tecnologías emergentes como la impresión de hormigón 3D Chourasia et al. (2022). Principalmente, este estudio determina las limitaciones de la implementación de la construcción modular, concluyendo que estas son la falta de compresión de las conexiones de las juntas, la falta de pautas de diseño y la falta de investigaciones experimentales; asimismo, concluyen que se han realizado investigaciones para estudiar el comportamiento de las conexiones a nivel local, mientras que la investigación sobre el desempeño sísmico global de edificios modulares prefabricados continúa siendo escaso.

2.2 Concreto prefabricado en edificaciones peruanas

2.2.1 Reseña histórica

En el Perú, los primeros usos de la prefabricación de concreto se remontan a inicios del siglo XX, los cuales se utilizaban de manera artesanal para la construcción con bloques o adoquines; siendo en los años 50 donde la empresa Precomsa inició la prefabricación de viguetas pretensadas (Mesía, 2010). Con el pasar de los años, el aumento de complejidad en edificaciones hacía notar la necesidad de que los procesos de prefabricación se industrializaran con el fin de optimizar su producción.

En los años 70, con el auge de la construcción de plantas industriales textiles, el proyecto “Manufacturas La Libertad” en Trujillo fue de las primeras construcciones en utilizar vigas T de concreto post-tensado (Reiser, 2005). Estos elementos se prefabricaron al pie de la obra para minimizar costos de transporte, mediante grúas de la época, y facilitar su colocación (Figura 3).



Figura 3: Montaje de vigas T postensadas en “Manufacturas La Libertad”

Fuente: Reiser, 2005.

Del mismo modo, en Lima se inauguró el Centro Comercial Higuiereta en 1975, edificación que contaba con las primeras vigas doble T pretensadas, la cual aprovecha la existencia de una

planta cercana dotada de bancos de prefabricación pretensada (Reiser 2005). Una de las dificultades en este proyecto fue el izaje de las vigas mencionadas; debido a que las grúas no alcanzaban los lugares de colocación, se trabajó con un sistema tipo “riel” para desplazar y ubicar las vigas en su lugar (Figura 4).

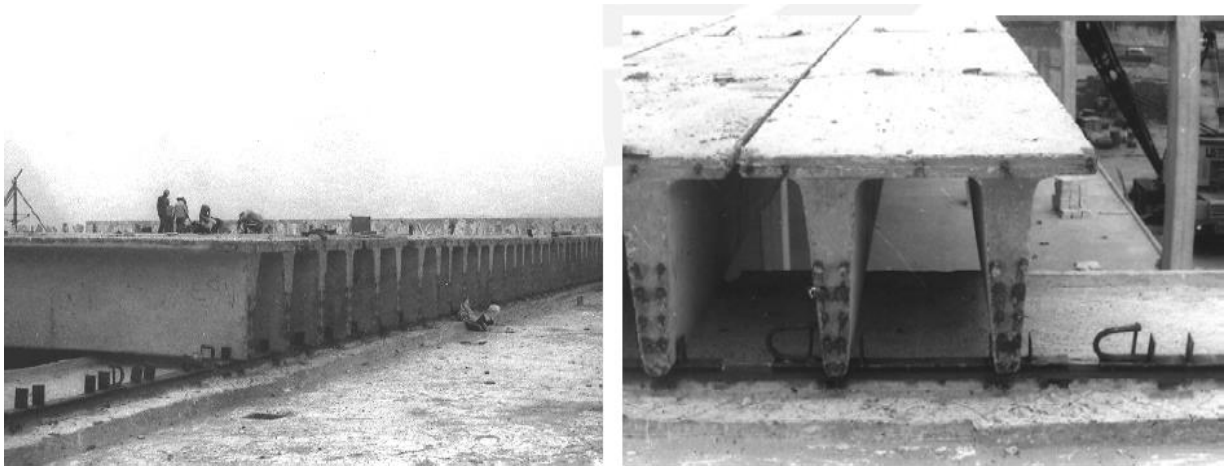


Figura 4: Montaje de vigas doble T pretensadas del centro comercial Higuiereta

Fuente: Reiser, 2005.

Como se puede apreciar en las obras anteriores, la prefabricación en el Perú comienza con el propósito de afrontar dificultades arquitectónicas, estructurales y de construcción que se presentaron, como el uso del presfuerzo para conseguir grandes luces en la edificación. En la actualidad, la tecnología permite establecer lineamientos y soluciones ante los retos que el prefabricado afrontó desde los años 70. Por ejemplo, uno de los proyectos más importantes de la actualidad fue la construcción del centro de convenciones de Lima, estructura caracterizada por utilizar una construcción mixta que consta de núcleos y elementos de concreto prefabricado desde los sótanos, y estructuras de acero para armazón estructural (Construcción y Vivienda Comunicadores, 2015). A pesar de las complejidades en cada una de las etapas del proyecto, la edificación consiguió implementar satisfactoriamente un alto porcentaje del uso de

prefabricados de concreto, puesto que contó con losas, vigas y columnas prefabricadas en sótanos (Figura 5).



Figura 5: Proceso constructivo de sótanos del Centro de Convenciones de Lima

Fuente: Mejía, 2014.

2.2.2 Principales productos para edificaciones

Entre los productos más utilizados en el Perú, podemos considerar elementos en común ofrecidos por diversas empresas de prefabricados como Concremax, Prelima, entre otros; las cuales presentan fichas técnicas para cada uno de sus productos de concreto.

2.2.2.1 Viguetas pretensadas

Utilizar estos elementos requiere de bovedillas para el armado de losa (Figura 6) y permite ahorros en el encofrado de la misma. Estos elementos son comúnmente usados debido a su

proceso de construcción rápido, eficaz y que requiere una reducida cantidad de mano de obra para su instalación.

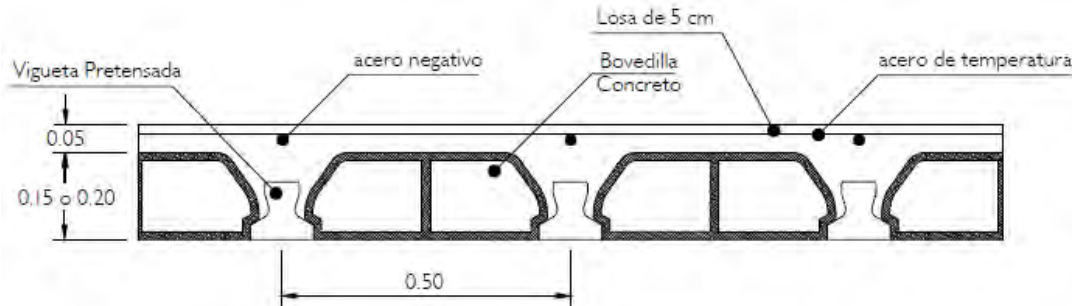


Figura 6: Sección transversal de losa con viguetas prefabricadas (CONCREMAX, s.f.)

Nota: Obtenido de la ficha técnica de viguetas pretensadas.

2.2.2.2 Prelosas pretensadas

Elemento que consiste en una sección plana de concreto y prefabricada a la medida que se requiera según los proyectistas de una edificación. Dependiendo de la empresa, estos elementos pueden contar con bloques de poliestireno para el armado de losas (Figura 7). Se añade, que este es un sistema mixto, requiriendo de acero negativo y una losa superior vaciada *in-situ*.



Figura 7: Aligerado con prelosa y bloques de poliestireno (CONCREMAX, s.f.)

Nota: Obtenido de la ficha técnica de Prelosas pretensadas.

2.2.2.3 Placas alveolares

Estas placas están diseñadas para elementos verticales y horizontales que requieran de una mayor capacidad de carga. Entre los principales beneficios, además de rapidez y fácil instalación, estas placas son utilizadas para grandes luces con elementos de espesores menores y mantienen el acabado liso que ofrece el prefabricado (Figura 8).



Figura 8: Instalación de placa alveolar en entrepiso (CONCREMAX, s.f.)

Nota: Obtenido de la ficha técnica de Placas alveolares.

2.2.2.4 Otros elementos estructurales de concreto prefabricado

El mercado actual tiene menos madurez en ciertos elementos estructurales respecto a su prefabricación; grande es la diferencia en la cantidad de proveedores cuando se trata de elementos prefabricados como losas y viguetas. Inclusive en esta situación, el Perú cuenta con algunas empresas que desarrollan e investigan vigas y columnas prefabricadas de concreto armado, y cómo industrializarlas. Tal es el caso de la empresa UNICON, con el sistema de previga, descrito como un elemento de concreto armado de viga compuesta en

forma de “U” con 06 cm de espesor y barras embebidas como refuerzo (Figura 9); sistema que se apoya en la tecnología BIM para obtener un producto listo para montarse en obra (UNICON, 2021).

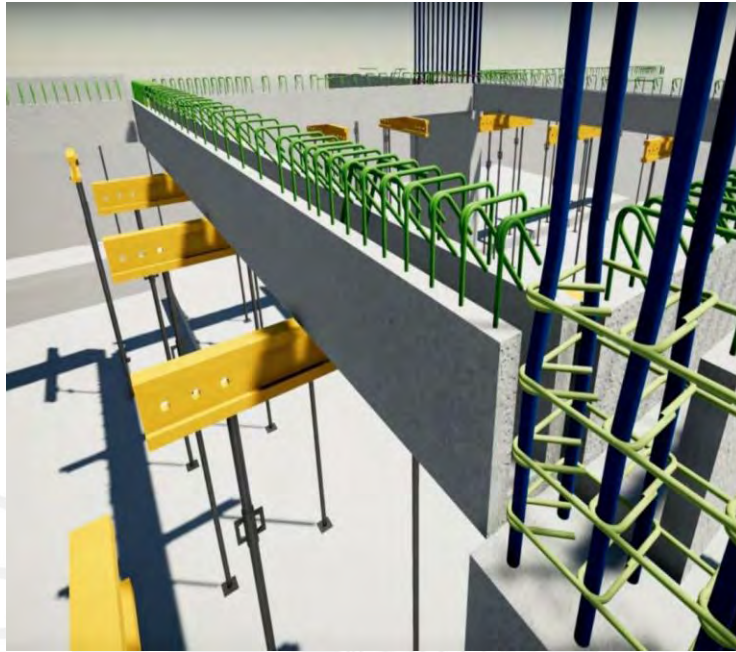


Figura 9: Sistema de previga propuesta por UNICON y Aceros Arequipa

Fuente: UNICON, 2021.

El sistema de previga, es una opción novedosa de viga prefabricada, mas no la única; un ejemplo más de ello es la empresa Preansa, la cual utilizó vigas prefabricadas en el desarrollo de proyectos como la ampliación del Megaplaza de Chorrillos. Como se muestra en la Figura 10, las vigas prefabricadas muestran un sistema de apoyo diferente en la estructura, simulando una viga apoyada en los respectivos elementos durante su izaje.



Figura 10: Izaje de viga prefabricada en ampliación de Megaplaza de Chorrillos

Fuente: PREANSA PERÚ, s.f.

Cabe resaltar que, a pesar de que los principales productos sean elementos horizontales, es posible contar con empresas capacitadas de desarrollar, implementar e industrializar elementos verticales en el mercado peruano. Por ejemplo, la empresa Concreto Supermix S.A. desarrolló, entre otros productos, la prefabricación de columnas de concreto armado (Figura 11), las cuales tienen una resistencia de 28 Mpa a los 28 días y con dimensiones de 600 x 600 de longitud variable (Concreto Supermix, s.f.). Otro ejemplo de elemento vertical son los premuros – muros anclados, ofrecidos por la empresa BETON DECKEN. Estos muros prefabricados cuentan con un $f'c$ de 280kg/cm² y aditivos súper plastificantes, con una mezcla de concreto incorpora fibra de polipropileno para minimizar fisuras, y se incluye una malla de acero en el interior del muro (Beton Decken, s.f.).



(a)



(b)

Figura 11: Columnas de concreto prefabricado de 28 Mpa (a)-Instalación de muro anclado prefabricado (b)

Fuente: Concreto Supermix, s.f. (a) / Beton Decken, s.f. (b)



CAPÍTULO III: ADOPCIÓN DEL CONCRETO PREFABRICADO EN EDIFICACIONES

El siguiente capítulo de la investigación abarcará estudios e investigaciones acerca de la adopción del concreto prefabricado; en principio, se desarrollan las dificultades de implementar un nuevo sistema de construcción o material en la industria de la construcción. Posterior a ello, se detallan los factores obtenidos en la literatura que dificultan la implementación del concreto prefabricado, relacionándolo con los factores que influyen, con mayor relación, a ingenieros estructurales. Por último, se presentan las consideraciones de diseño estructural con prefabricado obtenido de diversos profesionales y comparativas.

3.1 Dificultades de implementar elementos prefabricados de concreto

3.1.1 Innovación en los procesos constructivos

A medida que se desarrollen nuevas herramientas, tecnologías e investigaciones, surge la cuestión de cuán conservadora es la industria de la construcción. Implementar e innovar en el ámbito de la construcción requiere de la aceptación del equipo y personal involucrado para adaptarse correctamente; asimismo, depende de diversos factores, como la experiencia, el conocimiento o el tiempo que toma el proceso de adaptación (Nuñuvero & Claire, 2021). Además, la manipulación de nuevas herramientas tiene como finalidad ser solo un apoyo durante la implementación de tecnologías, y debe relacionarse y complementarse con la forma en que el usuario hace uso de ella para permitirle un cambio de mentalidad y forma de trabajo (Castillo & Quevedo, 2020).

Un sistema complejo como la construcción no tiende a innovar por los riesgos y cambios que se dan desde la concepción de un proyecto hasta el desarrollo del mismo, lo que hace notar la

viabilidad de las metodologías convencionales. No obstante, en los últimos años, se han desarrollado propuestas para que estos sistemas complejos permitan la innovación y se adapten a las mismas. Tal es el caso de un estudio que tenía como objetivo analizar, cualitativa y cuantitativamente, 60 artículos relacionados con la gestión de riesgos en la construcción (Salleh et al., 2020). Como resultado, el 55% de los artículos concluyeron que la aplicación de un proceso de gestión de riesgos era capaz de funcionar como un sistema de planificación durante la toma de decisiones de un proyecto y su proceso de construcción (Salleh et al., 2020). Es durante la etapa de planificación que un proyecto decide cuánto se le permite incursionar en tecnologías emergentes de construcción y define su capacidad de implementación, considerando los riesgos y la gestión de los mismos.

3.1.2 Factores que dificultan la adopción de prefabricados

Los conceptos del acápite 3.1.1 no son ajenos a la adopción de elementos prefabricados de concreto, dando a conocer las implicancias de adaptarse a un sistema constructivo poco habitual. Nanyam et al. (2017) presentan un artículo acerca de las oportunidades y retos de la implementación de concreto prefabricado en India, el cual analiza la relación tiempo y costo de proyectos prefabricados en comparación con el sistema convencional de construcción. Al mismo tiempo, la investigación determina las principales adversidades del prefabricado a nivel de industria y de edificaciones mediante cuestionarios realizados a las partes interesadas de un proyecto. Se concluyó que las dificultades más relevantes de implementar concreto prefabricado fueron la economía actual, los altos costos iniciales, la falta de mano de obra calificada y los problemas con las juntas entre prefabricados.

3.1.2.1 Economía Actual

El mercado del concreto prefabricado, como muchos otros, es cambiante y afecta a los distintos interesados en un proyecto. Por un lado, las industrias y empresas prefabricadoras utilizan equipo especializado de mayor avance tecnológico por lo que el arranque de fábricas será bastante costoso; se deben hacer estudios previos con el fin de que el surgimiento de dichas empresas sea de manera adecuada en cuanto a inversión (Cabezas & Beltran, 2019). Por otro lado, los proyectos de edificación son afectados directamente debido a la variación de precios entre los productos prefabricados que ofrece el sector y la disponibilidad de los mismos; en muchas ocasiones, las posibilidades de importación son muy altas y se verán afectadas por la economía actual y la variación del dólar. La importancia del aumento o disminución del dólar es debido al movimiento diario de las divisas en los diferentes mercados cambiarios mundiales; los cuales requieren de un análisis profundo para la toma de decisiones de los participantes en distintos sectores de la economía (Castaño & Valencia, 2017). Estas variaciones dificultan la adopción del concreto prefabricado al sector, debido a que los países en desarrollo dependen del comercio exterior y la importación.

Con el fin de entender la magnitud de las importaciones, se presenta la Tabla 3 que resume el total importado de elementos prefabricados para la construcción, incluyendo desde elementos estructurales hasta elementos arquitectónicos. En el Perú, a comparación de otros países en Latinoamérica, el uso y aplicación de productos extranjeros se verá limitado debido a las inversiones en importación de prefabricados.

Tabla 3: Total importado (US\$) de elementos prefabricados para la construcción o ingeniería civil

País	Total Importado US\$	Países de origen (%)
Argentina	227,532,185	China (99.2), Grecia (0.5), México (0.2), Otros (0.1)
Chile	43,989,973	España (81), Estados Unidos (7.8), Francia (2.5), Otros (8.7)
México	25,582,926	Estados Unidos (45.3), España (30.8), Francia (16), Otros (7.9)
Brasil	21,441,580	España (33.9), China (19.1), Corea del Sur (15.1), Otros (31.9)
Colombia	4,643,068	Francia (35.6), Reino Unido (13.6), Brasil (10.9), Otros (39.9)
Uruguay	4,209,486	México (52.6), República popular de China (10.3), Brasil (7.9), Otros (29.2)
Perú	1,254,632	Bolivia (38.6), China (18.8), Grecia (15.1), Otros (27.4)
Bolivia	499,130	Brasil (33.3), Perú (28.2), China (20.8), Otros (17.7)

Adaptado de Veritrade Corp., 2021.

3.1.2.2 Costos e inversión inicial

La adopción de concreto prefabricado requiere que cada edificación analice que el uso de estos elementos brinde beneficios al proyecto; principalmente, se estudian los beneficios económicos y ventajas que ofrecen los prefabricados. Por lo general, los encargados del análisis económico enfatizan más en los costos adicionales de trabajadores calificados, cambios de diseño, inversión inicial y el proceso logístico; sin embargo, no tiende a tomarse en cuenta los costos adicionales de mano de obra y espacios de almacenamiento, factores los cuales generan un impacto directo en el rendimiento económico del uso de prefabricación (Hong et al., 2018). En caso de no controlar uno de estos aspectos, se generan costos no

previstos en los presupuestos e inversiones iniciales; lo cual dificulta aún más el uso de concreto prefabricado en futuros proyectos. Percca (2015) menciona que inicialmente se tiene un presupuesto mayor en comparación a la construcción *in situ*, debido a intervenciones tecnológicas y la necesidad de una planta de concreto prefabricado; sin embargo, la principal ventaja recae en tener un flujo continuo de trabajo, aumentando la velocidad de la construcción.

Optar por elementos de concreto prefabricado se decide con el fin de recuperar la inversión en un tiempo reducido en comparación a métodos de construcción convencionales. En la revista Construcción y Tecnología de Concreto se realiza una evaluación económica en obras con prefabricados, resaltando parámetros como los plazos de ejecución, calidad, durabilidad, mantenimiento, sostenibilidad, entre otros. En los que respecta a la relación entre los plazos de ejecución y costos, se menciona que mientras en la obra se ejecutan trabajos previos e inicios del proceso de montaje, entre el 80% y el 100% de elementos estructurales prefabricados ya están ejecutados. Esto permite que la fluidez y velocidad de trabajos sea la adecuada para asegurar rendimientos mayores al 40% en comparación de sistemas tradicionales (Madueño, 2015). Como ya fue mencionado, estas reducciones de plazos permiten el retorno de la inversión en la mayoría de proyectos cuando estos se ejecutan correctamente; lo cual representa una oportunidad de aprovechamiento y no una limitación debido a lo que se invierte y distribuye del presupuesto en prefabricados.

3.1.2.3 Especialistas y mano de obra calificada

En lo que respecta a especialistas calificados para el diseño y construcción de concreto prefabricado, se debe tener en cuenta la variedad de elementos que se pueden prefabricar y

la importancia del comportamiento estructural cuando la edificación esté terminada. Existe una falta de comprensión de cómo el prefabricado obtiene esfuerzos y cargas adicionales, y de cómo los detalles de conexión son fundamentales. Además, algunos ingenieros estructurales implementan elementos prefabricados no estructurales, como muros, para evitar involucrarse en el diseño a pesar de ser parte de la estructura (Woodside, 2020). La razón de que la falta de especialización dificulte la implementación de concreto prefabricado recae en la formación profesional de los ingenieros, la cual se viene impartiendo desde hace varios años en métodos de construcción convencionales. Polat (2008) menciona que la razón principal de la falta de experiencia es el plan de estudios deficiente en ingeniería y arquitectura, resaltando que la falta de especialización genera ambigüedades en los diseños de elementos prefabricados.

Así como la necesidad de especialistas de diseño y construcción de prefabricados es de suma importancia, todos los involucrados en el desarrollo y adopción de este sistema necesitan de capacitación adecuada para aprovechar sus beneficios. Un estudio realizó encuestas a distintos involucrados en sistemas prefabricados en la construcción en Estados Unidos y Turquía, entre los participantes se encontraron diseñadores estructurales, contratistas y empresas fabricantes y distribuidoras (Polat, 2010). Por un lado, para el uso masificado de concreto prefabricado, encuestados estadounidenses consideraron como las principales dificultades a la mala comunicación entre los participantes, la falta de contratistas calificados y las restricciones de tamaño y carga de transporte. Por otro lado, los encuestados en Turquía resaltaron que la falta de comunicación entre los involucrados y la falta de ingenieros estructurales y contratistas adecuados son los factores más importantes que impiden el uso

de estos sistemas (Polat, 2010). Tanto en países en desarrollo (Turquía) como en países con una industria desarrollada (Estados Unidos), la falta de personal capacidad no aplica solo a la mano de obra o profesionales especializados. Para la adopción y uso de concreto prefabricado, hace falta la comunicación y capacitación de todos los involucrados en los proyectos.

3.1.2.4 Acabados - Juntas entre prefabricados

Esta complicación suele ser característica en sistemas de construcción convencionales tanto como en prefabricado, cuando no hay un adecuado control y supervisión, y afecta principalmente al cliente o usuario final de la edificación. Problemas de fugas o acumulaciones de humedad pueden deberse a diversos factores, como acumulación de agua por lluvias; los cuales afectarán el acabado final si no se toma en cuenta durante el diseño de la conexiones y juntas entre prefabricados, además de una adecuada supervisión del proceso constructivo. Un estudio que toma en cuenta una opción para no perjudicar las juntas entre prefabricados es el de Svensson et al. (2021), los cuales evalúan los riesgos de usar cintas de sellado en las conexiones entre paneles prefabricados tipo sándwich y sus fachadas (Figura 12); se analiza cualitativa y cuantitativamente cómo la variación de parámetros climáticos afecta el comportamiento de estas cintas y los elementos junto a ellas. El estudio concluye que la acumulación de agua en la construcción, en las ubicaciones más expuestas a cambios de humedad, perjudica aspectos estéticos y la capacidad resistente a cambios climáticos del panel estudiado. Este factor dificulta la difusión de elementos prefabricados entre clientes, los cuales serán los que discutan la calidad de estos elementos por su acabado final y como se ven afectados durante el tiempo de vida de la edificación.



Figura 12: Cinta precomprimida de sellado de juntas verticales

Fuente Svensson et al., 2021

3.2 Factores determinantes durante la etapa de diseño estructural adoptando elementos prefabricados

Al analizar el proceso de adopción de elementos estructurales prefabricados, es posible establecer aquellos parámetros críticos que aparecerán durante la gestión de proyectos y, por consiguiente, en la etapa de diseño estructural. Tal es el caso de un estudio que tiene como objetivo desarrollar un modelo que identifique los factores influyentes en la aceptación del concreto prefabricado mediante el desarrollo de 179 encuestas a diversos profesionales peruanos. El estudio demostró que la presión competitiva y la presión del cliente son dos de los principales factores que determinan que un profesional proponga y promueva elementos prefabricados (Sierra, 2022). Principalmente, y en lo que respecta a la presión del cliente, se

podría expresar como la relación que tendrá el proyectista con los requisitos y cambios que el cliente necesite a lo largo del proyecto; de igual forma, la presión competitiva abarca aspectos económicos del mercado actual, tanto entre proyectos de edificación, como en los proveedores del elemento prefabricado.

Del mismo modo, la ingeniera Torres (2022), plantea un modelo basado en el marco de trabajo tecnológico, organizacional y entorno (TOE por sus siglas en inglés) alineados con los conceptos de BIM y *Lean Construction* para analizar los factores que dificultan la adopción del concreto prefabricado. Sustentado con entrevistas a distintos expertos, el estudio concluyó que el factor más comentado y analizado fue la falta de educación durante la etapa universitaria; además, se indica que la falta de formación genera mayores dificultades para la industria del prefabricado, debido a que se genera una interpretación errónea del tema, así como mitos y paradigma que arraigan a este sistema durante tantos años.

Relacionado con los estudios antes mencionados, es posible analizar cuáles de los factores son los determinantes en la etapa de diseño estructural de una edificación que adopte elementos prefabricados, siendo que esta etapa se encuentra altamente relacionada con las necesidades del cliente, el mercado actual de proveedores y la capacitación del profesional cuando se busca implementar elementos estructurales prefabricados

3.2.1 Relaciones con el cliente

Cuando se trata con concreto prefabricado, una de las mejores opciones es que este sistema pueda ser establecido desde la concepción del proyecto, debido a las dificultades que podrían surgir al cambiar el diseño. Tras establecer las bases de un proyecto, la etapa de planificación y diseño requerirá de examinar y establecer el nivel de complejidad de la edificación a diseñar,

para que se permita asignar de manera adecuada a los ingenieros con las aptitudes necesarias (Menjura, 2020). Inclusive en este caso, el proyecto buscará satisfacer las necesidades del cliente o inversionista, por lo que habrá la posibilidad de generarse cambios a lo largo de la duración de la edificación. Estas modificaciones tienen que ser resueltas por los profesionales implicados a pesar de las complicaciones.

De este modo, tras la adopción de nuevas tecnologías, surge la necesidad de un “diseñador principal” (PD) como un rol encargado en la fase de pre construcción; como lo menciona Ndekugri et al. (2021), dada la estrecha conexión que se tendrá con el cliente, el PD recibe la información previa a la construcción relacionada con la planificación y gestión del proyecto, entre otros aspectos de estas etapas. Uno de los roles fundamentales del PD es el de proporcionar dicha información a diseñadores y contratistas, con el fin de alinear los intereses del cliente con la información técnica necesaria. En el caso del concreto prefabricado, la posibilidad de contar con un rol que cumpla las funciones de coordinador ante posibles cambios, se debe a que no todas las edificaciones establecen, desde la etapa de planificación, que se utilizará este sistema constructivo, lo cual recae en posibles cambios en el diseño y análisis estructural, en aprobaciones del profesional y entidades responsables, entre otras variables que dificultan el uso de concreto prefabricado.

3.2.2 Mercado actual y proveedores

La relación entre los proveedores de elementos prefabricados e ingenieros estructurales tiene mayor consideración cuando existe la necesidad de la aprobación de un proyecto o sus modificaciones; el trabajo en conjunto de estos dos agentes permitirá que se desarrolle la ingeniería necesaria para asegurar la calidad del producto y de la edificación, con los componentes adecuados. Sin embargo, el ingeniero Luis Bedriñana menciona que parte de las

limitantes de la construcción modular de concreto, además de limitaciones técnicas, normativas e idiosincráticas, son los factores productivos; en el contexto peruano, el concreto prefabricado suele contar con pocas plantas de producción y pocos productos que puedan apoyar a la industria, como transporte, grúas, postensado, entre otros (canal Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC, 2020, 13m05s). En otras palabras, el concreto prefabricado, en especial elementos estructurales de pórticos, presentan complicaciones a considerar respecto al izaje y transporte debido a que suelen tratarse de elementos de mayor magnitud y peso. Además, surgen las limitantes del mercado actual de los proveedores; ya que, al haber pocas empresas especializadas, no se podría suplir la necesidad si es que varias edificaciones decidieran implementar concreto prefabricado.

3.2.3 Educación e investigación

La formación universitaria cumple un rol importante para el desarrollo de futuros ingenieros civiles y sus investigaciones, independientemente de sus especializaciones. La intención de adoptar y aceptar elementos prefabricados se encuentra afectada por la necesidad de enfocarse en la prefabricación de edificaciones a través de la investigación y educación, así como el estudio de mejores prácticas de otros países (Katebi et al., 2022). Sin embargo, factores como el desconocimiento o la aparición de mitos del prefabricado parten del aprendizaje que los profesionales obtienen a lo largo de su carrera profesional. Un ejemplo de esto es el paradigma del mal comportamiento sísmico de elementos estructurales de concreto. Para un grupo de profesionales peruanos, existen pruebas e investigaciones a nivel mundial del buen desempeño que tiene este sistema, inclusive en condiciones similares al Perú; mientras que algunos ingenieros consideran que existe información faltante, además de la teórica, debido a que no ha ocurrido un sismo de gran intensidad (Torres, 2022). Para traspasar la barrera que genera el

desconocimiento acerca de elementos prefabricados es necesaria que la investigación se fomente en todas las etapas de un profesional partiendo desde de los proyectos propuestos en pregrado.

3.3 Consideraciones de diseño estructural para elementos prefabricados

3.3.1 Limitaciones de la norma

El análisis y diseño de edificaciones con elementos prefabricados deben seguir las normas propuestas por las entidades correspondientes para cada etapa de la construcción. Estas normas en la industria de la construcción establecen los parámetros y procedimientos de diseño que se utilizan para verificar la idoneidad de las estructuras; de este modo, estos proyectos pueden cumplir con los requisitos fundamentales de seguridad y facilidad de servicio (von der Tann et al., 2018). Cumplir con ellos también es la finalidad que se busca al utilizar elementos prefabricados, u otros sistemas de construcción, y por la cual, las normas de diseño deben ser lo más completas posibles. Sin embargo, existen limitaciones en distintos países sobre sus normas o especificaciones técnicas acerca de prefabricados; esto debido a las limitadas o poco difundidas que son las investigaciones y estudios, en comparación a la construcción convencional, que evalúan el rendimiento de sistemas prefabricados (Navaratnam et al., 2019). Es aquí donde surge la importancia de elementos modulares y procesos iterativos en la industria de prefabricado, ya que estos agilizan y estandarizan los procesos de diseño y construcción; esto debido a que tienen lineamientos y comportamiento capaz de ser aplicable en la mayoría de edificaciones con un adecuado diseño estructural.

Por otro lado, en países como el Perú, Chile o Colombia, las limitaciones de la norma de diseño en elementos prefabricados de concreto repercuten en que ingenieros consulten normas

extranjeras con el fin de asegurar un adecuado comportamiento de la estructura. A modo de ejemplo, en el Perú, los ingenieros Mendoza y Wong (2019) realizaron el diseño y análisis estructural de un hospital con concreto prefabricado y aislación sísmica, siendo esta estructura una de las más estrictas en el diseño por su uso. Para este hospital se emplearon el reglamento Nacional de edificación y recomendaciones de normas extranjeras, como las del *Precast Prestressed Concrete Institute*, la cual se enfoca en optimizar el diseño por elementos prefabricados repetidos y estandarizar los tipos de conexiones empleados. Otro ejemplo se encuentra al analizar países vecinos y similares al contexto peruano en cuanto a diseño estructura, tal es el caso de las principales normas y códigos internacionales que se utilizan en Chile y Colombia, las cuales se presentan en la Tabla 4 con una breve característica relacionada con elementos prefabricados de concreto.

Tabla 4: Normas internacionales utilizadas en Chile y Colombia.

País	Norma internacional	Características en prefabricados
Chile	Requisitos de reglamento para concreto estructural y comentario (ACI 318S-14):	Todos los requisitos mínimos del código son aplicables a sistemas y elementos prefabricados, excepciones
	<i>Emulating Cast-in-Place Detailing in Precast Concrete Structures</i> (ACI 2001)	Guía práctica para detallar estructuras de concreto prefabricado, deben cumplir el código ACI 318 y presta especial atención al detallado de juntas y empalmes entre prefabricados
	<i>Guidelines for the Use of Structural Precast Concrete in Buildings</i> (CAE 1999)	Brinda asistencia sobre aplicaciones consistentemente seguras y económicas de prefabricados, especialmente en vigas, columnas y sus conexiones
	<i>Planning and design handbook on precast building structures</i> (FIP 1994)	Información sobre los principales criterios de diseño y típicos relacionados con la integridad estructural, modulación, filosofía de diseño de conexiones, etc.

	<p><i>Seismic design of precast concrete building structures - State-of-art report</i> (fib 2003)</p> <p>Reglamento que Fija los Requisitos de Diseño y Calculo para el Hormigón Armado: DS 60-2011 (V. y U.) (MINVU 2011)</p> <p><i>PCI design handbook: Precast and prestressed concrete</i>, MNL 120-04 (PCI 2004)</p>	<p>Cubre lecciones aprendidas de terremotos anteriores, conceptos de construcción, enfoques de diseño aplicables a sistemas prefabricados</p> <p>Modifica algunos criterios del ACI 318 con el fin de mejorar el desempeño sísmico de estructuras de concreto, aplicable en sistemas prefabricados</p> <p>Presenta metodologías, formulas, ayudas y ejemplos sobre el diseño de elementos prefabricados de concreto</p>
<p>Colombia</p>	<p><i>Concrete Structures Standard. Parts 1&2: The Design of Concrete Structures and commentary</i>. NZS 3101 (Standards New Zealand 2006a, 2006b)</p> <p><i>International Building Code</i> (IBC-12)</p> <p><i>Concrete Structures Standard Part 1 - The Design of Concrete Structures</i> (NZS 3101-1)</p> <p>FEMA 356 – <i>Pre standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings</i></p> <p><i>Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures</i> (ASCE 7-10)</p> <p><i>NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures</i> (FEMA 450)</p> <p><i>PCI DESIGN HANDBOOK</i></p>	<p>Norma de diseño en Nueva Zelanda, contempla disposiciones de diseño a prefabricados y requisitos mínimos (capítulo 18)</p> <p>Limitaciones de altura y área por piso en función del grupo de uso y tipo de construcción del a estructura (capítulo 5).</p> <p>Clasifica sistemas estructurales de muros, resistentes a momento, que incorporan prefabricados (capítulo 18)</p> <p>Clasifica tres tipos de sistemas estructurales conformados por elementos prefabricado (capítulo 6)</p> <p>Limitaciones de altura de todos los sistemas estructurales, pudiéndose implementar en prefabricados (capítulo 12)</p> <p>Diseño estructural con similares limitaciones del documento ASCE 7-10 en términos de uso (capítulo 4)</p> <p>Difunde descubrimientos e investigaciones modernas sobre técnicas de diseño de estructuras prefabricadas</p>

Adaptado de Aguirre, 2021 y Sierra, 2014.

Esta tabla permite reconocer algunas normas que complementan los parámetros de diseño en distintos países respecto a los elementos prefabricados. De este modo, los diseñadores reconocen que la industria y las investigaciones requieren del apoyo en conjunto de especialistas, con el fin de facilitar el desarrollo de los códigos de diseño.

3.3.2 Comportamiento de las conexiones entre elementos

A pesar de las limitaciones en las normas de diseño, existen principios generales a tener en cuenta. Según el Dr. Shan Kumar, entre los principales fundamentos de diseño está que el resultado de una estructura con elementos prefabricados no debe diferir de estructuras convencionales; además, añade la importancia de etapas de prueba, requerimientos del anclaje y transporte, y elementos estándares en la industria como consideraciones para el diseño de elementos prefabricados (canal Brickworks Building Products, 2020, 29m35s). Del mismo modo, según Barriga y Rodríguez (2017), el diseño estructural con prefabricados debe tener un comportamiento sismorresistente similar a las estructuras vaciadas *in situ* de acuerdo con la norma peruana de concreto armado E 060, por lo que las conexiones cumplirán un rol importante debido a que deberán tener un comportamiento adecuado durante sismos. Por ello, el diseño de conexiones entre elementos prefabricados recibirá especial consideración por parte de los ingenieros especializados, los cuales brindaran a la estructura del comportamiento deseado de acuerdo a las normas y códigos de diseño.

Con el fin de ejemplificar estas consideraciones en una norma internacional, se presenta la Tabla 5 que resume la sección 18.8.4 la norma de diseño de Nueva Zelanda (Standards New Zealand, 2006) acerca de categorías de sistemas de concreto prefabricado en relación con su comportamiento sísmico.

Tabla 5: Sistemas prefabricados y sus conexiones indicadas por la norma de concreto estructural en Nueva Zelanda

Categoría	Definición	Conexiones	Características
<i>Monolithic systems</i>	Sistema que cumple con los requisitos de una estructura convencional monolítica equivalente en términos de resistencia y refuerzos	Conexiones fuertes de ductilidad nominal	Enfoque de diseño que asegura que la falla por flexión ocurra lejos de la región de la conexión.
		Conexiones dúctiles	Generalmente comprenden barras de refuerzo longitudinales en la conexión que se espera un comportamiento post-elástico en sismos raros.
<i>Jointed systems</i>	Sistema que establece deformaciones post-elásticas concentradas en la interfaz de elementos de concreto prefabricado donde surge la aparición de grietas durante sismos	Conexiones de ductilidad limitada	Conexiones secas formadas por soldadura, atornillado de barras o placas de refuerzo.
		Conexiones articuladas dúctiles	Conexiones secas que utiliza postensado no adherido para conectar los elementos prefabricados entre sí.
		Conexiones híbridas dúctiles	Combina elementos postensados y barras de refuerzo longitudinal u otros dispositivos de disipación de energía.

Fuente: Standards New Zealand, 2006

Al realizar esta clasificación de sistemas y relacionarlos con las conexiones entre elementos, surge una limitante para la implementación del prefabricado como elemento estructural, debido a los tipos de conexiones que se pueden desarrollar en la industria de prefabricados. Por ejemplo, el ingeniero Bellido realizó una ponencia acerca de las conexiones utilizados en prefabricados según ACI 318 para emular estructuras monolíticas, la cual detalla su experiencia en Chile y el uso de conectores mecánicos *splice sleeve* (canal Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC, 2020, 9m35). El ingeniero destaca que a pesar de que estos conectores

cumplan con los requisitos del ACI 318 y se desarrollen correctamente en conexiones dúctiles y fuertes, no se cuenta con una edificación en particular en el Perú que los utilice o un representante y/o distribuidor de estos productos, a pesar de ser un producto altamente utilizado en un país vecino como lo es Chile.

Con la información obtenida, comienzan a surgir los primeros roles y fundamentos a estudiar respecto a los ingenieros estructurales y su participación cuando un proyecto toma la decisión de implementar elementos estructurales de concreto prefabricado. Si es que se toma a la edificación como eje principal, es el cliente el que parte con la concepción de utilizar concreto prefabricado en el proyecto. Para ello, el diseñador debe encontrarse en las capacidades y tener la formación necesaria para poder aplicar sus conocimientos en elementos prefabricados; es aquí donde el trabajo en conjunto entre ingeniero y proveedor permite el intercambio de información necesario para asegurar el producto y diseño. Posterior a ello, se deberá validar el diseño con las normas adecuadas y a las entidades correspondientes. La investigación plantea cuatro etapas como los factores principales que influyen en la adopción del prefabricado bajo la perspectiva de ingenieros estructurales, lo que permitirá identificar las variables que promueven o impiden el uso de elementos prefabricados y analizar las percepciones que tienen los profesionales implicados en la etapa de diseño estructural.

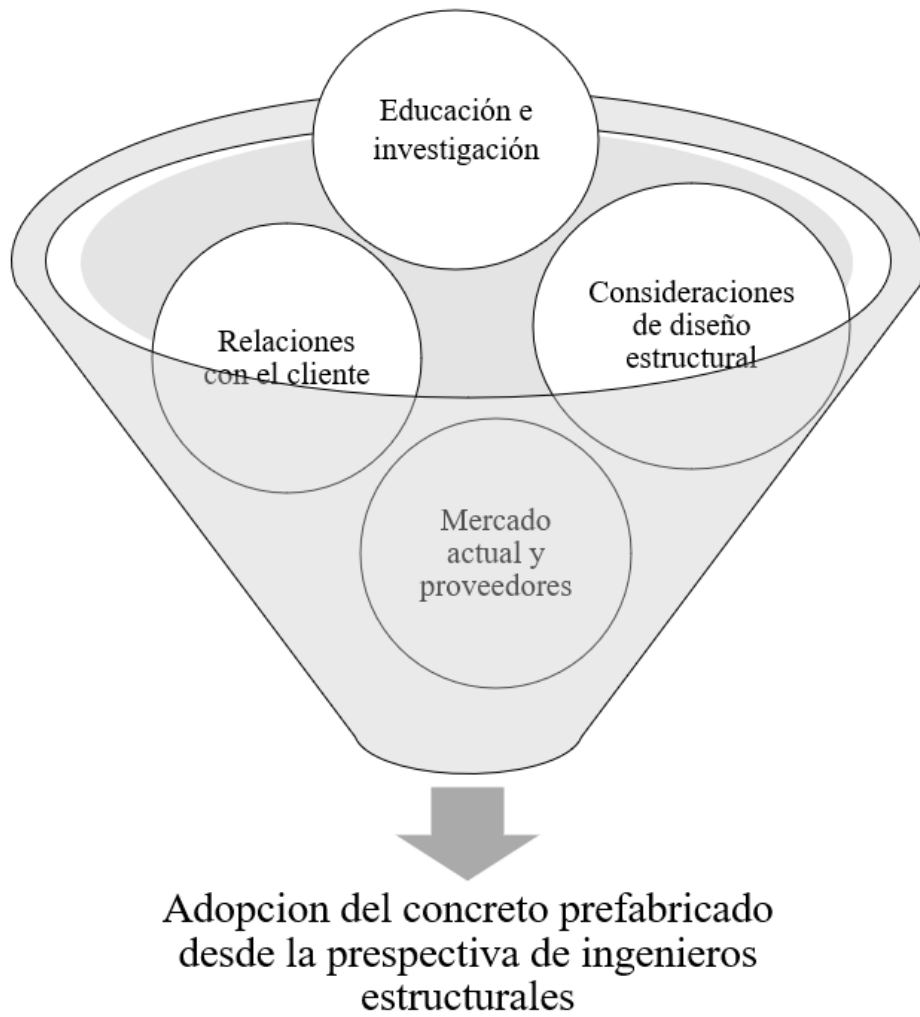


Figura 13: Factores determinantes para el objetivo de la investigación

Fuente Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se llevará a cabo optando un enfoque cualitativo con el fin de desarrollar un modelo de adopción que permita identificar aquellas variables que, desde la perspectiva de ingenieros estructurales peruanos, promueven o impiden el uso de elementos de concreto prefabricado. Para ello, se procederá a detallar las distintas etapas a seguir en esta metodología, las cuales se presentan en un esquema al final del capítulo.

4.1 Revisión de la literatura y marco teórico

La primera etapa de la investigación consta en la recopilación de información acerca del concreto prefabricado en edificaciones como tema general. Dentro de ello, se estudiará la situación actual de la industria del prefabricado y sus principales aplicaciones en el Perú; además, se describirán, en breves reseñas históricas acerca de los primeros usos del concreto prefabricado como elemento estructural y las primeras limitaciones que se presentaron tras su implementación. Posterior a esta información, se investigará acerca de la adopción del concreto prefabricado y los factores que la dificultan, haciendo énfasis en las consideraciones estructurales de los elementos. Finalmente, y a partir de la información recolectada, será posible establecer los parámetros que afectan directamente a los ingenieros estructurales ante la posibilidad de adoptar elementos estructurales de concreto prefabricado en sus proyectos.

4.2 Diseño de la técnica de investigación

Para presentar un enfoque cualitativo, será necesario de una herramienta de investigación que permita recolectar y analizar la información dada por la perspectiva de ingenieros estructurales. Debido a esta premisa, se empleará y diseñará entrevistas semiestructuradas como herramienta de recolección de datos, dado que esta herramienta permite determinar respuestas subjetivas respecto

a una situación o fenómeno particular que las personas hayan experimentado; asimismo, este tipo de entrevista se caracteriza por comparar respuestas de los participantes por ítem, dado que se les cuestiona con el mismo orden de preguntas y con el fin de tener la posibilidad de transformar y cuantificar numéricamente las respuestas (McIntosh & Morse, 2015). De este modo, la entrevista diseñada aprovechará el marco conceptual y teórico estudiado para poder establecer un debate guiado por las preguntas a fin para estudiar la perspectiva de ingenieros estructurales que participen en la investigación.

4.3 Recolección de datos

Dentro del diseño de las entrevistas, se definirá el perfil que debe tener el entrevistado para poder recolectar la información adecuadamente, y que esta sea objetiva con la investigación. Una vez definidas las preguntas, se procederá a realizar las entrevistas semiestructuradas a profesionales que cumplan con dicho perfil, y se realizará la debida transcripción de la información. Tras optar por esta técnica de investigación, se resalta que el número de entrevistas a realizarse depende del punto de saturación para investigaciones cualitativas, donde se refiere al momento en que la entrevista no ofrece datos nuevos a los ya recolectados (Díaz et al., 2013). Este punto es una consideración a tener en cuenta para dar por finalizada la etapa de entrevistas.

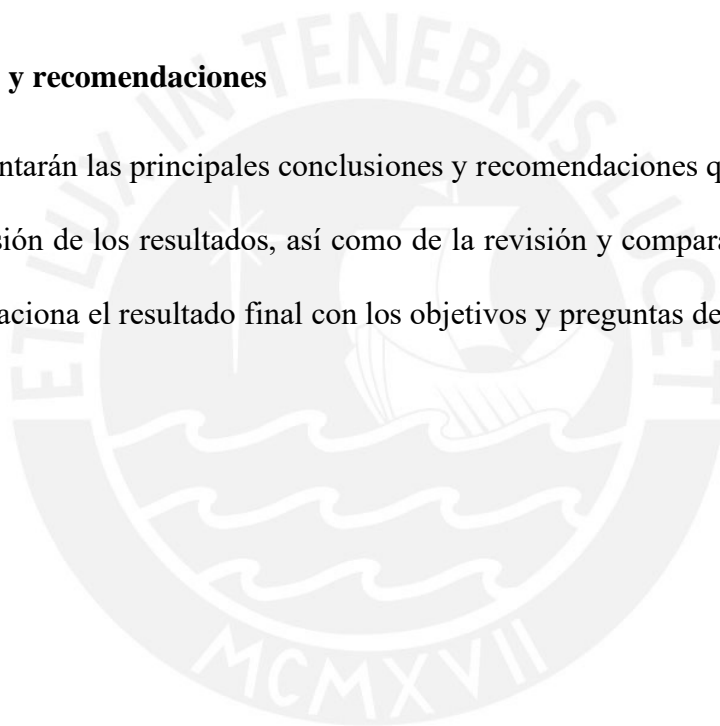
4.4 Análisis y discusión de los resultados obtenidos

El análisis cualitativo de los resultados constará del procesamiento y organización de lo recaudado en las entrevistas, que tienen como base la perspectiva de ingenieros estructurales. Esto de modo que se pueda contrastar la información obtenida durante la etapa de revisión de la literatura y se puedan identificar aquellas variables que influyen durante la adopción de elementos estructurales prefabricados.

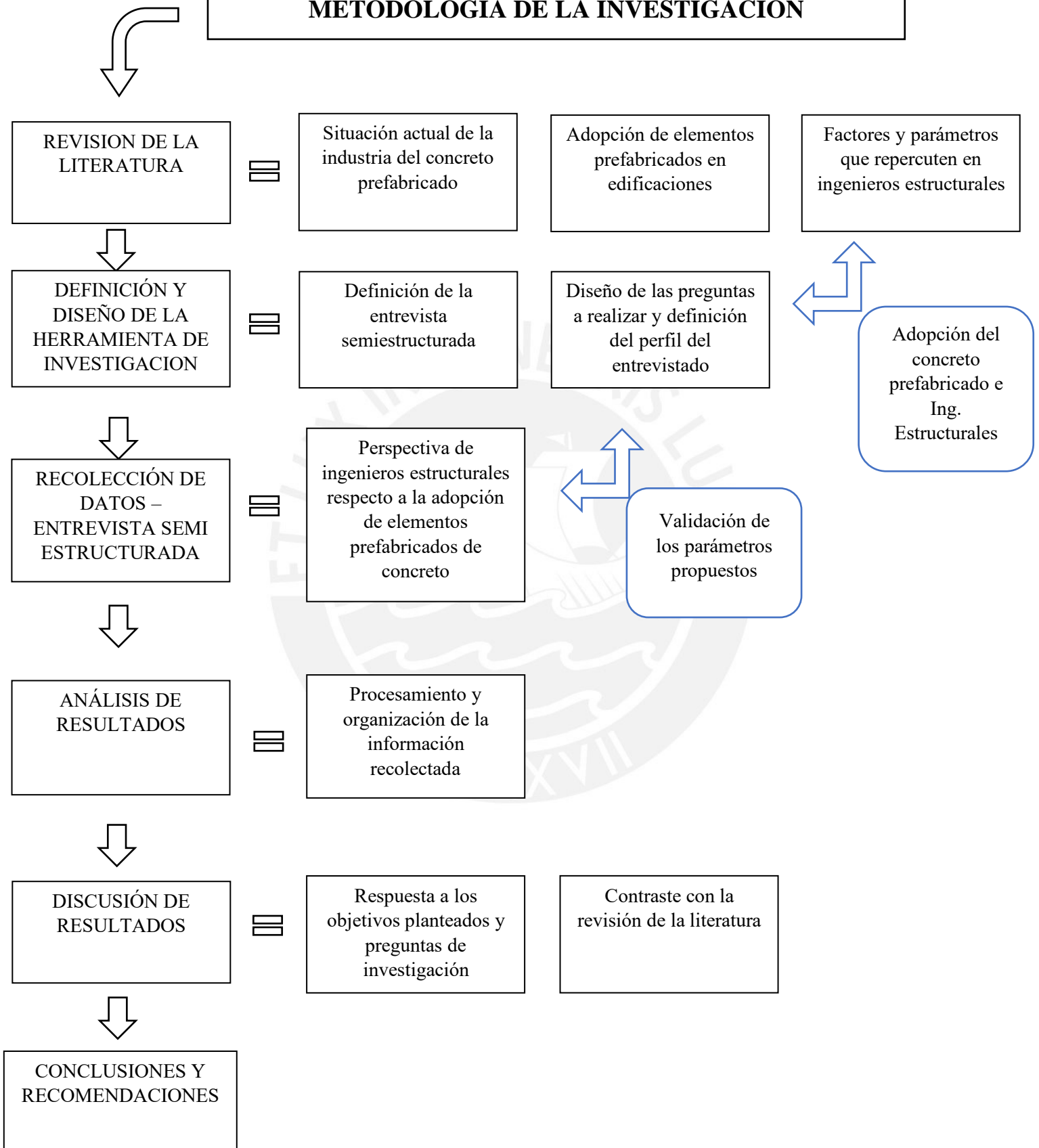
Una vez haya finalizada la etapa del análisis de resultados, se realizará su discusión y comparación para poder evaluar las variables encontradas, identificar los principales factores que impiden la adopción de estos sistemas, así como analizar las percepciones de los ingenieros estructurales respecto al uso de prefabricados. Es decir, se analizarán y discutirán todos los parámetros encontrados en las entrevistas y que podrán responder a los objetivos planteados en la investigación.

4.5 Conclusiones y recomendaciones

Finalmente se presentarán las principales conclusiones y recomendaciones que se hayan obtenido del análisis y discusión de los resultados, así como de la revisión y comparación de la literatura. De este modo se relaciona el resultado final con los objetivos y preguntas de la investigación.



METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN



CAPÍTULO V: DISEÑO DE LA TÉCNICA DE INVESTIGACION

Con el objetivo de recopilar información válida y confiable, el diseño de la técnica de investigación debe seguir un adecuado desarrollo y sustento científico; de este modo, será posible que la investigación cumpla con los objetivos planteados. Es por ello que, en el presente capítulo, se desarrollará la herramienta fundamental que permitirá presentar la perspectiva de los ingenieros estructurales respecto a los elementos prefabricados de concreto.

5.1 Perfil del entrevistado

Para que las respuestas del entrevistado puedan ser validadas y continúen en lineamiento de la investigación, este deberá seguir algunas consideraciones; esto con el fin de que los resultados de la entrevista semiestructurada permitan enriquecer la calidad de los mismos. Por ello, se propuso buscar ingenieros estructurales que pertenezcan al siguiente grupo de interés:

- Diseñador estructural senior con un mínimo de 08 años de experiencia desarrollando el propio diseño estructural y/o sismorresistente de edificaciones; no es requisito que el profesional cuente con experiencia en elementos prefabricados, puesto que esta perspectiva permitirá recopilar información importante sobre la adopción de estos elementos.

Además de ello, se resaltarán la presencia de ingenieros estructurales que pertenezcan a empresas de prefabricados de concreto, al área de ingeniería estructural o similar de estos elementos; debido a que algunas de estas empresas llevan poco tiempo en el mercado, se toma en consideración que este tipo de ingeniero cuente como con una menor cantidad de años de experiencia en el rubro del que dicta el perfil.

5.2 Preguntas de control

Dentro de las pautas a seguir en la entrevista, se propuso iniciar con preguntas cerradas acerca del desarrollo profesional del ingeniero. Esto con el fin de que se tenga registrada la información en su totalidad. Las preguntas a realizarse tienen como base los siguientes temas:

- Años de experiencia en ingeniería civil
- Rol que desempeña actualmente
- Años trabajando con concreto prefabricado (de contar con experiencia)

Cabe resaltar que de esta manera queda registrado que el profesional cumple con el perfil del entrevistado propuesto para la investigación. Al final de estas preguntas, se solicitó al entrevistado relatar alguna anécdota o brindar su opinión general acerca del concreto prefabricado en edificaciones, con el fin de aclarar dudas, delimitar la entrevista a elementos estructurales de concreto prefabricado y generar un ambiente adecuado para iniciar.

5.3 Diseño de la entrevista

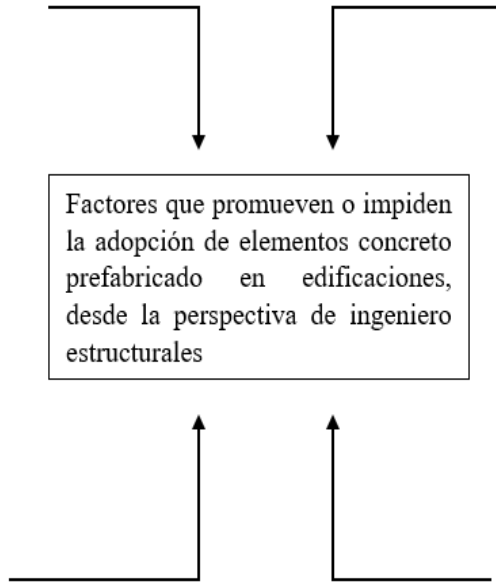
Principalmente, la entrevista semiestructurada valida el uso de preguntas abiertas que permitan al entrevistado relatar y expresarse en sus respuestas. Para esta investigación, dichas preguntas se relacionan con los objetivos de la investigación y con la información recolectada en los capítulos anteriores; de este modo, fue posible identificar cuatro parámetros en los que, posteriormente, se pueda analizar y discutir las variables que los repercuten. En base a ello, las preguntas de la entrevista son las siguientes:

CONSIDERACIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL

- En base a su experiencia, ¿Cuál es la consideración normativa más importante a tener en cuenta al diseñar con concreto prefabricado?
- ¿Usted cree que existe alguna diferencia entre el comportamiento sísmico o estructural de elementos estructurales prefabricados (p.e., vigas, losas, placas, columnas) en comparación con elementos vaciados in situ?
- ¿Cuáles son las fortalezas y debilidades de la normativa nacional para diseñar correctamente con elementos prefabricados? ¿Ha recurrido a alguna norma extranjera?

PROVEEDORES Y MERCADO ACTUAL

- El mercado actual tiene cierto nivel de madurez en losas y viguetas prefabricadas ¿Cuál considera usted que es la principal causa por la que existe menos madurez en la disponibilidad de columnas o vigas prefabricadas en comparación al uso de viguetas o losas prefabricadas?
- ¿Considera que la industria de la prefabricación se encuentra limitada por la oferta actual de proveedores? ¿Por qué?



RELACIONES CON EL CLIENTE

- En su experiencia en diseño estructural ¿Cuál sería la principal razón por la usted diseñaría directamente con elementos prefabricados en primera instancia?
- ¿Usted que haría si el cliente, público o privado, solicitan cambios en la edificación para implementar elementos prefabricados?

EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN

- Durante la etapa universitaria, ¿Considera que el consolidado curricular debería incluir mayores apartados acerca del concreto prefabricado? ¿Qué propondría usted para el desarrollo del profesional en este ámbito?
- ¿Cuál es el nivel de investigación y desarrollo en estructuras prefabricadas en el país? ¿Usted qué haría para incrementar los niveles de desarrollo de las investigaciones acerca de elementos estructurales de concreto prefabricado?

Figura 14: Entrevista Semiestructurada-Preguntas de la investigación

Fuente: Elaboración Propia

5.4 Recolección y procesamiento de la información

La entrevista se realizó a 22 ingenieros estructurales tras enviarles formalmente una carta de presentación acerca de la investigación a realizarse, incluyendo los objetivos, los responsables y la propia solicitud de su participación en la tesis. Se verificó con anticipación que estos profesionales cumplan con los requisitos del perfil objetivo.

Este primer contacto entre el responsable de la recolección de datos e ingenieros (entrevistados tentativos) se dio por diversos medios; por un lado, fue posible entrevistar profesionales que pertenecen al ambiente laboral del entrevistador, así como conocidos en la industria y docentes. Por otro lado, la página web LinkedIn dio la oportunidad de contactar con más ing. estructurales; si bien esta red social permitió establecer un primer contacto, no todos los profesionales decidieron dar una respuesta.

De esta manera, la Tabla 6 indica el ID o código del entrevistado, el rol actual que desempeña, sus años de experiencia y una breve descripción en caso cuente con experiencia en diseño estructural con prefabricados. Por cuestiones de protección de la información, los nombres, lugares de trabajo, proyectos donde fue responsable o alguna data personal del entrevistado estará debidamente protegida en esta investigación.

Tabla 6: Cuadro resumen de entrevistados, rol y experiencia. (Fuente: Elaboración propia).

ENTREVISTADO	ROL ACTUAL	AÑOS DE EXPERIENCIA	EXPERIENCIA CON PREFABRICADOS
E01	Construcción y diseño - Supervisión de obra	22	Construcción y diseño de muelles: pilotes y vigas
E02	Gerente técnico / Docente	42	01 Proyecto
E03	Gerente de empresa de diseño estructural / Docente	12	Sí, pocos proyectos
E04	Ingeniero estructural	8	No cuenta con experiencia, pero sí conocimientos por estudios
E05	Jefe de proyectos de diseño estructural	9	06 - 07 proyectos
E06	Ingeniero estructural en obras portuarias	8	Muelles (5-6 años)
E07	Diseñador estructural	40	No mucha experiencia, pocos proyectos, principalmente viguetas
E08	Gerente de la unidad de prefabricados	20	Experiencia desde que ejerce, desde obras de saneamiento hasta edificaciones
E09	Diseñador estructural - Independiente	9	No cuenta con experiencia en prefabricados

E10	Jefe de ingeniería en empresa de prefabricados	18	11 años trabajando con elementos prefabricados en edificaciones, obras civiles, naves industriales y comercio
E11	Ingeniero de diseño de proyectos/estructural/ Docente	10	Este año ha empezado a trabajar con prefabricado
E12	Asesor estructural - Docente	15	No mucha experiencia, pocos meses dentro de una obra
E13	Ingeniero de proyecto	12	Conocimientos básicos, pero no ha trabajado con diseño de prefabricados
E14 *	Jefe de estructuras, costos e innovación en empresa de prefabricados	4 *	De que llego a la empresa de prefabricados (3 años)
E15	Diseñador estructural - Dibujante de estructuras	10	Experiencia en viguetas prefabricadas
E16	Ingeniero estructural - Dueño de empresa de ingeniería	17	12 a 15 años de experiencia trabajando con prefabricados
E17	Área de ingeniería - Diseños estructurales de vivienda	10	5 años trabajando con prefabricados
E18	Especialista en estructuras	25	Generalmente en puentes
E19	Consultor de ingeniero estructural	19	Sistema de viguetas, prelosas, tralichos

E20	Docente - Consultor estructural	19	10 años en naves industriales y 5-6 años con viguetas pretensadas
E21	Docente - Consultor estructural	10	Experiencia limitada en prelosas y viguetas prefabricadas
E22	Jefe del área de departamento técnico y de proyectos dentro del área de prefabricados	14	8 años en empresa de prefabricados estructurales

* Si bien el entrevistado E14 cuenta con 4 años de experiencia, este cuenta con 3 años como estructural en una empresa dedicada a elementos estructurales prefabricados, en la cual, actualmente, se desempeña como jefe del área de estructuras en una empresa dedicada a prefabricados.

Posterior a la culminación de la etapa de entrevista, se procedió a la transcripción de cada documento de audio obtenido. Se le notificó con anticipación al entrevistado que el audio de la entrevista sería grabado, y que estos archivos serían eliminados una vez acabe la transcripción, con la protección de datos correspondientes. De este modo, las entrevistas se presentan como documentos escritos, con la finalidad de poder estudiar los parámetros obtenidos de la literatura y la perspectiva de los profesionales de interés. Se puede acceder a la transcripción mediante el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/1wkLFTc2oNm4XSxHBNWaU1Y5jn3dqiwRM?usp=sharing>

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras determinar los parámetros en los que ingenieros estructurales tendrán mayor participación cuando se habla de adopción de concreto prefabricado, se estableció, en conjunto con las entrevistas, un diagrama que identifique las variables con mayor influencia bajo estos conceptos. Es por ello que, en este capítulo, se procederá al análisis de los resultados obtenidos mediante entrevistas realizadas para que la investigación, de manera cualitativa, permita cumplir con los objetivos.

El análisis parte de la transcripción de las entrevistas, donde se permitió identificar las variables que aparecen en cada respuesta obtenida. Es, mediante la aplicación ATLAS.ti que se inicia con el primer filtro de la investigación; ya que los reportes obtenidos contienen las aportaciones de los entrevistados en relación a un determinado concepto o tema, permitiendo analizar y contrastar opiniones, verificar coincidencias y estudiar los matices obtenidos (Lopezosa et al, 2022). De este modo, una manera practica de ver los primero resultados o puntos de interés a analizar en cada entrevista se puede apreciar en la Figura 15, gracias a la herramienta “Frecuencia de palabras” de ATLAS.ti.

resumen de incidencias por entrevistado en el ANEXO 1: Tabla de incidencias de los ingenieros estructurales entrevistados respecto al modelo de adopción de prefabricados.

6.1 Criterios de diseño estructural

Se presenta la Tabla 7, con los resultados encontrados en las entrevistas respecto a las consideraciones que tienen que seguir los ingenieros estructurales al momento de diseñar elementos de concreto prefabricado. Según los expertos, el diseño y comportamiento de la estructura a analizar depende de las conexiones entre elementos, dado que se requiere que la estructura se modele simulando un comportamiento monolítico, el cual guarda similitudes con un modelo tradicional vaciado in situ, y siendo esta la variable con mayor incidencia (CD5).

Tabla 7: Variables respecto a las consideraciones estructurales. (Fuente: Elaboración propia).

CRITERIOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL		% DE INCIDENCIA
CD1	Cumplimiento de la norma sísmica	40.91%
CD2	Sustento del sistema mediante ensayos	45.45%
CD3	Respaldo en normativa extranjera o normas técnicas	68.18%
CD4	Falta de normativa nacional adecuada	68.18%
CD5	Diseño y modelo de conexiones entre elementos	81.82%

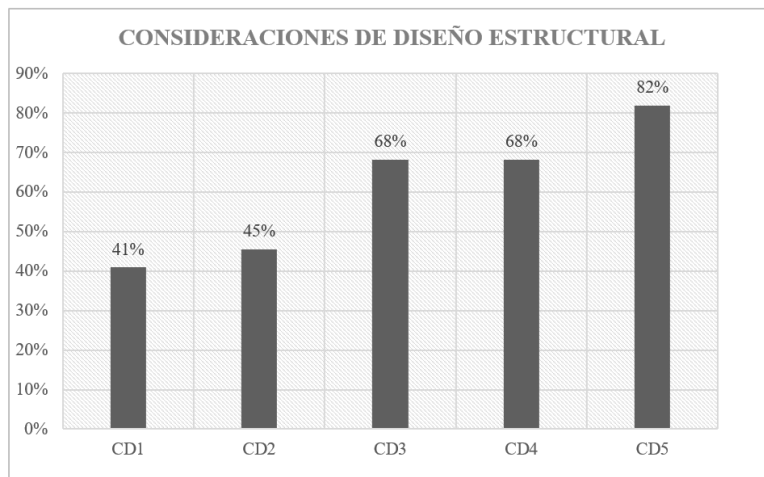


Gráfico 1: Incidencias en el factor de Criterios de diseño estructural.

Fuente: Elaboración Propia.

Posterior a ello, los ingenieros entrevistados requieren la debida validez del sistema o elemento que ellos van a utilizar; si bien una de las variables recurrentes es la falta de una normativa nacional adecuada, es posible que el prefabricado tenga respaldo en normativa extranjera, ya que suele ser un apoyo a la normativa nacional. Las últimas variables a considerar en el diseño son que el sistema prefabricado cuente con respaldo mediante ensayos y que cumpla con la norma sísmica peruana, con los debidos estándares de calidad y seguridad.

Dentro de este apartado, se cuestionó la percepción de los estructurales acerca del comportamiento sísmico de los elementos prefabricados mediante la siguiente pregunta:

“¿Usted cree que existe alguna diferencia entre el comportamiento sísmico o estructural de elementos estructurales prefabricados (p.e., vigas, losas, placas, columnas) en comparación con elementos vaciados in situ?”

Al responderse esta pregunta, es posible obtener como resultado el siguiente gráfico:

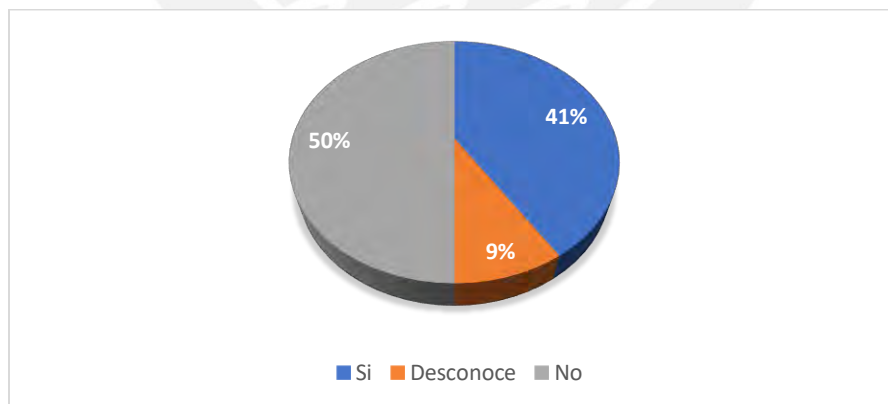


Gráfico 2: Porcentaje de entrevistados según su respuesta ante la existencia de diferencia en el comportamiento de elementos prefabricados.

Fuente: Elaboración Propia

Existen discrepancias en cuanto a la percepción del profesional con este tema, el 50% de ellos indican que el comportamiento de una estructura que implementa elementos prefabricados y una vaciada in situ no se diferencian, solo en caso se puede asegurar el monolitismo debido a las conexiones. Sin embargo, el 41% de entrevistados indican que si existe diferencia por un motivo similar; por un lado, *“el sistema emulativo intenta llevar a que representemos fielmente lo que es una estructura monolítica, como vaciada in situ, pero no hay certeza ante ello, bajo mi punto de vista, si no por algo siempre piden unos ensayos”* (Entrevistado 03). Por otro lado, diferenciar y comparar ambos sistemas debería resultar a favor del elemento prefabricado debido a los estándares de calidad y mayor control del elemento, por lo que se espera un elemento con mejor comportamiento.

6.2 Madurez de la cadena de suministro del prefabricado

La Tabla 8 presenta las variables que dificultan la adopción del prefabricado, desde el aspecto comercial, y que afectan directamente al entorno de los diseñadores estructurales. En esta tabla se puede apreciar que el resultado más relevante es la falta de difusión de nuevos elementos y sistemas, seguido de la posibilidad de construcción modular o de elementos repetitivos, y de las exigencias del control de calidad mínimas requeridas a las empresas dedicadas a elementos prefabricados. Estas variables se pueden ejemplificar al analizar la situación actual de la industria del concreto prefabricado en el Perú, teniendo poca cantidad de proveedores y empresas relacionadas con vigas y columnas.

Tabla 8: Variables respecto a la Madurez de la cadena de suministros del prefabricado. (Fuente: Elaboración propia).

MADUREZ DE LA CADENA DE SUMINISTROS DEL PREFABRICADO		% DE INCIDENCIA
MP1	Mercado de elementos pretensados	18.18%
MP2	Consideraciones de izaje y transporte	22.73%
MP3	Exigencia del control de calidad de elementos	50.00%
MP4	Posibilidad de construcción modular / elementos repetitivos	54.55%
MP5	Falta de difusión de nuevos elementos y sistemas	68.18%

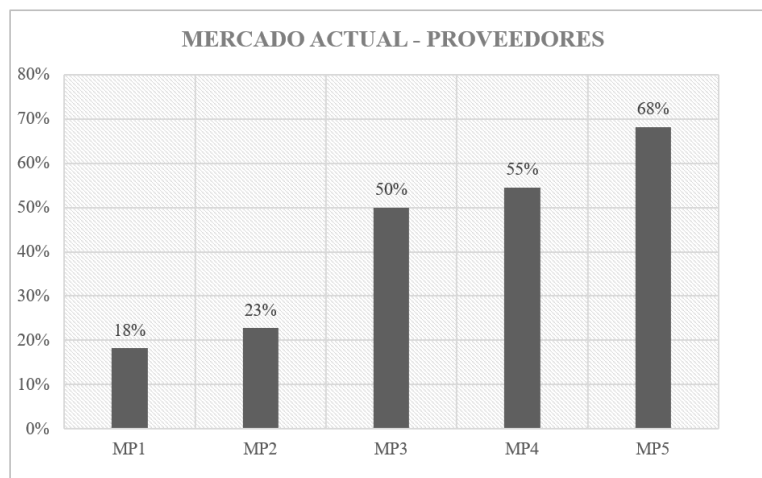


Gráfico 3: Incidencias en el factor de Mercado actual y proveedores.

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, con menos incidencia por parte de los ingenieros entrevistados, se tiene a las consideraciones del transporte e izaje, y a la posibilidad de usar elementos presforzados. El primero de ellos tiende a evaluarse por el 22.73% de los ingenieros estructurales entrevistados debido a las capacidades con las que contará una empresa contratista para el movimiento de los elementos que se diseñen, muchos de ellos con grandes dimensiones. Como lo ejemplifica el entrevistado 01 “actualmente las grúas torre pueden llegar a soportar hasta 2 toneladas, siendo este el límite para los elementos prefabricados; cuál sería el beneficio de implementar vigas prefabricadas en una

construcción con 8 ejes, si el peso de la grúa no permitiría llegar a uno de estos.” (Entrevistado 01). La segunda, se relaciona con la industria en crecimiento de elementos pre o post tensados, con cada vez más empresas dedicadas a ello, abriendo nuevas opciones para la búsqueda de soluciones, negociación, intercambio de información, etc.

6.3 Relaciones con el cliente

Las necesidades del cliente son un rol fundamental para la toma de decisiones del proyecto; en busca de suplir estas necesidades, que en su mayoría tienen como trasfondo aspectos económicos, la edificación podía inclinarse a utilizar prefabricados si se era consciente de sus beneficios y si se evaluaba la rentabilidad económica de la estructura. Esta evaluación forma parte de las variables más influyentes (RC5), así como las necesidades del cliente (RC4), presentadas también en la Tabla 9. Sin embargo, algunos ingenieros son concisos y relatan que, en muchas ocasiones, los ingenieros estructurales no siempre se encuentran implicados en la rentabilidad económica de la empresa; particularmente el entrevistado 16 menciona que *“desde el punto de vista de diseño estructural, no hay mayor ventaja ni desventaja en hacer un diseño con prefabricado o hacer sin prefabricado. Desde mi punto de vista, del diseño, de armar los planos, de hacer los cálculos, no me quita más ni menos tiempo; todo el ahorro o la ventaja está en la parte constructiva.” (Entrevistado 16).*

Tabla 9: Variables respecto a las relaciones entre cliente y proyectista. (Fuente: Elaboración propia).

RELACION CLIENTE-PROYECTISTA		% DE INCIDENCIA
RC1	Dificultades para la aprobación del expediente técnico	13.64%
RC2	Intercambio de información entre proyectista y empresa de prefabricados	45.45%
RC3	Tipos de prefabricados según edificaciones especiales	45.45%
RC4	Necesidades del cliente / Solicitud del propietario	59.09%
RC5	Evaluación de la rentabilidad económica de la estructura	63.64%

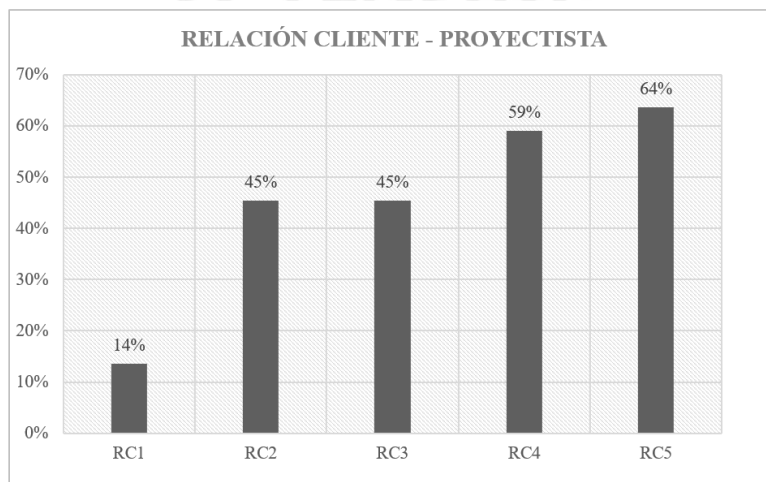


Gráfico 4: Incidencias en el factor de Relación entre cliente y proyectista.

Fuente: Elaboración Propia

Del mismo modo, en lo que respecta a la relación entre el cliente y el diseñador estructural, los resultados obtenidos en este apartado se relacionan las razones por las que se propondrían elementos prefabricados en el planteamiento inicial. En orden de relevancia, están variables son el tipo de estructura o edificación, el intercambio de información que se le brinde al proyectista desde la empresa de prefabricados y las aprobaciones municipales ante los cambios o sistemas a implementarse.

6.4 Educación e investigación

Estudios anteriores han revelado que el factor de la educación era uno de los más críticos cuando se buscaba utilizar y obtener todas ventajas que el concreto prefabricado puede ofrecer, la falta de personal capacitado vuelve a tener gran influencia inclusive entre estructurales; los resultados muestran que un 82% de entrevistados hace mención a la falta de capacitación durante la etapa universitaria como una etapa fundamental en el desarrollo profesional y en el desarrollo de investigaciones. La Tabla 10 organiza las variables en la educación e investigación que los entrevistados perciben que se debe tener especial consideración y análisis.

Tabla 10: Variables respecto a la educación e investigación. (Fuente: Elaboración propia).

EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN		% DE INCIDENCIA
EI1	Investigación relacionada al prefabricado y nuevas tecnologías	18.18%
EI2	Falta de apoyo gubernamental en investigaciones	27.27%
EI3	Situación actual de la relación entre aspecto comercial y educacional	59.09%
EI4	Falta de investigación experimental y recursos	59.09%
EI5	Falta de capacitación en la etapa universitaria	81.82%

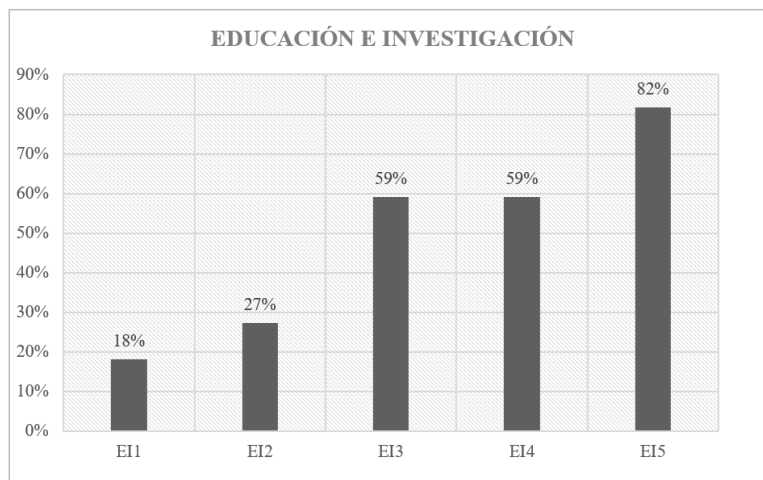


Gráfico 5: Incidencias en el factor de Educación e investigación.

Fuente: Elaboración Propia

Es así que como segunda variable influyente se tiene a la falta de investigación experimental, de especial interés para estructurales para el tema de prefabricados. Junto a esta variable se encuentra situación actual de la relación entre lo comercial y las universidades, con el mismo nivel de incidencia; según los entrevistados, las empresas deberían cumplir un rol importante en el intercambio de información a fin de difundir sus sistemas e incentivar a la investigación. Por último, se tiene como variables a la falta de apoyo gubernamental y la investigación relacionada al prefabricado en conjunto con nuevas tecnologías, ya sea de aislamiento sísmicos o nuevos conectores entre elementos desarrollados en el exterior.

En adición a los resultados presentados, también fue consultado acerca de la percepción de los estructurales respecto al nivel de investigación que hay en el Perú respecto a elementos prefabricados, mediante la siguiente pregunta:

“¿Cuál es el nivel de investigación y desarrollo en estructuras prefabricadas en el país?”

Al responderse esta pregunta, es posible obtener como resultado el siguiente gráfico:

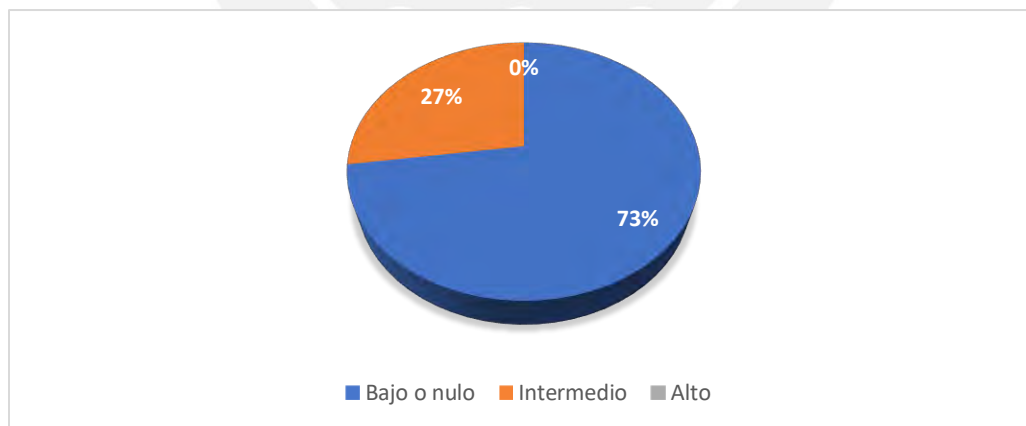


Gráfico 6: Porcentaje de entrevistados según su respuesta ante el nivel de investigación de elementos estructurales prefabricados en el Perú.

Fuente: Elaboración Propia

Para esta investigación, el perfil del entrevistado era el de ser ingenieros estructurales senior por lo que cuentan con varios años de experiencia observando cómo evoluciona la industria en este tema, y algunos consideran que las investigaciones se encuentran en aumento o a nivel intermedio. Sin embargo, el 73% considera que el Perú tiene un bajo nivel de investigación cuando se trata el tema de prefabricados y no ha habido mejoría a lo largo de los años.



Finalmente, tras conocer todas las variables como resultado de las entrevistas y de la investigación, se establece el Gráfico 7 que resume estos aspectos en un solo diagrama.

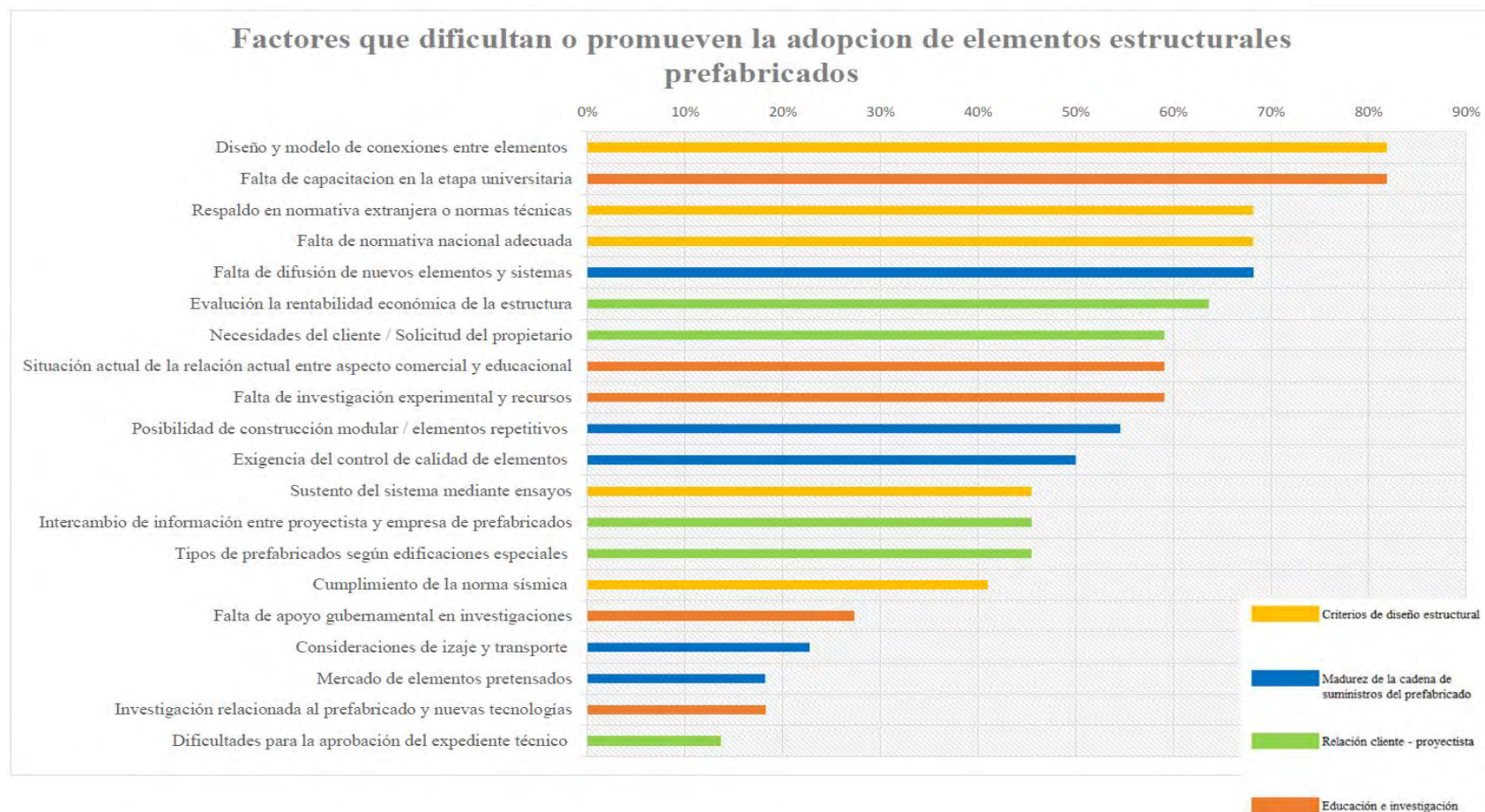


Gráfico 7: Factores que dificultan o promueven la adopción de elementos prefabricados ordenados por las variables de mayor influencia.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados resumidos en el gráfico permiten determinar las variables con mayor incidencia para ing. estructurales; siendo las consideraciones de diseño estructural y la educación e investigación los parámetros más destacados. Dentro de ellos, el diseño de conexiones y la falta de capacitación durante la etapa universitaria son las variables que encabezan los resultados. Además, se resalta que las variables obtenidas no son independientes en su totalidad, el análisis y la discusión de estos resultados, permitirá establecer las conexiones entre los factores estudiados.



CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo abordará la discusión de los resultados obtenidos a lo largo de la investigación. En primer lugar, se desarrollará la explicación de cada variable influyente, así como su comparación frente a la literatura actual. Posterior a ello, se discutirá las conexiones entre las variables para explicar la relación que tienen entre las mismas. La tabla 11 a continuación muestra la codificación asignada a cada variable para su rápida identificación.

Tabla 11: Codificación de las variables dentro de cada factor de la investigación. (Fuente: Elaboración propia).

CRITERIOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL	
CD1	Cumplimiento de la norma sísmica
CD2	Sustento del sistema mediante ensayos
CD3	Respaldo en normativa extranjera o normas técnicas
CD4	Falta de normativa nacional adecuada
CD5	Diseño y modelo de conexiones entre elementos
MADUREZ DE LA CADENA DE SUMINISTROS DEL PREFABRICADO	
MP1	Mercado de elementos pretensados
MP2	Consideraciones de izaje y transporte
MP3	Exigencia del control de calidad de elementos
MP4	Posibilidad de construcción modular / elementos repetitivos
MP5	Falta de difusión de nuevos elementos y sistemas
RELACION CLIENTE-PROYECTISTA	
RC1	Dificultades para la aprobación del expediente técnico
RC2	Intercambio de información entre proyectista y empresa de prefabricados
RC3	Tipos de prefabricados según edificaciones especiales
RC4	Necesidades del cliente / Solicitud del propietario
RC5	Evaluación de la rentabilidad económica de la estructura

EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN	
EI1	Investigación relacionada al prefabricado y nuevas tecnologías
EI2	Falta de apoyo gubernamental en investigaciones
EI3	Situación actual de la relación entre aspecto comercial y educacional
EI4	Falta de investigación experimental y recursos
EI5	Falta de capacitación en la etapa universitaria

Con la finalidad de generar un contraste con la literatura revisada, se comparará los resultados de las investigaciones referentes a la adopción del concreto prefabricado con lo obtenido en esta investigación. En primer lugar, el estudio de Torres (2022), formula un modelo de adopción de elementos prefabricados basándose la experiencia de distintos profesionales del sector construcción, incluidos los ing. estructurales, para determinar los factores que repercuten en la problemática. Es posible identificar aquellos factores que corresponden directamente a los ingenieros estructurales basándose en los resultados de este estudio, donde predominan la falta de educación en universidades, mitos y paradigmas sobre el comportamiento sismorresistente, y las problemáticas respecto al transporte de prefabricados. Si bien la investigación de Torres (2022) abarca mayores aspectos sobre la adopción del prefabricado, estas se enfocan principalmente sector constructivo, a favor o en contra de estos elementos, por lo que se resalta la falta de difusión, la falta de apoyo gubernamental, falta de oferta y demanda, y la falta de normativa peruana como principales similitudes con la presente investigación.

De manera similar, el estudio titulado “Modelo de aceptación de elementos estructurales prefabricados en la industria de la construcción” (Sierra, 2022), tiene el objetivo de medir cuantitativamente cuales son los factores que influyen en los tomadores de decisiones al adoptar elementos estructurales de concreto prefabricado. Este estudio resalta aspectos comerciales y de

gerencia respecto al uso y comercialización de elementos prefabricados, destacando factores como la presión competitiva entre empresas de prefabricados o entre proyectos, la presión del cliente, y el soporte de las empresas dedicadas al prefabricado. Nuevamente se destaca el factor de la educación como una dificultad que impide el uso de elementos prefabricados, junto con el “entrenamiento”; a pesar de ello, el autor menciona que el prefabricado puede implementarse correctamente, inclusive sin haber recibido una capacitación adecuada. En este caso, los entrevistados concuerdan que las necesidades o la presión del cliente es una variable importante ante la toma de decisión de usar o no elementos prefabricados, así como la falta de capacitación; sin embargo, en contraste con lo que menciona Sierra (2022), la capacitación y entrenamiento es distinta si se habla de construir con prefabricados en comparación con el diseño estructural con prefabricado, añadiendo mayor complejidad en este último.

Chourasia et al. (2022), enfocan su estudio *“Prefabricated Volumetric Modular Construction: A Review on Current Systems, Challenges, and Future Prospects”* en diversos tipos de estructuras modulares, incluyendo las que están hechas de concreto prefabricado. Los autores resaltan la etapa en la que se encuentra la investigación de las conexiones en estructuras modulares de concreto, y la compara con las construcciones en acero, siendo este último ampliamente evaluado y discutido entre investigadores. Además, concluye que la aceptación de la construcción modular en la industria es limitada, debido a la falta de comprensión en las conexiones entre elementos prefabricados, la falta de pautas de diseño, falta de investigaciones experimentales, y restricciones en el transporte de estos elementos. En la presente investigación se pudo determinar que, desde la perspectiva de ingeniero estructurales, estas limitaciones concluidas por Chourasia et al. (2022) se

encuentras presentes al tratar de adoptar elementos estructurales de concreto prefabricado en el Perú.

Por último, se destaca la “Propuesta normativa peruana para los sistemas estructurales sismorresistentes de concretos prefabricados en edificaciones” (Casaño & Mavila, 2022). Esta investigación surge ante la necesidad de pautas de diseño y complementos a la norma actual acerca de elementos de concreto prefabricado. Los autores resaltan la importancia de clasificar los sistemas estructurales y definir el tipo de conexiones entre elementos, debido a que cumplirán el rol más importante en el comportamiento de una estructura con concreto prefabricado. Estas consideraciones concuerdan con la variable más relevante obtenida en la presente investigación, puesto que los ingenieros estructurales entrevistados prestan especial atención en las conexiones y en las normativas existentes que les hacen referencia.

7.1 Variables influyentes en la adopción del concreto prefabricado

Durante el desarrollo de la investigación se permite identificar 4 grandes factores que influyen en la adopción del concreto prefabricado según la literatura y los ingenieros estructurales entrevistados, dando como resultado que dentro de estos factores se encuentren distintas variables que van a influir en el ing. estructural al momento de la toma de decisión de utilizar prefabricados. Es por ello que se procederá a explicar cada una de las variables encontradas y las repercusiones que tendrán según los expertos entrevistados.

7.1.1 Factor: Criterios de diseño estructural

La entrada de nuevos sistemas prefabricados al Perú trae consigo diversas implicancias que los estructurales tendrán en consideración al momento de diseñar con elementos prefabricados. Es así que las variables influyentes para ellos son las siguientes:

- CD1: Cumplimiento de la norma sísmica

El cumplimiento de la norma sísmica es una variable a considerar debido a la confiabilidad de un sistema a implementar. Es una regla general que cualquier estructura debe cumplir con la normativa sísmica, puesto que representa condiciones estudiadas del suelo peruano, aspectos sísmicos locales, entre otros factores. En el caso de elementos prefabricados, existe mayor incertidumbre cuando se analiza estructuras hechas en su totalidad con prefabricados, siendo que se requieren mayores estudios para poder establecer que su comportamiento sea el adecuado ante sismos, así como sus sistemas de falla. Los estructurales consideran también que no debe esperarse a un sismo de gran magnitud para estudiar las fallas en estructuras con concreto prefabricada. La incidencia de esta variable es poca a comparación de las siguientes, es debido a que el resto de entrevistados considera que el análisis sísmico es fundamental e intrínseco para cualquier estructura y sistema a implementar.

- CD2: Sustento del sistema mediante ensayos

Al tratar con elementos poco difundidos, los estructurales requieren validez para permitir su implementación en las edificaciones; es así que el 45% de los entrevistados considera que, si los elementos o el sistema a implementar cuentan con los ensayos correspondientes, se brinda mayor confiabilidad al prefabricado. En muchas ocasiones, la intención de promocionar o difundir al prefabricado va de la mano con el debido sustento técnico y teórico a presentarse a las distintas entidades responsables de su aprobación. El sustento mediante ensayos no solo es

un proceso exigido para la aprobación de un sistema prefabricado, también brinda nuevas consideraciones referentes al comportamiento de la estructura, o si un modelo computacional desarrollado para el análisis responde al comportamiento obtenido en los ensayos. La industria del concreto prefabricado presenta una barrera frente a esta variable, pues para permitirse ensayos precisos requiere de maquinaria más especializada para la investigación, la cual no se cuenta en el Perú.

Asimismo, no es la única barrera, los entrevistados que pertenecen a alguna de las empresas de prefabricados en el Perú sostienen que, a pesar de compartir la información de ensayos, brindar la ingeniería y asesoramiento necesario, no siempre termina en casos de éxito, puesto que los proyectistas-estructurales tienden a evitar las complicaciones utilizando un diseño tradicional.

- o CD3: Respaldo en normativa extranjera o normas técnicas

Los elementos prefabricados se continúan desarrollando en distintas partes del mundo, continúan las investigaciones y esfuerzos para que las nuevas tecnologías sean adoptadas por el sector construcción con todos los beneficios que implican. Es habitual que, en algunos países, los elementos prefabricados se implementan con menor medida. Sin embargo, se cuenta con el respaldo de normas extranjeras donde el prefabricado y sus criterios constructivos se han implementado correctamente. El 68% de entrevistados considera que este respaldo es importante, pero son pocas las normativas extranjeras tomadas en cuenta, como en la *ACI 318 (American Concrete Institute)* usada como normativa de respaldo para algunos sistemas prefabricados y sus consideraciones constructivas. Asimismo, los lineamientos y consideraciones de diseño tienden a ser respaldadas, en muchas ocasiones, por normativas extranjeras como el *PCI Design Handbook (Precast and Prestressed Concrete)*, guía mencionada por algunos entrevistados.

Si bien fue consultado si los estructurales recurrieron a alguna de las normativas extranjeras aplicables a sistemas prefabricados, o que haya servido de apoyo para una estructura donde se iban a implementar elementos prefabricados, las principales normas o guías fueron las anteriormente mencionadas, ACI318 y PCI. Sin embargo, en la literatura se encontró que, en algunos países no muy alejados al contexto peruano, fueron utilizadas normas como la *NZS 3101 (Standards New Zealand 2006)* para consideraciones y requisitos mínimos de diseño con prefabricados. Del mismo modo, se detallan algunas de las normas utilizadas en Chile y Colombia detalladas en la Tabla 4, que sirven de para establecer criterios de diseño y construcción con elementos prefabricados, y sirve de comparativo para comprender la situación actual en el que se encuentra la industria peruana de prefabricados frente a países vecinos.

- CD4: Falta de normativa nacional adecuada

La segunda variable con mayor influencia al momento de adoptar prefabricados es la falta de una normativa nacional adecuada que implemente mayores criterios de uso y diseño de estos elementos. Los acápites de la norma en los que menciona al diseño estructural con prefabricados de concreto se ubican en los requerimientos de la norma E060 para el diseño de pórticos, los cuales no cubren sistemas ubicados en zonas de alto riesgo sísmico, teniendo que presentar los estudios correspondientes al Servicio Nacional de Capacitación para la industria de la construcción, a SENCICO, y luego ser aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2009). Según los expertos, la norma no considera criterios de implementación para sistemas que ya se han empleado por varios años en las construcciones peruanas; estos son conocidos precisamente por su tiempo en el sector, y no generan complicación en su aprobación, pero al no encontrarse

debidamente normado, los ingenieros estructurales tienen que preparar los documentos necesarios a presentarse a SENCICO o a las entidades correspondientes.

- o CD5: Diseño y modelo de conexiones entre elementos

La variable con mayor participación para los ingenieros estructurales se encuentra en el diseño y modelo de conexiones entre elementos. El 82% de los entrevistados considera que lo que definirá el comportamiento estructural y sísmico de la edificación es la conexión entre elementos; esto es debido a que es posible que el sistema simule un comportamiento monolítico, similar a una estructura vaciada in situ. Cabe resaltar que durante las entrevistas fueron mencionados principalmente los sistemas emulativos, similares en cuanto a diseño y comportamiento a lo tradicional; fueron pocos los entrevistados que comentaron acerca de sistemas no emulativos, principalmente aquellos que pertenecen o han pertenecido a una empresa dedicada a prefabricados, o se dediquen a la investigación de ello. Los sistemas no emulativos desarrollan elementos prefabricados con conexiones que no transmiten momentos, y son usados principalmente en estructuras como almacenes, ampliaciones, centros comerciales.

A pesar de existir sistemas emulativos y no emulativos, la conexión monolítica es la de mayor influencia en los estructurales peruanos, siendo que se tiende a desarrollar un modelo con grandes similitudes a una estructura tradicional. Por ejemplo, elementos como las Previgas, desarrollan cierto porcentaje de concreto vaciado in situ que, con el sustento y ensayos adecuados, se demuestra que puede comportarse de manera similar a una viga convencional. Mayores estudios en este aspecto permitirían que el ing. estructural obtenga conocimientos más precisos en cuanto a qué consideraciones tomar para el modelo analítico, para que sea él mismo el que desarrolle este aspecto y no una tercera persona o empresa. Es así que el tipo de conexión

definirá el comportamiento, y es de suma importancia considerar este aspecto desde la etapa de planificación, diseño y estructuración, puesto que se evitarán modificaciones una vez prefabricados los elementos.

7.1.2 Factor: Mercado actual y proveedores

La importancia del intercambio de información entre el mercado de elementos prefabricados y los ingenieros estructurales es uno de los factores que permite el crecimiento de la industria, y tiene la misma importancia que el intercambio entre estas empresas y el resto de profesionales implicados en la construcción. Es así que las variables con mayor influencia en este factor son las siguientes:

- MP1: Mercado de elementos pretensados:

Con menor incidencia, la posibilidad de usar elementos pre esforzados es una variable que, según los expertos, influye en la búsqueda de alternativas. La industria de los elementos pre esforzados ya se encuentra establecida, principalmente en losas y viguetas, influyendo en que esta variable sea la de menor porcentaje en este factor. Dentro de los beneficios del elemento prefabricado es que te permite ahorros en tiempo o recursos, y tiene presente la posibilidad de trabajar con pre o post tensado, mas no es una posibilidad muy difundida en elementos como vigas. Según los entrevistados, se comenta que utilizar pre esforzado en columnas prefabricadas, repercute en fallas frágiles del elemento; en vigas prefabricadas su uso es poco debido a que influye en las dimensiones del elemento, refuerzos, o porcentajes de vaciado in situ para el sistema a de previgas, entre otras razones pocas estudiadas. No se indaga más en pre esfuerzo en vigas y columnas porque la percepción actual es que el sistema funciona adecuadamente en las edificaciones sin la necesidad de esta característica y por el modelo de negocio que tienen las empresas.

- MP2: Consideraciones de izaje y transporte

El 23% de entrevistados toma en consideración la industria del transporte e izaje, como lo son las torres grúas, maquinaria pesada, camiones de transporte, entre otros. Por parte de las empresas productoras y distribuidoras de prefabricados, se toma en cuenta las cargas para el transporte, capacidades máximas y el cómo apilar los elementos; además, realizan asesoramiento acerca de las grúas que utiliza una obra, así como las recomendaciones necesarias para los elementos que distribuyen. En el caso de las previgas o prelosas, que son 2 de los elementos que tienen tamaños considerables, se recomienda que el proyecto cuente con grúas con la capacidad de trabajar a disposición de la obra y los requerimientos mínimos para trasladar los elementos a cualquier parte de la edificación. Esto es debido a que un caso crítico es cuando la grúa existente tiene la capacidad de llevar los elementos de la edificación, mas no puede trasladar algunos de ellos por sus dimensiones o por los límites del proyecto, caso comentado por algunos estructurales, donde descartarían la posibilidad de utilizar prefabricados.

- MP3: Exigencia del control de calidad de elementos

La exigencia del control de calidad es un requisito mínimo que se le solicita a cualquiera empresa, no solamente de prefabricados. En este caso, debido a las propiedades del concreto, trabajar bajo estándares de calidad repercute en el comportamiento de los elementos a prefabricar. Los entrevistados esperan no tener inconvenientes en cuanto al control que se realice del acero utilizado, cangrejeras, u otro problema que suele ocurrir con elementos vaciados in situ; se espera que los elementos obtengan mayor resistencia y durabilidad debido a las condiciones controladas en las que se fabrica.

Si bien sólo el 50% hizo mención a esta variable como influyente para difundir estos elementos, el grupo restante considera que el control de calidad está implícito. Como se mencionó, es el requisito mínimo que se espera por parte de las empresas de elementos prefabricados, por lo que se tiende a exigir controles y certificados de calidad como parte de las fichas técnicas al momento de implementar cualquier elemento prefabricado.

- MP4: Posibilidad de construcción modular / elementos repetitivos

Una consideración para implementar prefabricados en edificaciones es la posibilidad de contar con elementos repetitivos que faciliten su proceso de producción y abastecimiento. Dentro de la industria en Perú, las plantas de producción de elementos prefabricados de concreto son limitadas, y en el caso de que los elementos sean variables en cuanto a longitud, dimensiones, cuantías, el abastecimiento de los pocos proveedores para distribuir los elementos a distintos proyectos se verá limitado. Este concepto es compartido por el 55% de los entrevistados, los cuales comentan que la razón por la que las viguetas prefabricadas se hayan adecuado de manera correcta al mercado es por su proceso de fabricación. Esto debido a que las viguetas se fabrican con dimensiones con mucha similitud entre sí y su proceso permite fabricarlas en gran cantidad, y dependiendo de la longitud y la carga. Sin embargo, el caso es distinto para vigas prefabricadas, como el sistema previga, dependiendo de la arquitectura de la edificación, se tiene una alta probabilidad de encontrar diversas dimensiones y contenidos de acero dentro del elemento.

- MP5: Falta de difusión de nuevos elementos y sistemas

Según el 68% de los expertos entrevistados, la variable de mayor influencia dentro del mercado y la industria del prefabricado es que existe una falta de difusión acerca de los elementos estructurales prefabricados existentes en el mercado peruano y cómo se puede implementar

satisfactoriamente en un proyecto. Por un lado, los principales promotores de la difusión de sistemas prefabricados son los proveedores existentes, tanto para los proyectos en construcción, los proyectos en etapa de planificación y en las universidades. Sin embargo, la baja cantidad de proveedores dificulta la llegada de la información a un gran porcentaje de proyectos y personas, viéndose afectado también por otros factores como la falta de industria en provincia. Son pocos los conocedores de sistemas de vigas prefabricadas, siendo entre 3 a 4 empresas que lo desarrollan, lo cual limita las capacidades de negociación, intercambio de información y búsqueda de soluciones. Por otro lado, los expertos pertenecientes a una empresa de prefabricados mencionan que es posible brindar y difundir la información de ensayos, elementos o sistemas novedosos, beneficios constructivos o estructurales, análisis de costos; sin embargo, la tasa de éxito de implementación es moderadamente baja, principalmente cuando se trata con elementos estructurales de pórticos.

7.1.3 Factor: Relación entre el cliente y el proyectista

Como el principal responsable ante la toma de decisiones, el propietario se mantiene en constante coordinación con los expertos contratados para cada área de la construcción; es así que la relación entre el cliente y el ing. estructural parte desde la etapa de planificación, donde el diseño estructural tienen mayor relevancia. Es así que surge la cuestión de qué tan beneficioso es trabajar con prefabricados para el ing. estructural, puesto que algunos entrevistados resaltan que no se recibe beneficio si lo implementan o no en el diseño o análisis.

- RC1: Dificultades para la aprobación del expediente técnico

Actualmente en el Perú, los sistemas prefabricados tienen que ser aprobados por un conjunto de entidades, como el Ministerio de Vivienda o SENCICO, y para ello es necesario el debido

sustento técnico y teórico. Desde normas extranjeras, ensayos, expedientes técnicos, memorias de cálculo, se forma un conjunto de documentos de respaldo ante la implementación del prefabricado. El 14% de entrevistados considera esto una limitante para difundir el prefabricado, incluso antes de que el proyecto sea presentado a la Municipalidad correspondiente para su aprobación. Se comenta que algunos municipios muestran flexibilidad en cuanto al sustento presentado y su proceso de aprobación; sin embargo, en los inicios de cualquier sistema se han evidenciado complicaciones para el proceso de aprobación municipal y revisión del expediente técnico.

o RC2: Intercambio de información entre proyectista y empresa de prefabricados

Al tratarse de la adopción del concreto prefabricado, se necesita un trabajo en conjunto entre el proyectista, propietario y las empresas de prefabricado. Los entrevistados pertenecientes a empresas de prefabricados mencionan que para sistemas como previgas, u otros elementos similares, se tiende a mantener coordinaciones para asesorar y presentar los sustentos necesarios que requiera el ingeniero estructural. En muchas ocasiones, cuando es una empresa dedicada al prefabricado la que se encarga de los apartados técnicos, el ingeniero estructural responsable toma el rol de revisor, supervisor y el que aprueba los cambios. Para implementar debidamente elementos prefabricados, no solo será un trato comercial de productos, se busca que el ingeniero estructural obtenga beneficio del intercambio de información entre empresas. Esta variable influye en aquellos ingenieros que dan el paso a implementar nuevos sistemas, donde aparecerán las primeras relaciones con la empresa distribuidora. En caso el ingeniero se mantenga en lo tradicional, no podrá aprovechar el beneficio de las empresas que difunden información novedosa local y extranjera a fin de promover los elementos prefabricados, siendo que ellos también se benefician de aumentar el conocimiento de los participantes.

- RC3: Tipos de prefabricados según edificaciones especiales

El 45 % de entrevistados resalta que existe una variable acerca de ciertos tipos de edificaciones donde el prefabricado se encuentra correctamente implementado y surge como primera opción incluso desde la etapa de diseño. Tal es el caso de los sistemas de techos, principalmente viguetas pretensadas, y es que resulta poco habitual partir con el concepto tradicional para losas. En otras palabras, los ingenieros estructurales tendrían que reconocer una situación muy especial para considerar una losa aligerada tradicional hoy en día, como, por ejemplo, que el lugar de construcción no cuente con proveedor disponible o no exista una ruta de transporte adecuada para los elementos prefabricados. Otro ejemplo de esta situación es el uso de elementos prefabricados para almacenes industriales; este tipo de estructura aprovecha al prefabricado puesto que se permite que se diseñe como vigas simplemente apoyadas y columnas trabajando en voladizo, siendo esto altamente aprovechado por los ingenieros estructurales al no generar complicaciones en el análisis.

- RC4: Necesidades del cliente / Solicitud del propietario

La decisión final de utilizar o no elementos prefabricados, cualquiera de los que cuenta el mercado peruano, recae en el propietario de la edificación, el cual realizará internamente los respectivos análisis y comparaciones. Si bien hay profesionales que intervienen, el 59% de los estructurales entrevistados mencionan que la tendencia de los estructurales es a no presentar una iniciativa propia de proponer un sistema, o cuentan con una política empresarial que no se los permite. En el caso que el propietario solicite prefabricados en losas, este no genera mayor complicación que utilizar las tablas de momentos y anchos tributarios para que el estructural modele losas aligeradas y realice el diseño correctamente; sin embargo, que el propietario solicite sistemas de vigas prefabricadas, o un sistema integral, el desarrollo parte de una

empresa dedicada a estos prefabricados, desarrollando la parte técnica. Algunos de los entrevistados pertenecientes a estas empresas consideran la importancia de no intervenir en los roles del estructural responsable, puesto que la estructuración y modelo provienen de él.

- RC5: Evaluación de la rentabilidad económica de la estructura

Desde la perspectiva del ingeniero estructural, la principal razón para optar por elementos prefabricados es brindarle rentabilidad económica a la estructura, y por ende al cliente. Los entrevistados conocedores del tema, e interesados en la difusión de elementos prefabricados, tienden a hacer la mención de los beneficios del prefabricado en las etapas de anteproyecto. Según el 64% de entrevistados, evaluar la rentabilidad económica de la estructura que adopta prefabricado es la variable de mayor influencia y de mayor discusión cuanto se realizan las coordinaciones entre el ingeniero estructural, los profesionales implicados y el propietario. Dentro del nivel de implementación del prefabricado en el que se encuentra el Perú, principalmente en losas aligeradas, el estructural conoce que los sistemas actuales tienden a una mayor inversión, y repercuten en reducción de plazos y gestión de recursos, para el área de estructuras, se tiende a una estructura de menor peso. Todas estas consideraciones entran en debate y aumenta la posibilidad de que el proyecto opte por elementos prefabricados de concreto.

7.1.4 Factor: Educación e investigación

Durante el desarrollo de las entrevistas fue posible debatir los niveles de investigación respecto al prefabricado y la capacitación de estos sistemas desde la etapa universitaria. Desde la perspectiva de la mayoría de ingenieros estructurales entrevistados, la realidad de la educación

e investigación de elementos estructurales prefabricados es considerablemente baja en comparación con el desarrollo de esta industria en el exterior.

- EI1: Investigación relacionada al prefabricado y nuevas tecnologías

Existe la posibilidad de estudiar el comportamiento del prefabricado en una estructura que implemente nuevas tecnologías para un mejor desempeño. El 18% de los entrevistados mencionaron que existe casi nula investigación acerca de elementos prefabricados en conjunto con sistemas de aisladores y disipadores sísmicos, investigaciones que si se realizan en países con sismicidad alta y sería un impulso para implementar el prefabricado en edificaciones de gran magnitud. Del mismo modo, poca es la investigación de sistemas no emulativos, aquellos sistemas que se alejan del comportamiento monolítico y utilizan conectores entre sus elementos, y tampoco se mencionan planes a futuro para difundir este tipo de prefabricados y sus conexiones.

- EI2: Falta de apoyo gubernamental en investigaciones

Una de las variables de mayor crítica a pesar de su incidencia es la falta de apoyo gubernamental para las investigaciones, siendo que el esfuerzo por investigar prefabricados proviene de entidades privadas en su mayoría. El 27% comenta que no hay iniciativa por parte del estado, complicando aspectos como el económico, que no se agilicen las normas o que no se promueva la industrialización de la construcción. Desde la perspectiva del ingeniero estructural, no hay iniciativa del Estado con la comunidad de investigadores e ingenieros, siendo que alguna de las construcciones del gobierno se ha visto desarrolladas con elementos prefabricados de manera exitosa; por ejemplo, la Línea 1 del metro, diversas construcciones para los Juegos Panamericanos 2019, el centro de convenciones de Lima, en mayor o menor medida, de mayor

o menor complejidad, los elementos prefabricados son utilizados en las construcciones públicas.

o EI3: Situación actual de la relación entre aspecto comercial y educacional

La situación entre lo comercial, el mercado de prefabricados, y las universidades se encuentra frente a una brecha; según algunos entrevistados, se consulta quien o quienes son los principales interesados en la investigación. Los beneficios de investigar y los resultados influyen a la comunidad investigativa y a la industria del prefabricado, puesto que promueven a las empresas y a los estudiantes en interesarse más por estos sistemas. Sin embargo, el avance en la investigación no presenta un impacto considerable en la adopción del prefabricado, debido a que las empresas de prefabricados son las únicas que mantienen el esfuerzo de transmitir sus conocimientos a las universidades, planteando charlas, talleres, propuestas de cursos o planes de estudios donde se implemente el prefabricado. Este esfuerzo por compartir conocimientos de cómo trabajar con prefabricados para los estudiantes se encuentra en desarrollo y proyectándose a años posteriores, pero estará presente la dificultad de que, al ser pocas empresas empeñadas en ello, se ralentice el proceso para llegar a toda la comunidad universitaria.

o EI4: Falta de investigación experimental y recursos

Esta variable cuenta con un 59% de incidencia entre los entrevistados, la falta de investigación experimental y los recursos para la misma tiene un impacto negativo entre los estructurales. Actualmente, el Perú cuenta con los recursos para hacer análisis bidimensionales respecto a ensayos experimentales de estructuras a escala, no se cuenta con los recursos necesarios para el análisis de una estructura tridimensional, o la escala utilizada suele ser inadecuada para evidenciar correctamente el comportamiento. Las empresas de prefabricados peruanas cuentan

con respaldo de ensayos experimentales para los elementos que ellos mismos distribuyen; sin embargo, se requiere una inversión alta para ensayar elementos en el extranjero, por ser más precisos, y es una inversión con la que no suelen contar los investigadores.

- o EI5: Falta de capacitación en la etapa universitaria

La variable de mayor influencia para los estructurales es la falta de capacitación durante la etapa universitaria respecto a elementos prefabricados; el 82% considera que algunas consideraciones de los elementos prefabricado de concreto sean impartidas en estudiantes, principalmente en lo que respecta a los elementos de mayor comercialización en el mercado peruano. La ausencia de estos conocimientos genera que el profesional comience en el mercado laboral con pocas nociones acerca de la correcta implementación de elementos prefabricados y tienden a desaprovechar sus beneficios. Los entrevistados también consideran que presentarles información durante la malla curricular abre la posibilidad de mejorar los niveles de investigación desde tesis de pregrado, ya que se puede ver aumentado un nivel de intereses referente a estos sistemas. Sin embargo, un pequeño grupo de entrevistados considera que la universidad no debe pretender especializar al estudiante en alguno de los rubros de la ingeniería civil. Es sabido que las universidades son la etapa de formación del profesional antes de poder especializarse en un rubro en específico, mas puede considerarse un apoyo si se busca promover sistemas novedosos que se desarrollan y funcionan correctamente en el exterior brindando grandes beneficios, e inclusive desarrollando propuestas innovadoras para la industria.

7.2 Correlación entre los factores estudiados

Adoptar elementos prefabricados de concreto en las edificaciones peruanas es un proceso que muestra índices de éxito cada vez más recurrentes en los proyectos, son varios años trabajando con

el sistema de viguetas prefabricadas logrando que se implementen correctamente y las investigaciones de otros elementos estructurales demuestran los impactos positivos que brindan a la construcción. Las necesidades de los ingenieros estructurales son diferentes de las necesidades de constructores, arquitectos, propietarios, entre otros profesionales implicados, y las dificultades para adoptar elementos prefabricados dentro de su área de trabajo depende de diversos factores y variables en cada etapa de sus labores. A lo largo de la investigación se han identificado las variables que repercuten directamente en el proceso de toma de decisiones del ing. estructural respecto al uso de prefabricados, siendo que estas variables mantienen relación entre las mismas. Como principal factor, y de mayor relevancia, se tiene a las consideraciones estructurales a tener en cuenta respecto al diseño con elementos prefabricados de concreto; cuando se modela una estructura mediante programas digitales, se inicia con el concepto de la unión monolítica entre elementos, donde el comportamiento y modelo no se alejan del comportamiento estructural de una edificación tradicional. Es posible verificar este comportamiento en caso de tener incertidumbre, donde se tiene como principal eje de estudio a la conexión entre elementos; por un lado, se tienen los ensayos que las empresas de prefabricados realizan en el Perú o en el exterior, donde se tenga la posibilidad de utilizar maquinaria especializada para el ensayo experimental. Por otro lado, en el exterior, ciertos elementos y sistemas ya se encuentran debidamente normados y diversas de estas normativas permiten complementar la norma peruana, la cual presenta una falta de detalle y precisión para los sistemas con elementos prefabricados, inclusive aquellos que se utilizan desde hace varios años en el Perú. Si bien por la falta de difusión de estos ensayos y el comportamiento real de la estructura, los expertos sugieren respetar la norma sísmica, con el fin de reducir los esfuerzos generados por el sismo y que afectarán a la estructura, partiendo desde un pre proyecto con consideraciones en cuanto a irregularidades y estructuración. Una vez definido el sistema y la

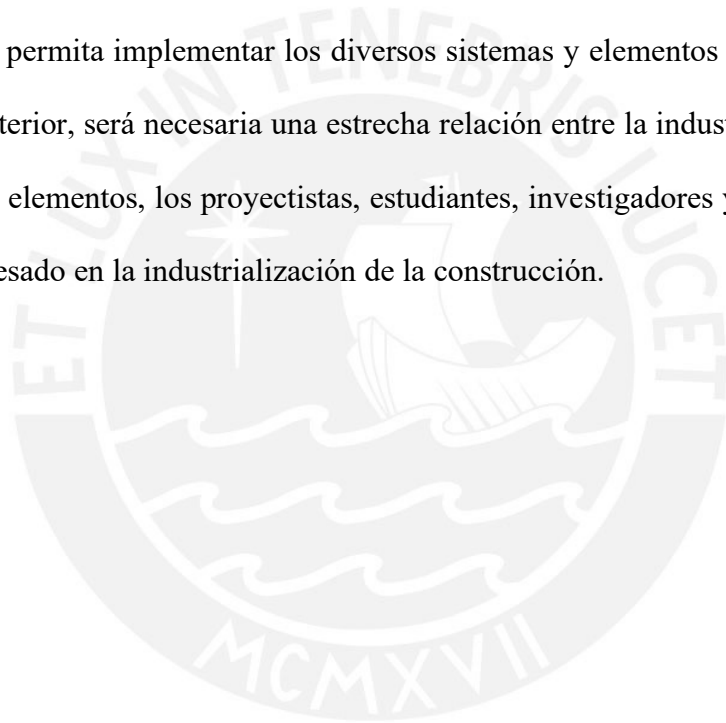
cantidad de elementos prefabricados a utilizar, considerado por la norma como un sistema no convencional, se procede a las aprobaciones de expedientes técnicos, memorias de cálculo, y documentos de sustento, en las distintas entidades responsables de ello, como el Instituto Nacional de Calidad, el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y las respectivas aprobaciones por la Municipalidad correspondiente. Los ingenieros estructurales responsables de estos sustentos tienden a provenir, por un lado, de la propia empresa de prefabricados, encargada de sustentar sus elementos con el fin de poder comercializarlos; por otro lado, de la empresa constructora o proyectistas con el fin de la aprobación del proyecto y posterior construcción, previas coordinaciones con el ing. estructural responsable del diseño y planos.

El ingeniero estructural no solo se encontrará con el propio diseño y modelado estructural, hay una serie de consideraciones que surgen durante todo el proceso de su trabajo. La decisión de utilizar o no prefabricados parte, principalmente, por el propietario del proyecto, el cual ha realizado los análisis correspondientes en cuanto a rentabilidad, beneficios, consideraciones estructurales y constructivas que repercuten en el presupuesto. La coordinación entre estructural y propietario sirve como guía para la correcta implementación de elementos prefabricados, y es de igual importancia que las coordinaciones con el constructor. El ingeniero estructural tiene que considerar el tipo de edificación que se está diseñando y si existen elementos prefabricados conocidos en el mercado que generen beneficios al proyecto, como el uso de viguetas pretensadas o prelosas en losas aligeradas de viviendas. También tiene que considerar la posibilidad de diseñar elementos repetitivos en cuanto a dimensiones para agilizar los procesos de producción del prefabricado, evitando sobrecostos al propietario ante una variedad de elementos; y considerar factores como el izaje y transporte con los que contará el proyecto, como torres grúa que permitan llevar al elemento

prefabricado hasta la zona más crítica donde se le requiere. Estas son algunas de las consideraciones para implementar prefabricados en las que el ingeniero estructural es altamente participativo para la toma de decisión; sin embargo, la falta de difusión de nuevos sistemas, de intercambio de información, y de capacitación, son variables que impiden la correcta adopción de estos elementos.

La situación es más compleja y complicada cuando se tiene la intención de adoptar sistemas novedosos de la industria de elementos prefabricados, donde el ingeniero estructural responsable obtiene el rol de revisor/supervisor. Depende de las empresas de prefabricados compartir la información del sistema a utilizar, no sólo como parte de un contrato, si no con el fin de promover a que ese sistema se continúe utilizando en próximos proyectos. Dada la poca cantidad de proveedores de sistemas prefabricados novedosos, este intercambio de información se encuentra limitado y, a veces, restringido por la privacidad de los procesos y líneas de producción frente a una posible competencia en la industria. Es por ello que otras comunidades de apoyo para el intercambio de información son la comunidad investigativa y estudiantil, las cuales compartirán los resultados de distintos ensayos estructurales a fin de promover la investigación de estos elementos. Durante la etapa universitaria será necesarias implementaciones de conceptos que han sido funcionales durante la implementación del prefabricado, así como sus principales beneficios y dificultades; además, es posible establecer algunas consideraciones constructivas y de diseño en los estudiantes sin la necesidad de una especialización del tema, puesto que la formación podrá verse complementada si continúan los esfuerzos en promover los elementos prefabricados de concreto. Actualmente existe una latente falta de capacitación, no solo de ing. estructurales, siendo que, los principales interesados en promover estos sistemas sean los que obtengan gran responsabilidad en cambiar esta situación. Algunos expertos opinan que las empresas de

prefabricados se mantienen desligadas de las universidades, mientras que aquellos pertenecientes a dichas empresas mencionan lo contrario; es un esfuerzo constante con proyecciones a futuro para aumentar el interés en estos sistemas. A pesar de ello, también existe una limitante en el área de investigación, puesto que la falta de herramientas necesarias para los ensayos, el poco apoyo gubernamental y la falta de investigación especializada en prefabricados, genera que los niveles de investigación en prefabricados sean bajos y contenga una serie de dificultades que el investigador no puede manejar por factores externos. Con el fin de sentar las bases a una normativa adecuada, que se le permita implementar los diversos sistemas y elementos prefabricados que se desarrollan en el exterior, será necesaria una estrecha relación entre la industria del prefabricado, el mercado de estos elementos, los proyectistas, estudiantes, investigadores y el Estado, como un solo promotor interesado en la industrialización de la construcción.



CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para finalizar con la investigación, tras investigar el conjunto de factores que repercuten en los ingenieros estructurales, así como las variables que influyen en la toma de decisiones al utilizar o no prefabricados, se presentan las siguientes conclusiones del estudio y recomendaciones para promover los elementos prefabricados, y sus futuras investigaciones.

8.1 Conclusiones relacionadas con los objetivos

En todas las etapas de la construcción, el proceso de adopción de elementos prefabricados se maneja con cautela debido a la ausencia de mercado, normativa y capacitación de sistemas prefabricados novedosos, más aún al tratar con elementos con responsabilidad ante eventos sísmicos. Por ende, identificar las barreras en cada etapa, y las necesidades de cada profesional, permite plantear iniciativas de acción con la finalidad de aprovechar los beneficios del concreto prefabricado y la industrialización de la construcción.

Tras el desarrollo, análisis y discusión de la investigación, los ingenieros estructurales muestran énfasis en las variables estructurales de diseño, revisión y sustento como parte de su entorno laboral, hayan implementado o no elementos prefabricados. Dentro de ello, la importancia del conocimiento acerca de las conexiones entre elementos surge como la variable de mayor interés e influencia ante la oportunidad de utilizar elementos prefabricados viéndose representada por el 82% de entrevistados. Por ende, fomentar la investigación y el planteamiento de propuestas de normativas y experimentación brindaran un impulso considerable a la industria de la construcción con elemento prefabricados de concreto.

En cuanto al análisis de las percepciones de profesionales implicados en la etapa de diseño estructural, la resistencia al cambio de lo tradicional continúa siendo una limitante que se apacigua con el desarrollo de la industria de prefabricados. Esto se ve representado por variables como la falta de normativa, falta de difusión, el intercambio de información de empresas de prefabricados, las necesidades del cliente en caso sea uno tradicional, la falta de apoyo gubernamental y recursos para la investigación, entre otros. El esfuerzo para el cambio a la industrialización tiene gran dependencia de las empresas dedicadas a ello, y pone en evidencia a quienes se les considera los principales impulsores del prefabricado, inclusive desde el área de estructuras.

Sin embargo, y a pesar de los esfuerzos de distintos interesados, existe una brecha latente en aquellos ingenieros estructurales tradicionales frente a aquellos que adoptaron con éxito elementos prefabricados, aquellos que muestran iniciativa e intereses en el prefabricado, y estudiantes universitarios. Los usuarios más propensos a adoptar estos sistemas surgen al tener un primer contacto con la industria del prefabricado durante la etapa universitaria, donde se enriquece el interés del estudiante acerca de nuevos sistemas de construcción e incrementando los niveles de investigación, dado que el 73% de entrevistados considera este nivel como bajo o casi nulo.

Finalmente, se concluye que el proceso y la técnica de investigación desarrollada cumplió objetivamente con la finalidad del estudio, siendo que fue posible evaluar las limitaciones estructurales, no como un proceso técnico y matemático, sino como una evaluación cualitativa detallada. Del mismo modo, la herramienta fue la más óptima para analizar las percepciones, de modo que, durante el desarrollo de la entrevista, permite al ingeniero estructural evidenciar, con hechos y experiencias, las variables que influyen en la adopción del prefabricado.

8.2 Recomendaciones

A fin de promover la difusión de elementos estructurales prefabricados de concreto, es recomendable mejorar la relación entre lo académico y lo comercial, dado que esto impulsará el interés, la investigación y la búsqueda de soluciones ante las barreras a las que se enfrenta la industria, y se logra manteniendo e impulsando los esfuerzos por parte de las empresas dedicadas a elementos prefabricados.

A pesar de la cantidad de empresas, el rol y la inversión que toman se da debido a que no son los únicos beneficiados y con la finalidad de ampliar el mercado de elementos prefabricados. Es importante conocer y difundir las capacidades de distribución de los proveedores para que sus funciones en la adopción del prefabricado no se vean limitadas. Es recomendable que se planteen las posibilidades de construcción prefabricada modular y el desarrollo de elementos repetitivos en cuanto a sus dimensiones para establecer líneas de producción, dado que la industria tiene una tendencia a seguir desarrollándose tecnológicamente.

Es importante reconocer las capacidades actuales de los ingenieros estructurales y su entorno, dado los bajos niveles de investigación, capacitación e intercambio de información. Por un lado, se recomienda asesoramiento al personal gubernamental y municipal con el fin de agilizar las normativas y aprobaciones de expedientes acerca de elementos que actualmente cuentan con el debido sustento y se han implementado de manera exitosa. Por otro lado, es recomendable que las universidades promuevan la cultura de la investigación de nuevas tecnologías a través de una malla curricular que implemente diversos aspectos de los elementos prefabricados, y así aumentar el interés del estudiante.

Respecto a la investigación, se recomienda que las variables atraviesen una evaluación cuantitativa, puesto que este parte del proceso teórico de adopción del prefabricado y las funciones del ingeniero estructural ante la toma de decisiones. También, se recomienda focalizar y analizar las distintas perspectivas de otros roles implicados en la construcción de edificaciones, pues las necesidades de cada uno frente a la implementación del prefabricado son diferentes, más aún al haber gran presencia de tercerización de partidas.



CAPÍTULO IX: REFERENCIAS

Aguirre, L. (2021). *Lineamientos de diseño para edificios de muros de hormigón prefabricado en Chile*. [Tesis para optar el grado de magíster en ciencias de la ingeniería y mención en ingeniería estructural, sísmica y geotécnica, Universidad de Chile]. Repositorio académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/>

Barriga, A. & Rodríguez, J. (2017). *Propuesta de diseño de un módulo de vivienda de bajo costo utilizando muros de concreto prefabricado en Trujillo*. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio digital de la Universidad Priva Antenor Orrego. <https://repositorio.upao.edu.pe/>

Brickworks Building Products. (13 de Agosto del 2020). Engineer Speaker Series | Engineering Principles of Designing in Precast Concrete. [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=9rYQLCohm0c>

Cabezas, M. & Beltran, T. (2019). *Ventajas y desventajas de los procesos de exportación e importación de casas prefabricadas y sus complementos en Colombia*. [Tesis para optar el título de Profesional en Negocios Internacionales, Universidad Agustiniana]. Repositorio Institucional – Universidad Agustiniana. <https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/>

Casaño, A. & Mavila, A. (2022). *Propuesta normativa peruana para los sistemas estructurales sismorresistentes de concreto prefabricado en edificaciones*. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil]. Repositorio digital de tesis y trabajos de investigación PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/>

Castaño, E. & Valencia, M. (2017). Efectos de la variación del precio del dólar en el sector de la construcción en Medellín, 2012 – 2016. *En Contexto- Revista de Investigación en Administración, Contabilidad, Economía y Sociedad*, vol 5, núm 7. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=551857515006>

Castillo, A. y Quevedo, S. (2020). *Análisis de la brecha digital en el uso de BIM en equipos de construcción*. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio digital de tesis y trabajos de investigación PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/>

Chourasia, A., Shinghal, S., Manivannan (2022). Prefabricated Volumetric Modular Construction: A Review on Current Systems, Challenges, and Future Prospects. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, Volume 28, Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-118>

CONCREMAX. (s.f). *Concremax productos pretensados*. <https://www.concremax.com.pe/pretensados/>

Díaz, L., Torruco, U., Martínez, M. & Varela, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en Educación Médica*, vol. 2, núm. 7, 162-167. DOI: [10.1016/S2007-5057\(13\)72706-6](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(13)72706-6)

Elementos prefabricados: Piezas tecnológicas que optimizan la construcción. (noviembre, 2018). *Revista Perú Construye*, edición 51. 80-83. <https://peruconstruye.net/edicion-51/>

Elliott, K. (2017). *Precast concrete structures (2.^a ed.)*. CRC Press, Taylor & Francis Group. https://books.google.com.pe/books/about/Precast_Concrete_Structures.html?id=GmCZDAEA_CAAJ&redir_esc=y

- Escrig, C. (2010). *Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elementos prefabricados de hormigón*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/8398>
- Flores, C., Mamani, E. & Vargas, L. (2018). *Análisis de implementación de prefabricados y el uso de herramientas modernas como el BIM y Lean Construction para viviendas destinadas al sector socioeconómico "C" en la ciudad de Juliaca*. [Tesis para optar el grado académico de Maestro en Dirección de la Construcción, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/>
- Hong, J., Qiping, G., Li, Z. Zhang, B. & Zhang, W. (2018). Barriers to promoting prefabricated construction in China: A cost benefit analysis. *Journal of Cleaner Production*, volume 172, 649-660. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.171>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019). *Hogares en viviendas particulares, según material predominante en los techos y área de residencia* [Fichero de datos]. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- Katebi, A., Homami, P. & Najmeddin, M. (2022). Acceptance model of precast concrete components in building construction based on Technology Acceptance Model (TAM) and Technology, Organization, and Environment (TOE) framework. *Journal of Building Engineering*, volume 45. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103518>
- López, A. & Fernández, D. (2015). La construcción con prefabricado de concreto: Una historia por escribir. *Revista de la técnica y la construcción, Noticreto*, N° 133, 42-48. https://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/historia_prefabricados_noticreto.pdf

- López, A. (2016). Prefabricación de concreto aplicada en puentes: Una tecnología con margen de crecimiento. *Revista de la técnica y la construcción, Noticreto*, N° 138, 66-70.
https://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/puentes_prefabricados_noticreto.pdf
- Lopezosa, C., Codina, L., Pere F. (2022). ATLAS.ti para entrevistas semiestructuradas: guía de uso para un análisis cualitativo eficaz. *Barcelona: DigiDoc Research Group (Pompeu Fabra University)*, DigiDoc Reports, 2022 RTI11/2022.
<https://repositori.upf.edu/handle/10230/52848>
- Madueño, J. (2016). Evaluación económica de obras con prefabricados. *Revista Construcción y Tecnología en Concreto*, edición febrero, 22-27.
<http://www.revistacyt.com.mx/index.php/ingenieria/568-evaluacion-economica-de-obras-con-prefabricados>
- McIntosh, M. & Morse, J. (2015). Situating and Constructing Diversity in Semi-Structured Interviews. *Global Qualitative Nursing Research*, volume 2.
<https://doi.org/10.1177/2333393615597674>
- Mejía, M. (13 de septiembre de 2014). Concesionarán operación y mantenimiento de Centro de Convenciones de Lima. *Agencia de Noticias Andina*. <https://andina.pe/agencia/noticia-concesionaran-operacion-y-mantenimiento-centro-convenciones-lima-523148.aspx>
- Mendoza, N. & Wong, R. (2019). *Diseño de un hospital en concreto prefabricado y con aislación sísmica*. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio digital de tesis y trabajos de investigación PUCP.
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/>

Menjura, J. S. (2020). *Gestión de recursos de calidad en la ingeniería civil y el diseño estructural*.

Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/36962>

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*.

[Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio académico UPC.

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/581689>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2009). *NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E. 060 CONCRETO ARMADO*. Lima, Perú.

http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/E060_CONCRETO_ARMADO.pdf

Montenegro, R., López, G., García, M., Vílchez, S. & Muñoz, J. (2020). *Consideraciones de diseño para el uso de elementos prefabricados de concreto armado para estructuras de edificios*. [Tesis de bachiller en ciencias con mención en ingeniería civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio digital de tesis y trabajos de investigación PUCP.

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/>

Nanyam, N., Basu, R., Sawhney, A., Vikram, H. & Lodha, G. (2017). Implementation of precast technology in India – Opportunities and challenges. *Procedia Engineering*, volume 196, 144-

151. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.184>

Navaratnam, S., Ngo, T., Gunawaderna, T. & Henderson, D. (2019). Performance Review of Prefabricated Building Systems and Future Research in Australia. *Buildings*, volume 9, issue2.

<https://doi.org/10.3390/buildings9020038>

- Ndekugri, I., Ankrah, N. & Adaku, E. (2021). The design coordination role at the preconstruction stage of construction projects. *Building Research & Information*, volume 50, issue 4. <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.1971061>
- Novas, J. (2010). *Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo*. [Proyecto de fin de máster, Universidad politécnica de Madrid]. Archivo digital UPM. <https://oa.upm.es/>
- Nuñuvero, L. y Claire, H. (2021). *Estudio de optimización con Lean Construction y uso de viguetas prefabricadas de la ampliación del albergue María Rosario Aráoz*. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio digital de tesis y trabajos de investigación PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/>
- Pan, M. y Pan, W. (2019). Determinants of Adoption of Robotics in Precast Concrete Production for Buildings. *Journal of Management in Engineering*, volume 35, issue 5. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000706](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000706)
- Percca, A. (2015). *Estudio y análisis costo-beneficio de la aplicación de elementos prefabricados de concreto en el casco estructural del proyecto "Tottus Guipo"*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas] Repositorio académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/>
- Periódico Construcción y Vivienda. (8 de noviembre de 2015). *Centro de Convenciones de Lima: Núcleos de concreto y estructuras de acero*. <https://www.construccionyvivienda.com/2015/11/08/centro-de-convenciones-de-lima-nucleos-de-concreto-y-estructuras-de-acero/>

- Polat, G. (2008). Factors Affecting the Use of Precast Concrete Systems in the United States. *Journal of Construction Engineering and Management*, volume 134, issue 3. [https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1061/\(ASCE\)07339364\(2008\)134:3\(169\)](https://doi.org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1061/(ASCE)07339364(2008)134:3(169))
- Polat, G. (2010). Precast concrete systems in developing vs. industrialized countries. *Journal of Civil Engineering and Management*, volume 16, issue 1. <https://doi.org/10.3846/jcem.2010.08>
- PREANSA PERÚ (s.f.). *Ampliación MegaPlaza Chorrillos*. Recuperado de <https://www.preansa.com.pe/ampliacion-megaplaza-chorrillos/>
- Reiser, J. (2005). *La racionalización y prefabricación en la construcción, una experiencia personal*. [Tesis para obtener el grado de Magister en Ciencias, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio digital de tesis y trabajos de investigación PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/>
- Salleh, F., Palaniappan, S., Pooi Theng, I., Mohd Helmi, H., Abd Hamid, A. & Md Kassim, N. (2020). A review on risk management implementation in the construction industry. *Journal of critical reviews*, volume 7, issue 11. <http://www.jcreview.com/fulltext/197-1592892130.pdf>
- Santamaría, M. (2016). Tecnología de aditivos para prefabricados de concreto. *Revista de la técnica y la construcción, Noticreto*, N° 139, 48-51. <http://www.asocretovirtual.com/noticreto-virtual/noticreto-139/Noticreto-139.pdf>
- Seminario, C. & Vidal, F. (2023). *Sistemas constructivos de elementos prefabricados de concreto para optimizar la productividad en la construcción de edificios multifamiliares en Lima metropolitana*. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional – URP. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7106>

Sierra, A. (2014). *Sistemas estructurales con elementos prefabricados – limitaciones y propuestas a nivel mundial*. [Trabajo de grado – Pregrado, Universidad de los Andes]. Repositorio de la Universidad de los Andes, Colombia. <https://repositorio.uniandes.edu.co/>

Sierra, F. (2022). *Modelo de aceptación de elementos estructurales prefabricados en la industria de la construcción*. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio digital de tesis y trabajos de investigación PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/>

Standards New Zealand. (2006). *Concrete Structures Standard (NZS 3101.1&2)*. <https://www.standards.govt.nz/shop/nzs-3101-1-and-22006/>

SUPERMIX. (s.f). *Concretos Supermix productos prefabricados*. <https://www.supermix.com.pe/prefabricado/>

Svensson, C., Olsson, L. & Hagentoft, C. (2021). Risk Assessment of Joint Sealing Tape in Joints between Precast Concrete Sandwich Panels Resilient to Climate Change. *Buildings, volume 11, issue8*. <https://doi.org/10.3390/buildings11080343>

Torres, C. (2022). *Factores que influyen en la adopción de elementos prefabricados de concreto*. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio digital de tesis y trabajos de investigación PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/>

UNICON (2021). Productos y servicios, Previsa de UNICON y Aceros Arequipa. *CONCRETANDO*. 2021-1, 14-16. Recuperado de https://issuu.com/mktunicon/docs/concretando_2021-1

UNICON. (5 de junio del 2020). *WEBINAR "Realidad de los Prefabricados en Perú"*. [Archivo de video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=oeWu_TYLdKA

Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC. (13 de agosto del 2020). Webinar | Estructuras de concreto prefabricado de alto desempeño en zonas sísmicas. [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=RgfiYbjVTH0&t=3236s>

Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC. (26 de octubre del 2020). Webinar | Conexiones en Prefabricados según ACI 318. [Archivo de video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=MEu2rb_3yus

Veritrade Corp. (2021). *681091: ELEMENTOS PREFABRICADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN O INGENIERÍA CIVIL*. <https://www.veritradecorp.com/es/peru/importaciones-y-exportaciones/elementos-prefabricados-para-la-construcci%C3%B3n-o-ingenier%C3%ADa-civil/681091>

Von der Tann, L., Angelino, M., Crick, R., & Taylor, C. (2018). *Rethinking Design Standards as Learning Frameworks*. International Centre for Infrastructure Futures. <https://doi.org/10.14324/000.wp.10060293>

Woodside, J. (2020). *Unnecessary design, inadequate detailing, and lack of periodic inspection of concrete buildings during construction*. http://www.ciaconference.com.au/concrete2021/pdf/full-paper_39.pdf

Xercavins, P., Demarthe, D., & Shushkewich, K. (2010). Eugene Freyssinet—his incredible journey to invent and revolutionize prestressed concrete construction. *3rd fib International Congress, Washington, DC*. http://www.aspirebridge.com/resources/fib_Congress_Freyssinet_by_Shushkewich.pdf

ANEXOS

➤ ANEXO 1: Tabla de incidencias de los ingenieros estructurales entrevistados respecto al modelo de adopción de prefabricados.

CRITERIOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL																									
FACTOR		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	N°	%
CD1	Cumplimiento de la norma sísmica		x	x		x					x	x	x	x					x	x				9	41%
CD2	Sustento del sistema mediante ensayos			x		x		x	x		x				x		x	x			x		x	10	45%
CD3	Respaldo en normativa extranjera o normas técnicas	x		x	x			x	x		x		x		x		x	x	x	x	x	x	x	15	68%
CD4	Falta de normativa nacional adecuada		x		x	x	x			x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x		15	68%
CD5	Diseño y modelo de conexiones entre elementos	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x	x		x	18	82%
MADUREZ DE LA CADENA DE SUMINISTROS DEL PREFABRICADO																									
FACTOR		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	N°	%
MP1	Mercado de elementos pretensados			x					x		x									x				4	18%
MP2	Consideraciones de izaje y transporte	x	x				x			x						x								5	23%
MP3	Exigencia del control de calidad de elementos	x	x	x	x				x	x		x	x		x			x				x		11	50%
MP4	Posibilidad de construcción modular / elementos repetitivos	x	x	x		x	x		x	x							x		x	x	x		x	12	55%
MP5	Falta de difusión de nuevos elementos y sistemas			x	x			x	x		x		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	15	68%
RELACIÓN CLIENTE-PROYECTISTA																									
FACTOR		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	N°	%
RC1	Dificultades para la aprobación del expediente técnico								x	x	x													3	14%
RC2	Intercambio de información entre proyectista y empresa de prefabricados	x							x		x	x	x	x	x			x				x	x	10	45%
RC3	Tipos de prefabricados según edificaciones especiales		x	x	x	x		x			x	x	x				x		x					10	45%
RC4	Necesidades del cliente / Solicitud del propietario	x	x	x	x			x	x						x	x		x	x	x		x	x	13	59%
RC5	Evaluación la rentabilidad económica de la estructura	x	x	x	x					x	x		x	x	x	x	x	x		x	x			14	64%
EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN																									
FACTOR		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	N°	%
E11	Investigación relacionada al prefabricado y nuevas tecnologías						x		x		x									x				4	18%
E12	Falta de apoyo gubernamental en investigaciones		x	x	x	x				x	x													6	27%
E13	Situación actual de la relación actual entre aspecto comercial y educacional	x	x	x		x							x	x	x	x		x			x	x	x	13	59%
E14	Falta de investigación experimental y recursos		x	x	x	x	x		x			x	x					x		x	x	x	x	13	59%
E15	Falta de capacitación en la etapa universitaria	x	x	x		x	x	x	x		x	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x	18	82%