

|   |   |                     |                   |          |
|---|---|---------------------|-------------------|----------|
|  | <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b> |                     |                   |          |
|   | Documento   | Código              | Fecha             | Revisión |
|   | <b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>  | <b>F-AC-DBL-007</b> | <b>10-04-2012</b> | <b>A</b> |
| Dependencia   | Aprobado  |                     | Pág.              |          |
| <b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>   | <b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>                          |                     | <b>i(225)</b>     |          |

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

|  |   |                       |                  |
|--|---|-----------------------|------------------|
| <b>AUTORES</b>   | <b>GIOVANNY ANDREY QUINTERO ANGARITA</b>  |                       |                  |
|  | <b>NILSON SAMITH GUERRERO MOLINA</b>  |                       |                  |
| <b>FACULTAD</b>  | <b>INGENIERIAS</b>  |                       |                  |
| <b>PLAN DE ESTUDIOS</b>  | <b>INGENIERIA CIVIL</b>   |                       |                  |
| <b>DIRECTOR</b>  | <b>NELSON AFANADOR GARCIA</b>   |                       |                  |
| <b>TÍTULO DE LA TESIS</b>  | <b>COMPORTAMIENTO Y DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS EN CONCRETO</b> |                       |                  |
| <b>RESUMEN</b>   |   |                       |                  |
| (70 palabras aproximadamente)  |   |                       |                  |
| <p><b>MONOGRAFIA DE COMPILACION REFERENTE AL COMPORTAMIENTO Y DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS EN CONCRETO, DONDE SE PRESENTAN LOS ASPECTOS GENERALES CONCERNIENTES A ESTE TIPO DE ELEMENTOS, EN CUANTO A SU DISEÑO, FABRICACION, INSTALACION Y LAS DIFERENCIAS QUE PRESENTA CON LOS ELEMENTOS CONSTRUIDOS CONVENCIONALMENTE.</b></p> <p><b>EL DESARROLLO DE ESTA MONOGRAFIA PERMITE LA DIFUSION DE LA CONSTRUCCION CON ELEMENTOS PREFABRICADOS, YA QUE HA DEMOSTRADO SER UNA ALTERNATIVA VIABLE Y CONFIABLE EN MUCHOS PROYECTOS DE EDIFICION Y EN NUMEROSAS OBRAS CIVILES.</b></p> |   |                       |                  |
| <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |   |                       |                  |
| <b>PÁGINAS: 225</b>  | <b>PLANOS: 0</b>  | <b>ILUSTRACIONES:</b> | <b>CD-ROM: 1</b> |



COMPORTAMIENTO Y DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES  
PREFABRICADOS EN CONCRETO

Autores

GIOVANNY ANDREY QUINTERO ANGARITA

NILSON SAMITH GUERRERO MOLINA

Trabajo de grado modalidad monografía presentado como requisito para optar el título de  
Ingeniero Civil

Director

Ph.D. NELSON AFANADOR GARCÍA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Colombia

Noviembre de 2020

### **Nota**

El Comité Curricular del Plan de Estudios de Ingeniería Civil, según consta en el Acta No. 0001 de fecha 27 de enero de 2020, acordó asignar como jurados de la presente monografía a los docentes **Javier Andrés Martínez Ortega** y **Jesús Antonio Palacio Amaya**.

## **Agradecimientos**

Los autores de esta monografía expresan su cordial agradecimiento al Ph.D. Nelson Afanador García, por la dirección del trabajo, su apoyo y colaboración permanente durante toda la investigación.

Así mismo agradecen a todas aquellas personas que de una u otra manera aportaron en este trabajo: amigos, compañeros y docentes, así como aquellos profesionales que brindaron su ayuda.

Finalmente agradecen a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por brindar los conocimientos y las herramientas necesarias para desarrollar este trabajo.

*Giovanny Andrey Quintero Angarita*

*Nilson Samith Guerrero Molina*

## **Dedicatoria**

Este trabajo lo dedico a mis padres, a mi hermano, a mi sobrina y a Karen Carvajalino por estar incondicionalmente en cada una de las etapas, escalones, tropiezos y victorias. No fue fácil pero gracias a ellos hoy puedo decir lo logré.

*Nilson Samith Guerrero Molina*

## Dedicatoria

En esta gran aventura, dónde recorrí un duro camino lleno de pruebas y obstáculos, dónde personas vienen y van, solo queda agradecer y dedicar el triunfo a aquellos que siempre estuvieron incondicionalmente alentándome, mis padres, hermana, tíos, primos y por supuesto, a Jissella Figueroa.

*Giovanny Andrey Quintero Angarita*

## Tabla de contenido

|  |       |
|--|-------|
| Introducción .....   | xviii |
| Capítulo 1. Elementos estructurales comúnmente prefabricados en concreto.....                  | 1     |
| 1.1 Elementos estructurales .....  | 2     |
| 1.1.1 Vigas prefabricadas.....   | 3     |
| 1.1.2 Columnas prefabricadas.....  | 10    |
| 1.1.3 Losas de entrepiso prefabricadas. ....   | 12    |
| 1.1.4 Cimentaciones prefabricadas. ....  | 17    |
| 1.1.5 Muros prefabricados. ....  | 20    |
| 1.2 Elementos no estructurales .....   | 23    |
| 1.2.1 Sardineles.....  | 24    |
| 1.2.2 Cárcamos.....  | 25    |
| 1.2.3 Box culvert.....   | 26    |
| 1.2.4 Bolardos. ....   | 26    |
| 1.2.5 Alcantarillas. ....  | 27    |
| 1.2.6 Postes. ....   | 28    |
| Capítulo 2. Características del sistema de construcción con prefabricados en concreto .....    | 30    |
| 2.1 Características principales del sistema de construcción con prefabricados en concreto .... | 31    |
| 2.1.1 Modulación. ....   | 31    |
| 2.1.2 Conocimiento de problemas prácticos en obra. ....  | 32    |
| 2.1.3 Normalización.....   | 32    |
| 2.1.4 Planificación del taller. ....   | 33    |
| 2.1.5 Supervisión. ....  | 33    |
| 2.2 Clasificaciones dentro del sistema de construcción con prefabricados en concreto.....      | 34    |
| 2.2.1 Sistemas cerrados.....   | 34    |
| 2.2.2 Empleo parcial de componentes .....  | 35    |
| 2.2.3 Sistemas tipo mecano.....  | 36    |
| 2.2.4 Sistemas abiertos.....   | 36    |

|   |    |
|---|----|
| 2.3 Proceso de construcción de elementos prefabricados en concreto .....  | 37 |
| 2.3.1 Fabricación.....  | 38 |
| 2.3.2 Transporte de elementos a la obra. ....   | 39 |
| 2.3.3 Montaje y juntas.....   | 40 |
| 2.3.4 Terminaciones.....  | 41 |
| <br>  |    |
| Capítulo 3. Consideraciones para el diseño y fabricación de elementos estructurales prefabricados en concreto ..... | 42 |
| 3.1 Normativa existente sobre prefabricados.....  | 43 |
| 3.2 Consideraciones para el diseño de elementos prefabricados .....   | 45 |
| 3.2.1 Distribución de fuerzas entre elementos.....  | 46 |
| 3.2.2 Aspectos a cumplir en el diseño de elementos prefabricados.....   | 47 |
| 3.2.3 Integridad estructural. ....  | 48 |
| 3.3 Conexiones entre elementos estructurales prefabricados en concreto .....  | 48 |
| 3.3.1 Requerimientos normativos para el uso de conectores mecánicos.....  | 49 |
| 3.3.2 Requerimientos normativos para el uso de soldadura.....   | 50 |
| 3.3.3 Conexión por gravedad.....  | 51 |
| 3.4 Ejemplos de elementos estructurales prefabricados en concreto para edificaciones .....                          | 52 |
| 3.4.1 Ejemplo de una cimentación prefabricada.....  | 57 |
| 3.5 Empresas prefabricadoras en Colombia.....   | 59 |
| 3.5.1 El Precon.....  | 59 |
| 3.5.2 Titán cemento.....  | 61 |
| 3.5.3 El cóndor prefabricados. ....   | 63 |
| 3.5.4 La Fama. ....   | 64 |
| 3.5.5 ITC Prefabricados & Construcciones S.A.S.....   | 67 |
| 3.5.6 Emprefacon S.A.S.....   | 68 |
| 3.5.7 Prefabricadoras en la ciudad de Aguachica, Cesar. ....  | 71 |
| <br>  |    |
| Capítulo 4. Comportamiento de los elementos prefabricados en concreto.....  | 73 |
| 4.1 Ensayos aplicados a elementos prefabricados .....   | 75 |
| 4.1.1 Ensayos físico-mecánicos.....   | 76 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.1.2 Ensayos de comportamiento frente al fuego.....  | 84  |
| 4.1.3 Normas adicionales aplicadas a elementos prefabricados. ....  | 86  |
| 4.2 Comportamiento sísmico de estructuras prefabricadas.....  | 90  |
| <br>  |     |
| Capítulo 5. Comparación entre el sistema de construcción de elementos prefabricados en concreto respecto al sistema tradicional de construcción en sitio..... | 94  |
| 5.1 Diferencias entre elementos prefabricados y elementos construidos convencionalmente .   | 95  |
| 5.1.1 Estudios geotécnicos.....   | 95  |
| 5.1.2 Diseño arquitectónico. ....   | 96  |
| 5.1.3 Diseños preliminares.....   | 96  |
| 5.1.4 Solicitaciones de carga.....  | 97  |
| 5.1.5 Diseño sísmico. ....  | 97  |
| 5.1.6 Materiales estructurales. ....  | 97  |
| 5.1.7 Análisis sísmico de la estructura.....  | 98  |
| 5.1.8 Diseño de elementos estructurales. ....   | 98  |
| 5.1.9 Diseño de la cimentación. ....  | 99  |
| 5.1.10 Ejecución de los diseños. ....   | 99  |
| 5.1.11 Actividades preliminares y preparación del terreno. ....   | 100 |
| 5.1.12 Movimiento de tierras.....   | 100 |
| 5.1.13 Inicio de construcción.....  | 100 |
| 5.1.14 Costo directo. ....  | 101 |
| 5.1.15 Duración de proyecto.....  | 104 |
| 5.1.16 Sobre costos. ....   | 105 |
| 5.1.17 Seguridad industrial. ....   | 106 |
| 5.1.18 Calidad de los materiales. ....  | 106 |
| 5.1.19 Estabilidad ante desastres naturales. ....   | 107 |
| 5.1.20 Durabilidad y mantenimiento. ....  | 107 |
| 5.1.21 Sostenibilidad.....  | 108 |
| 5.2 Inversión económica.....  | 108 |
| 5.2.1 Plazo de ejecución.....   | 109 |
| 5.2.2 Calidad. ....   | 110 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.2.3 Estabilidad al fuego.....   | 111 |
| 5.2.4 Aspectos adicionales.....   | 111 |
| 5.3 Ejemplos de proyectos construidos con elementos prefabricados ..... | 112 |
| 5.3.1 Casa Kyoto.....   | 112 |
| 5.3.2 Viviendas de interés social o viviendas colectivas.....           | 113 |
| 5.3.3 Edificio Woolverhampton Student Hall.....                         | 115 |
| 5.3.4 Colegios.....   | 116 |
| 5.3.5 Puentes.....  | 120 |
| 5.3.6 Estadios y graderías.....   | 121 |
| Conclusiones.....   | 123 |
| Referencias.....  | 125 |
| Apéndices.....  | 129 |

## Lista de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Viga en I .....  | 4  |
| Figura 2. Viga en DT. ....   | 5  |
| Figura 3. Viga en T. ....  | 5  |
| Figura 4. Viga rectangular.....  | 6  |
| Figura 5. Viga en L. ....  | 7  |
| Figura 6. Viga doble nervio.....   | 8  |
| Figura 7. Viga en y.....   | 8  |
| Figura 8. Viga canal. ....   | 9  |
| Figura 9. Viga peraltada. ....   | 10 |
| Figura 10. Columna de sección cuadrada.....  | 11 |
| Figura 11. Columna de sección circular.....  | 12 |
| Figura 12. Losa maciza. ....   | 14 |
| Figura 13. Losa alveolar o extruida.....   | 15 |
| Figura 14. Losa con viguetas y bovedilla.....  | 16 |
| Figura 15. Losa con vigas T y doble T.....   | 17 |
| Figura 16. Pilote y su armado de acero. ....   | 18 |
| Figura 17. Proceso de hincado de un pilote prefabricado. ....  | 19 |
| Figura 18. Zapata prefabricada.....  | 20 |
| Figura 19. Muro perimetral prefabricado.....   | 21 |
| Figura 20. Muro de cerramiento prefabricado. ....  | 22 |
| Figura 21. Muro de contención prefabricado.....  | 23 |
| Figura 22. Sardineles prefabricados. ....  | 24 |
| Figura 23. Cárcamo prefabricado.....   | 25 |
| Figura 24. Box culvert prefabricado. ....  | 26 |
| Figura 25. Bolardos prefabricados. ....  | 27 |
| Figura 26. Cabezal de un alcantarillado pluvial.....   | 28 |
| Figura 27. Postes prefabricados. ....  | 29 |
| Figura 28. Edificio construido con módulos prefabricados. ....   | 31 |
| Figura 29. Edificio Lagutenko-Posokhin ubicado en Moscú, Rusia, construido con sistemas cerrados de prefabricación. .... | 35 |
| Figura 30. Viviendas prefabricadas en Colombia.....  | 37 |
| Figura 31. Molde para vigas prefabricadas en concreto. ....  | 39 |
| Figura 32. Transporte de vigas prefabricadas al sitio de obra. ....  | 40 |
| Figura 33. Montaje de una viga prefabricada. ....  | 41 |
| Figura 34. Conector mecánico utilizado para unión de elementos prefabricados en concreto ....                            | 50 |
| Figura 35. Unión de elementos prefabricados por gravedad.....  | 51 |
| Figura 36. Losas del sótano.....   | 54 |
| Figura 37. Unión viga-losas de entrepiso.....  | 55 |

|   |    |
|---|----|
| <i>Figura 38.</i> Losas de doble T .....  | 56 |
| <i>Figura 39.</i> Unión viga-losa.....  | 56 |
| <i>Figura 40.</i> Zapata prefabricada.....  | 57 |
| <i>Figura 41.</i> Características de una zapata prefabricada .....  | 59 |
| <i>Figura 42.</i> Placa huella peatonal prefabricada .....  | 60 |
| <i>Figura 43.</i> Estación de bomberos bicentenario, ubicado en la ciudad de Bogotá .....   | 61 |
| <i>Figura 44.</i> Edificio Unicentro, ubicado en la ciudad de Pasto .....   | 62 |
| <i>Figura 45.</i> Anillos en concreto prefabricado .....  | 64 |
| <i>Figura 46.</i> Bebederos para ganado .....   | 65 |
| <i>Figura 47.</i> Bloques en concreto.....  | 65 |
| <i>Figura 48.</i> Acero de refuerzo.....  | 66 |
| <i>Figura 49.</i> Anillos prefabricados en concreto .....   | 67 |
| <i>Figura 50.</i> Bordillos prefabricados.....  | 69 |
| <i>Figura 51.</i> Postes para cercamiento y tubos de alcantarillado.....  | 70 |
| <i>Figura 52.</i> Fabricación y compactación de un elemento prefabricado.....   | 70 |
| <i>Figura 53.</i> Losetas prefabricadas.....  | 71 |
| <i>Figura 54.</i> Obtención de la carga axial de compresión en cilindros de concreto de acuerdo a la NTC 673: Concretos, ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.....  | 77 |
| <i>Figura 55.</i> Obtención de la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto de acuerdo a la NTC 722: Concretos, método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto .....         | 78 |
| <i>Figura 56.</i> Determinación de la resistencia del concreto a la flexión basados en la NTC 2871: Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios) .....              | 80 |
| <i>Figura 57.</i> Medidor de aire para concreto fresco por el método volumétrico requerido para aplicar la NTC 1028: Ingeniería civil y arquitectura, determinación del contenido de aire en concreto fresco método volumétrico.....                          | 82 |
| <i>Figura 58.</i> Obtención del módulo de elasticidad y la relación de Poisson mediante un Compresómetro - Expansómetro para cilindros de concreto basados en la NTC 4025: Concretos. Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático..... | 83 |
| <i>Figura 59.</i> Bloques de concreto expuestos al fuego en base a lo indicado en la NTC 1480: Elementos de construcción ensayo de resistencia al fuego.....  | 85 |
| <i>Figura 60.</i> Daño ocasionado por la exposición de los bloques al fuego .....   | 86 |
| <i>Figura 61.</i> Sello ambiental colombiano de acuerdo a la NTC 6093: Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano, criterios ambientales para prefabricados en concreto .....   | 87 |
| <i>Figura 62.</i> Obtención de resistencia a la compresión en bloque prefabricado de acuerdo a la NTC 4024: Prefabricados de concreto, muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados .....   | 88 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 63. Obtención de resistencia en secciones de concreto para pozos de acuerdo a la NTC 3676: Métodos de ensayo para tubos y secciones de pozos de inspección prefabricados en concretos ..... | 89  |
| <i>Figura 64.</i> Unión de elementos estructurales .....   | 91  |
| Figura 65. Losa cuadrada prefabricada utilizada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural para analizar su comportamiento sísmico .....   | 92  |
| <i>Figura 66.</i> Vista de la Casa Kyoto.....  | 113 |
| <i>Figura 67.</i> Conjunto de viviendas "La Grande Borne" ubicado en la ciudad de Paris.....   | 114 |
| <i>Figura 68.</i> Viviendas de interés social .....  | 115 |
| <i>Figura 69.</i> Edificio Woowerhampton Student Hall, localizado en Reino Unido.....  | 116 |
| <i>Figura 70.</i> Transporte de los elementos prefabricados.....   | 117 |
| <i>Figura 71.</i> Montaje de los elementos prefabricados mediante grúas móviles.....   | 117 |
| <i>Figura 72.</i> Colocación de los elementos prefabricados en su lugar definitivo.....  | 118 |
| <i>Figura 73.</i> Aseguramiento de los elementos mediante arañas telescópicas .....  | 118 |
| <i>Figura 74.</i> Vista de la obra con los elementos prefabricados .....   | 119 |
| <i>Figura 75.</i> Vista de la obra terminada .....   | 119 |
| <i>Figura 76.</i> Construcción del puente prefabricado en la ciuda de Richmond.....  | 120 |
| <i>Figura 77.</i> Vista del Puente Zacatal .....   | 121 |
| <i>Figura 78.</i> Estadio Corregidora Josefa Ortíz de Domínguez ubicado en el estado de Querétaro, México .....  | 122 |
| <i>Figura 79.</i> Estadio Lienzo Charro Molina, ubicado en el estado de Michoacán, México .....  | 122 |
| <i>Figura 80.</i> Superficie para la colocación del concreto .....   | 201 |
| <i>Figura 81.</i> Armado del acero del elemento prefabricado .....   | 202 |
| <i>Figura 82.</i> Vaciado del concreto con camión mixer.....   | 202 |
| <i>Figura 83.</i> Vaciado del concreto con carretillas .....   | 203 |
| <i>Figura 84.</i> Vibrado del concreto.....  | 203 |
| <i>Figura 85.</i> Acabado de la superficie del concreto .....  | 204 |
| <i>Figura 86.</i> Acopio de los elementos prefabricados .....  | 205 |

**Lista de tablas**

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. APU losa prefabricada m <sup>2</sup> (en pesos colombianos). .....        | 102 |
| Tabla 2. APU losa construida en sitio m <sup>2</sup> (en pesos colombianos). ..... | 103 |
| Tabla 3. Tiempo estimado de ejecución construcción en sitio .....                  | 104 |
| Tabla 4. Tiempo estimado de ejecución construcción prefabricada. ....              | 105 |

**Lista de apéndices**

|   |     |
|---|-----|
| Apéndice A. Catálogo de productos de empresas prefabricadoras.....              | 130 |
| Apéndice B. Listado de precios .....  | 196 |
| Apéndice C. Proceso de fabricación de un elemento estructural prefabricado..... | 201 |

## Introducción

La prefabricación se ha convertido en una opción muy atractiva dentro del sector de la construcción, debido a que la producción de elementos estructurales fuera de obra permite ahorros en los tiempos de entrega y en los costos de cada proyecto, sin embargo, para su utilización se requiere de un análisis que permita evaluar su comportamiento y si el diseño resulta conveniente respecto a un sistema constructivo tradicional (Fernández, 2009).

El inicio de la prefabricación, entendiéndose como la aplicación de procesos industriales encaminados a reducir el tiempo de construcción de las obras, se remonta a mediados del siglo XVIII, justo en la época de la revolución industrial, pero estaba limitada al uso del acero y el vidrio. Fue hasta mediados del siglo XX, que se inició la fusión de las técnicas de prefabricación utilizando el concreto (López & Fernández, 2015).

Desde esta fecha, los elementos estructurales prefabricados en concreto fueron evolucionando mediante nuevos métodos de sofisticación al emplear novedosos medios de fabricación y avances tecnológicos, incentivados por las necesidades sociales, reestructuraciones económicas y un nuevo enfoque en el mercado (López & Fernández, 2015).

Los elementos prefabricados se definen como aquellos productos hechos de concreto y fabricados en un lugar distinto de su localización final de uso, protegido de las condiciones

ambientales adversas durante la fabricación y que es el resultado de un proceso industrial bajo un sistema de control de producción en fábrica, con la posibilidad de acortar los plazos de entrega (López & Fernández, 2015).

Generalmente los elementos prefabricados son construidos con mayor control de calidad que en el caso de colados en sitio, ya que es posible revisar cada una de las piezas en las plantas de prefabricación para que lleguen en condiciones óptimas a la obra. Entre los elementos estructurales más importantes se encuentran aquellos destinados a la conformación de cimientos, columnas, vigas, losas de entrepiso y muros, los cuales en conjunto conforman una estructura acorde a las normativas vigentes (Rodríguez, León, & Cabrera, 2013).

Actualmente la tendencia en todo el mundo es buscar soluciones más flexibles, por lo que se ha empezado a preferir el uso de elementos estructurales prefabricados, no obstante, existe limitantes para ampliar el número de proyectos empleando estos elementos, especialmente por las preferencias tanto de diseñadores como de constructores de fabricar en sitio, por lo cual surge el siguiente interrogante: ¿brindan mayores ventajas los elementos estructurales prefabricados que aquellos construidos en sitio?

Para dar respuesta al anterior interrogante, fue necesario realizar una búsqueda y análisis de las investigaciones llevadas a cabo hasta la fecha concerniente al uso de elementos estructurales prefabricados. Las referencias fueron seleccionadas de trabajos de grado, artículos y publicaciones realizadas por universidades e instituciones reconocidas internacionalmente.

La elaboración de esta monografía tuvo una duración de veinticuatro (24) semanas, 4 semanas más de lo planteado en el cronograma de actividades. El estudio de compilación fue efectuado en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, siendo una monografía de tipo descriptivo, ya que se realizó la recolección de información de referencias bibliográficas seleccionadas. Se aplicó una técnica de investigación de análisis de contenido, aplicando criterios objetivos durante el estudio. La monografía está compuesta por 5 capítulos, en cada uno de los cuales se buscó cumplir con un objetivo específico, que permitieran en conjunto dar respuesta a la pregunta planteada anteriormente.

## **Capítulo 1. Elementos estructurales comúnmente prefabricados en concreto**

Existen indicios de que se utilizaron elementos prefabricados en civilizaciones antiguas como Babilonia o en pueblos ubicados en Sudamérica, sin embargo, fue en el Imperio Romano donde se dio un uso del concreto de forma masiva y tecnificada encontrándose en pie numerosas obras construidas hace más de 2000 años. Aunque los procedimientos utilizados en la antigüedad distan considerablemente de los aplicados en la actualidad, el desarrollo constructivo de ese entonces permitió la construcción de obras de considerable magnitud (Vargas, 2007).

Con la revolución de los procesos industriales dados en el siglo XVIII, se inició un nuevo período de cambios que permitieron paulatinamente ir desarrollando nuevas técnicas de prefabricación a medida que se presentaban avances tecnológicos en los medios de fabricación y en los materiales utilizados, sumado a las demandas presentadas en materia de infraestructura habitacional, sobre todo en los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial. Hoy día los prefabricados son considerados como elementos esenciales para hacer frente a las constantes crisis inmobiliarias, las necesidades sociales y hacia la búsqueda de una nueva perspectiva entre la construcción y el medio ambiente (Tosa & Salha, 2016; Vargas, 2007).

La prefabricación como concepto, corresponde a los procedimientos aplicados fuera de obra para la conformación de partes o elementos que son unidas empleando las acciones necesarias para su montaje, conformando de esta manera total o parcialmente una estructura o construcción. Estas partes o elementos pueden estar fabricadas en distintos materiales como el

concreto, el acero, la madera, el plástico, o una combinación de varios materiales. Para efectos del presente documento se entenderá como elemento prefabricado a todo producto de concreto que corresponde a una parte específica de una estructura, la cual es ensamblada en obra mediante los procedimientos aplicados para tal fin (Vargas, 2007; Escrig, 2008).

## **1.1 Elementos estructurales**

Gracias a la moldeabilidad y manejabilidad del concreto pueden derivarse de éste distintos componentes según los requerimientos de cada estructura. Las dimensiones, localización de las uniones y demás aspectos requeridos para su montaje deben ser claramente consensuados entre ingenieros y fabricantes de estos elementos, pues los desajustes producto de una inadecuada interpretación o transmisión de la información pueden conllevar a realizar reajustes con efectos sobre el diseño estructural, los procesos constructivos y logísticos, además del aumento de costos y mayor tiempo para la entrega del proyecto (Carreño, 2015).

Aunque en la actualidad pueden construirse estructuras con una totalidad de elementos prefabricados, generalmente son las vigas, columnas, losas, cimentaciones y muros, las piezas de mayor exigencia tanto en sus procesos de prefabricación como de puesta en obra. Estos elementos pueden ser armados con acero normal o mediante procesos de pretensado o postensado, la elección depende de las solicitudes y del diseño de cada proyecto (Novas, 2010; Carreño, 2015; Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

### **1.1.1 Vigas prefabricadas.**

Las vigas corresponden a elementos estructurales horizontales que se encargan de soportar cargas entre dos apoyos sin crear empujes laterales en los mismos. En los edificios soportan las losas, techos, aberturas, entre otros, trabajando esencialmente a flexión (Pérez, 2006; Novas, 2010).

Las vigas prefabricadas en concreto suelen ser construidas en distintas secciones según el diseño de la estructura o las facilidades para el montaje en obra, a continuación se detallan las secciones de viga más utilizadas en la actualidad.

#### ***1.1.1.1 Vigas en I.***

También son denominadas como de doble T, son fabricadas con una sección constante de acuerdo a las solicitudes de cada proyecto, usándose principalmente para el apoyo de vigas o correas de cubierta. En la figura 1 se muestra una viga con este tipo de sección (ANDECE, 2019; Escrig, 2008).



*Figura 1. Viga en I*

Fuente: Moldtechs, (2020). Obtenido <https://www.moldtechsl.es/es/productos/moldes-para-vigas-y-pistas-para-elementos-pretensados/laterales-para-viga-o-trabe-puente>

#### ***1.1.1.2 Vigas en DT.***

Al igual que las vigas en I son de sección constante, diferenciándose solamente en los extremos donde adoptan una sección rectangular. Se utilizan principalmente para el apoyo de placas, vigas de carril en puentes, entre otros usos. En la figura 2 se muestra un ejemplo de este tipo de viga (ANDECE, 2019; Aguiluz, 2003).



*Figura 2. Viga en DT.*

Fuente: Formac, (2020). Obtenido <http://www.formac.es/index.php/viga-dt>

### ***1.1.1.3 Vigas en T.***

Estas vigas ofrecen la posibilidad de utilizar distintas secciones para una longitud determinada. Se utilizan en pórticos, cubiertas con placa, entre otras. En la figura 3 se ilustra un tipo de viga T (Perea, 2012; ANDECE, 2019).

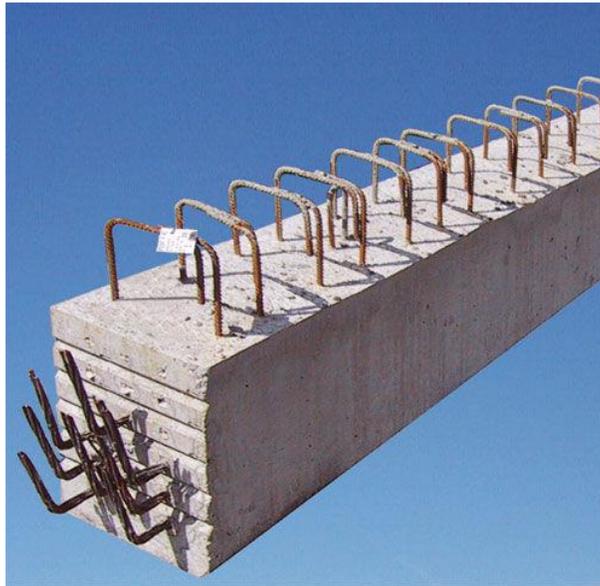


*Figura 3. Viga en T.*

Fuente: Construproductos, (2020). Obtenido <https://construproductos.com/producto.php?idprod=1937>

#### ***1.1.1.4 Vigas rectangulares.***

Al ser rectangulares mantienen una sección constante a lo largo de toda su longitud. Su principal función es la de servir de apoyo o descanso a las placas. En la figura 4 se detalla un ejemplo de viga rectangular (Aguiluz, 2003; ANDECE, 2019).



*Figura 4. Viga rectangular.*

Fuente: Archiexpo, (2020). Obtenido <https://www.archiexpo.es/prod/seac/product-59282-816636.html>

#### ***1.1.1.5 Vigas en L.***

Son diseñadas como apoyo de las placas o para los pórticos. Sus dimensiones dependen de las especificaciones del proyecto. Mantienen una sección constante y pueden ser consideradas

auto portantes o semi resistentes. En la figura 5 se ilustra un ejemplo de este tipo de viga (ANDECE, 2019; Aguiluz, 2003).



*Figura 5. Viga en L.*

Fuente: PCI Gulf South, (2020). Obtenido <https://www.pcigulfsouth.org/beams-columns>

#### ***1.1.1.6 Vigas doble nervio.***

También llamadas vigas gemelas o viga TT, presentan una sección constante con doble nervio en T invertida. Esta forma proporciona gran rigidez de torsión y aumenta la distribución transversal de cargas. Son utilizadas como solución constructiva en grandes forjados así como en puentes. En la figura 6 se muestra un ejemplo de este tipo de vigas (Escrig, 2008; ANDECE, 2019).



*Figura 6. Viga doble nervio.*

Fuente: Archiexpo, (2020). Obtenido <https://www.archiexpo.es/prod/hormipresa/product-132241-1431919.html>

#### *1.1.1.7 Vigas en y.*

También es llamada viga “ypsilon”, se caracterizan por su gran canto, generalmente mayor a 1 metro, utilizada principalmente como soporte de la cubierta, gracias a la gran estabilidad que brinda y a la facilidad que ofrecen para evacuar las aguas lluvias. Es una viga de sección constante. En la figura 7 se ilustra un tipo de estas vigas (ANDECE, 2019; Aguiluz, 2003).



*Figura 7. Viga en y.*

Fuente: Andece, (2019). *Estructuras prefabricadas en hormigón*. p.10.

### ***1.1.1.8 Vigas canal.***

Este tipo de vigas además de cumplir funciones estructurales dentro de la estructura, permite la canalización de las aguas lluvias, por lo que suelen ser utilizadas en las cubiertas de los edificios, ayudando a su impermeabilización. En la figura 8 se ilustra un ejemplo de este tipo de vigas (Perea, 2012; ANDECE, 2019).



*Figura 8.* Viga canal.

Fuente: Bloquescando, (2020). Obtenido <https://bloquescando.com/vigas-canal/>

### ***1.1.1.9 Vigas peraltadas.***

También llamadas vigas delta, poseen una sección similar a la viga en I, pero presentan un canto creciente hacia la cumbrera con pendiente promedio del 10%, por lo que suelen ser empleadas como cubiertas a dos agua. En la figura 9 se ilustra un ejemplo de este tipo de vigas (Aguiluz, 2003; ANDECE, 2019).



*Figura 9.* Viga peraltada.

Fuente: Fomac, (2020). Obtenido <http://www.fomac.es/index.php/viga-delta>

### **1.1.2 Columnas prefabricadas.**

Las columnas son elementos estructurales verticales o axiales que trabajan a flexión y a compresión (flexo compresión), sirviendo de apoyo a elementos horizontales como las vigas. La carga que puede soportar una columna depende de la longitud que esta posea, a la relación de su sección transversal (esbeltez) y a las condiciones en sus extremos. Las columnas son diseñadas y construidas para romperse por flexión lateral o pandeo ante una carga gradualmente creciente mucho menor a la necesaria para romperla por aplastamiento (Aguiluz, 2003; Novas, 2010).

Las columnas pueden tener diferentes geometrías, pero las secciones habituales son cuadradas, rectangulares, doble T y circular. Dependiendo del tipo de unión, las columnas pueden dividirse en unión columna-cimentación, unión columna-columna y unión viga-columna.

Lo recomendado para estructuras prefabricadas es evitar en lo posible el fraccionamiento de las columnas, por lo que éstas pueden ser elaboradas con longitudes mayores a 20 m, o dependiendo de las facilidades y la maquinaria disponible para su transporte y manejo (ANDECE, 2019).

En las figuras 10 y 11 se observan columnas de sección cuadrada y circular, respectivamente.



*Figura 10.* Columna de sección cuadrada.

Fuente: Mundo del hormigón (2017). Obtenido  
[https://twitter.com/mundo\\_hormigon/status/943447182207803392](https://twitter.com/mundo_hormigon/status/943447182207803392)



*Figura 11.* Columna de sección circular.

Fuente: Archiexpo, (2020). Obtenido <https://www.archiexpo.es/fabricante-arquitectura-design/columna-prefabricada-7897.html>

### **1.1.3 Losas de entrepiso prefabricadas.**

Son elementos rígidos que dividen un piso de otro en un edificio, pueden ser monolíticos o en forma de vigas apoyándose en las columnas o en los muros estructurales. Trabajan a flexión en su parte superficial. Se encargan de desviar las cargas aplicadas perpendicularmente a su plano, horizontalmente hacia los apoyos por flexión en dos direcciones. La clasificación general de las losas indica que existen tres tipos fundamentales: macizas planas, macizas bordeportantes y nervadas. Las losas macizas planas no poseen vigas en sus lados por lo que se apoyan directamente sobre las columnas. Las losas macizas bordeportantes están apoyadas sobre vigas perimetrales, ya sea en dos o cuatro lados, de esta manera las cargas son transmitidas de la losa

hacia las vigas portantes y después hacia los apoyos verticales, sean estos columnas o muros estructurales. Por último, las losas nervadas se caracterizan por poseer nervios que se encargan de transmitir las cargas hacia las vigas portantes. Este tipo de losa se divide en unidireccionales y bidireccionales (Aguiluz, 2003; Novas, 2010).

Las losas de entrepiso pueden ser clasificadas como planas sólidas, perforadas, doble T y losa T. Sin embargo constructivamente la denominación habitual es referirse a losas macizas, alveolares o extruidas, con vigueta y bovedilla, y con vigas T y doble T. A continuación se detallan estas últimas (Aguiluz, 2003; Rodríguez, León, & Cabrera, 2013).

#### ***1.1.3.1 Losas macizas.***

Este tipo de losas puede no necesitar el empleo de un firme de concreto fundido en sitio. En la figura 12 se observa una losa maciza instalada en un proyecto de construcción prefabricada (Rodríguez, León, & Cabrera, 2013).

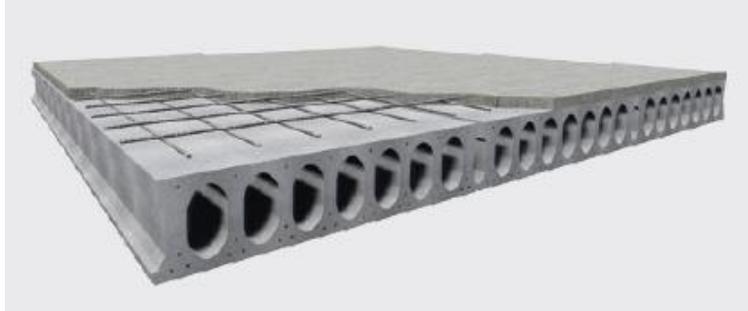


*Figura 12.* Losa maciza.

Fuente: KeeganPrecast, (2013). Obtenido [https://www.youtube.com/watch?v=\\_HS15blbx28](https://www.youtube.com/watch?v=_HS15blbx28)

### ***1.1.3.2 Losas alveolares o extruidas.***

Este tipo de losas presentan en su sección transversal ductos o vacíos a lo largo de toda su longitud. Encima de estas losas prefabricadas se coloca un firme de concreto colado en sitio el cual está generalmente reforzado con una malla electrosoldada. En la figura 13 se observa un ejemplo de este tipo de losas (Rodríguez, León, & Cabrera, 2013).



*Figura 13.* Losa alveolar o extruida.

Fuente: Techomax, (2020). *Catálogo de producto. Sistema de losas alveolares pretensadas.* p.5.

### ***1.1.3.3 Losas con viguetas y bovedilla.***

En este tipo de losas entre las viguetas de concreto, que hacen la función de cimbras permanentes, se ubican bloques alveolares ya sean de arcilla, concreto ligero o plástico. Se adiciona un firme de concreto colado en sitio. En la figura 14 se observa un ejemplo de este tipo de losas (Rodríguez, León, & Cabrera, 2013).



*Figura 14.* Losa con viguetas y bovedilla.

Fuente: Armalosa, (2020). Obtenido <http://armalosa.com/>

#### ***1.1.3.4 Losas con vigas T y doble T.***

Estas losas son usadas para pisos de grandes claros, actuando conjuntamente con un firme de concreto colado en sitio. En la figura 15 se muestra un ejemplo de este tipo de losas (Rodríguez, León, & Cabrera, 2013).



*Figura 15.* Losa con vigas T y doble T.

Fuente: Viprocosa prefabricados de concreto, (2020). Obtenido <http://www.viprocosa.com/portfolio/trabeta-y-tt/>

#### **1.1.4 Cimentaciones prefabricadas.**

Las cimentaciones se encargan de soportar el peso y las cargas transmitidas por columnas o muros de forma simultánea y transmitir las al suelo, trabajando sometidas a esfuerzos de flexión, y dependiendo su espesor de los momentos flectores que actuarán sobre ellos. Su uso está condicionado a la capacidad portante del suelo. Aunque existen diferentes tipos de cimentación, como elementos prefabricados suele predominar el uso de pilotes y zapatas, como se detalla a continuación (Perea, 2012; Novas, 2010).

#### ***1.1.4.1 Pilotes.***

Este tipo de elementos están clasificados como de cimentación profunda, pues permiten transmitir las cargas de la estructura a los estratos de mayor resistencia del suelo a una profundidad inviable técnica y económicamente mediante otro tipo de cimentación.

Los pilotes son especiales para terrenos donde exista circulación del agua subterránea o suelos superficiales con muy baja capacidad portante soportados por suelos de mejores características. Actualmente no existe limitación para su longitud, ya que los pilotes pueden ser empalmados empleando algún tipo de junta metálica, aunque si la longitud supera los 12 m se requieren medios especiales para el transporte de los elementos.

En la figura 16 se observa un pilote prefabricado y su armado de acero, y en la figura 17 el proceso de hincado de un pilote en campo (ANDECE, 2019).



*Figura 16.* Pilote y su armado de acero.

Fuente: Archiexpo, (2020). Obtenido <https://www.archiexpo.es/prod/ebawe-anlagentechnik-gmbh/product-69816-1579126.html>



*Figura 17.* Proceso de hincado de un pilote prefabricado.

Fuente: Archiexpo, (2020). Obtenido <https://www.archiexpo.es/prod/ebawe-anlagentechnik-gmbh/product-69816-1579126.html>

#### ***1.1.4.2 Zapatas.***

Estos elementos se distinguen por estar unidos a las columnas de la estructura y poseer un área superficial que transfiere las cargas al terreno. Sus dimensiones varían según la capacidad portante del suelo y la magnitud de las cargas a transmitir. En la figura 18 se observa un ejemplo de este tipo de elementos prefabricados (Novas, 2010; ANDECE, 2019).



*Figura 18.* Zapata prefabricada.

Fuente: Twitter, (2020). Obtenido

[https://twitter.com/mundo\\_hormigon/status/1030830634267299840?lang=da](https://twitter.com/mundo_hormigon/status/1030830634267299840?lang=da)

### **1.1.5 Muros prefabricados.**

Los muros estructurales son ampliamente utilizados en proyectos de edificación y se caracterizan por poseer una alta rigidez y ductilidad, lo cual les permite resistir de manera eficiente cargas laterales producidas por el viento y acciones sísmicas, disipando gran parte de la energía liberada. Otros muros aunque no cumplen una función propiamente estructural al no resistir cargas, son utilizados por la rapidez que ofrecen para realizar cerramientos. Como elementos prefabricados se suelen utilizar tres (3) tipos de muros: perimetrales, de cerramiento y de contención (Briceño & Carreras, 2013; Novas, 2010).

### ***1.1.5.1 Muros perimetrales.***

Consisten en cercados perimetrales conformados por columnas y paneles de concreto reforzado, obteniendo de esta manera una gran rigidez en el conjunto. Actualmente existen una gran variedad de estos muros para aumentar las posibilidades estéticas de los usuarios. En la figura 19 se observa un muro construido con elementos prefabricados (Novas, 2010; Carreño, 2015).



*Figura 19.* Muro perimetral prefabricado.

Fuente: Productosdeconcretocr, (2020). Obtenido <https://productosdeconcretocr.com/product/tapias-perimetrales/>

### ***1.1.5.2 Muros de cerramiento.***

Son paneles hechos de concreto reforzado utilizados principalmente por su alta resistencia a las cargas y al fuego, además de ser aislantes termo-acústicos. Se emplean especialmente en

edificios industriales, agroindustriales, deportivos y de vivienda, por sus aplicaciones estructurales y arquitectónicas. En la figura 20 se observan este tipo de muros (Novas, 2010; Carreño, 2015).



*Figura 20.* Muro de cerramiento prefabricado.

Fuente: Fibrit, (2020). Obtenido <https://fibrit.com/producto/muros-de-cerramiento/>

### ***1.1.5.3 Muros de contención.***

Su función es la de contener los esfuerzos producidos por el material de relleno natural o artificial que contengan, evitando los posibles deslizamientos o desprendimientos de suelo que ocasionaría el suelo sin este tipo de elementos. En la figura 21 se observa un muro de contención prefabricado (Novas, 2010; Carreño, 2015).



*Figura 21.* Muro de contención prefabricado.

Fuente: Archiexpo, (2020). Obtenido <https://www.archiexpo.es/prod/monachino-technology/product-80456-1562333.html>

## **1.2 Elementos no estructurales**

Los elementos no estructurales corresponden a aquellos que no hacen parte del sistema de soporte de una edificación, es decir, que pueden o no estar unidos a los elementos estructurales mostrados anteriormente pero que de igual manera deben ser capaces de resistir los movimientos de la estructura (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Estos elementos no estructurales suelen representar el mayor número de elementos prefabricados actualmente ya que permiten reducir tiempo y dinero siendo usados tanto en edificaciones totalmente prefabricadas, o parcialmente prefabricadas. También son comunes los prefabricados que no hacen parte de edificaciones, como alcantarillas, box culvert, postes de

alumbrado, entre otros. Todos ellos cumplen el principio de ser fabricadas en un lugar diferente al de su ubicación final, por lo que a continuación se mostraran algunos de estos elementos.

### 1.2.1 Sardineles.

También pueden denominarse como bordillos, son elementos que sirven de borde exterior en las aceras, así como para facilitar la detención y canalización de las aguas lluvias, en la figura 22 se observa un ejemplo de este tipo de elemento.



*Figura 22.* Sardineles prefabricados.

Fuente: El Cóndor Prefabricados S.A.S, (2020). *Catálogo de productos.* p.2

### 1.2.2 Cárcamos.

También conocidos como sumideros, son utilizados como cajas de inspección de aguas lluvias por la capacidad de filtración que poseen y ser de fácil remoción y mantenimiento, en la figura 23 se observa un ejemplo de este tipo de elemento.



*Figura 23.* Cárcamo prefabricado.

Fuente: El Precon S.A.S, (2020). Obtenido <https://www.elprecon.com/carcamos-rejillas>

### 1.2.3 Box culvert.

Son elementos de gran tamaño que en conjunto conforman un túnel, siendo construido para canalizaciones hidráulicas, colectores de drenaje, galerías técnicas, entre otras funciones, en la figura 24 se observa un ejemplo de este tipo de elemento.



*Figura 24.* Box culvert prefabricado.

Fuente: El Precon S.A.S, (2020). Obtenido <https://www.elprecon.com/box-culvert>

### 1.2.4 Bolardos.

Son postes de baja altura que sirven como separadores viales o como elementos de señalización en complejos urbanos, en la figura 25 se observa un ejemplo de este tipo de elementos.

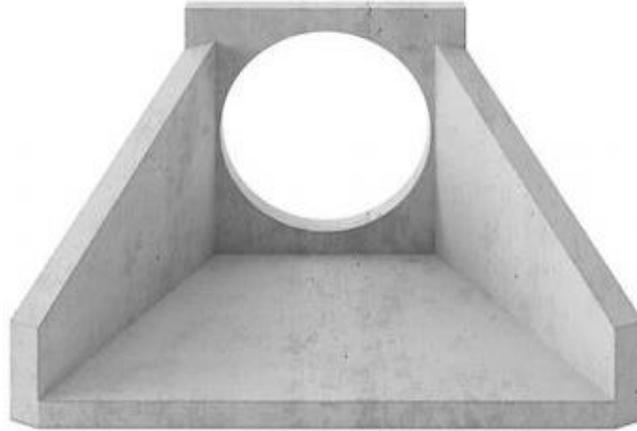


*Figura 25.* Bolardos prefabricados.

Fuente: El Precon S.A.S, (2020). Obtenido <https://www.elprecon.com/bolardos>

### **1.2.5 Alcantarillas.**

Son elementos contruidos con el fin de recolectar y transportar las aguas residuales y las aguas lluvias, pueden trabajar como sistemas independientes transportando solo aguas residuales, aguas lluvias, o una combinación de estas, en la figura 26 se observa un ejemplo de un componente de un alcantarillado pluvial.



*Figura 26.* Cabezal de un alcantarillado pluvial.

Fuente: EcoCret, (2020). Obtenido <http://www.ecocret.com.pe/alcantarillas-y-acc-sanitarios/cabezal-para-alcantarilla>

### **1.2.6 Postes.**

Son elementos utilizados principalmente como soporte de líneas áreas en los sistemas de media tensión eléctrica, alumbrado público, telefonía y líneas de transmisión, en la figura 27 se observa un ejemplo de este tipo de postes.



*Figura 27.* Postes prefabricados.

Fuente: EcoCret, (2020). Obtenido <http://www.ecocret.com.pe/alcantarillas-y-acc-sanitarios/cabezal-para-alcantarilla>

## **Capítulo 2. Características del sistema de construcción con prefabricados en concreto**

Se denomina como sistema de construcción al conjunto integro conformado por materiales y distintos elementos que al ser combinados siguiendo determinadas reglas técnicas y tecnológicas dan como resultado una obra completa. De esta manera, el sistema en si puede entenderse como una herramienta que permite dar solución a una amplia variedad de problemas y que busca dar una respuesta coherente para cada situación (Aguiluz, 2003).

La primera clasificación que surge de los sistemas constructivos es la de sistemas tradicionales y no tradicionales, entendiendo los primeros como aquellos que en determinado país presentan una mayor reglamentación y normativa que regula su implementación, y los segundos, como aquellos donde se utilizan materiales o técnicas novedosas o poco conocidas. En el caso de la prefabricación, existe cierta ambigüedad respecto a si es un sistema tradicional o no tradicional, pues en la actualidad existe una compleja normatividad referente a su uso producto de las experiencias de su aplicación en diversos países del mundo, donde la puesta en marcha de edificaciones prefabricadas representó un avance significativo en materia social y económica, y se vienen desarrollando proyectos de este tipo desde hace más de 80 años (Park, 1995; Alvia, Bravo, Mera, & Sánchez, 2017).

La prefabricación puede considerarse como un sistema de construcción, pues permite conformar estructuras completas empleando elementos estructurales y no estructurales

ensamblados en obra. Este sistema tiene como principal finalidad el buscar la mayor disminución posible del trabajo requerido en obra (Aguiluz, 2003).

## 2.1 Características principales del sistema de construcción con prefabricados en concreto

### 2.1.1 Modulación.

Corresponde al uso repetitivo de elementos de iguales características y dimensiones. El módulo es una pieza o conjunto de piezas que se repiten dentro de una construcción. Este módulo puede ser tomado como unidad de medida sirviendo como norma o regla para determinar los procesos a efectuar con el fin de unir el conjunto de piezas de forma fácil y económica. En la figura 28 se observa un ejemplo de módulo prefabricado (Aguiluz, 2003; Perea, 2012).



*Figura 28.* Edificio construido con módulos prefabricados.

Fuente: IsARquitectura Prefab, (2014). Obtenido <https://blog.is-arquitectura.es/2014/08/02/one9-edificio-de-nueve-plantas-con-modulos-prefabricados/>

### **2.1.2 Conocimiento de problemas prácticos en obra.**

Al momento de realizar cualquier construcción con prefabricados es indispensable contar con los equipos y maquinarias requeridos para el montaje y transporte de los elementos, contar con áreas para movilizarlos y demás aspectos que requiera cada proyecto en específico. Se considera este conocimiento como una característica de la prefabricación, pues el tamaño de los elementos a utilizar en obra depende en gran medida de las facilidades que ofrezca la tecnología disponible (Aguiluz, 2003; Novas, 2010).

### **2.1.3 Normalización.**

Hace referencia a la estandarización de las medidas de los elementos, así como el uso de una normativa tanto nacional como internacional que permite aprovechar los elementos disponibles en el mercado. Este es un aspecto de gran interés para los fabricantes, pues al contar con procedimientos avalados por instituciones u organizaciones de renombre, pueden producir en masa gran cantidad de elementos y darlos a disposición de los constructores y diseñadores (Aguiluz, 2003; Perea, 2012).

#### **2.1.4 Planificación del taller.**

Aunque el fabricante puede estandarizar sus elementos, generalmente existen proyectos con demandas tanto estructurales como arquitectónicas que deben ser satisfechas para cada proyecto en particular, por lo cual debe existir una adecuada intercomunicación entre los constructores, diseñadores y fabricantes, revisando conjuntamente los planos de los elementos a fabricarse y contar con la aprobación de cada una de las partes. Este es un tema de vital interés en la prefabricación, pues debe evitarse a toda costa que los elementos o alguno de ellos no encajen en la estructura lo cual representaría pérdidas económicas considerables (Perea, 2012; Aguiluz, 2003).

#### **2.1.5 Supervisión.**

En toda obra se requiere de personal encargado de la supervisión de los procesos en ejecución, sin embargo, en las obras prefabricadas la supervisión debe realizarse de manera estricta, ya que existe una amplia posibilidad de que los elementos no sean montados o colocados de forma correcta, además de llevarse a cabo un conjunto de tareas individuales de gran responsabilidad y cuidado, como es el proceso de empalme de los elementos (Aguiluz, 2003; Perea, 2012).

## **2.2 Clasificaciones dentro del sistema de construcción con prefabricados en concreto**

La siguiente clasificación está basada en el proceso que se emplea para la producción de elementos prefabricados.

### **2.2.1 Sistemas cerrados.**

En este sistema los elementos prefabricados distribuidos por determinada empresa u organización no pueden ser intercambiados con elementos provenientes de otras marcas. Los elementos son fabricados según las especificaciones internas de cada empresa, de manera que existe una compatibilidad interna que se ajusta a las demandas de cada proyecto en específico. Se asocia a este sistema con la construcción con grandes paneles de concreto (Escrig, 2008; Vargas, 2007).

El sistema de prefabricación cerrada ha perdido fuerza en la últimas décadas debido a que limita las posibilidades estructurales y arquitectónicas tanto de proyectistas como de constructores, además, edificios construidos bajo este sistema han presentado serios problemas, algunos se han derrumbado en forma de “castillo de naipes”, lo que supone un riesgo alto para las personas que se encuentran debajo de las losas o paneles que conforman la estructura. Sin embargo, a día de hoy se conservan edificios construidos bajo este sistema y que aún presentan

una funcionalidad adecuada. En la figura 29 se observa un edificio construido bajo este sistema (Vargas, 2007; Escrig, 2008).



*Figura 29.* Edificio Lagutenko-Posokhin ubicado en Moscú, Rusia, construido con sistemas cerrados de prefabricación.

Fuente: Escrig Pérez, (2010). Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elementos prefabricados de hormigón, p.2

### **2.2.2 Empleo parcial de componentes.**

Este sistema hace referencia a que existe una gama de elementos prefabricados que pueden ajustarse de manera adecuada a las solicitudes de proyectos que no son efectuados con una totalidad de elementos prefabricados de un solo proveedor, o en construcciones convencionales donde se requieran elementos en menor medida (Escrig, 2008; Salas, 2008).

### **2.2.3 Sistemas tipo mecano.**

Este sistema es el resultado de un acuerdo por parte de varias marcas y proveedores que deciden conjuntamente seguir ciertos lineamientos para distribuir elementos prefabricados que puedan ser usados en un edificio o cualquier otro tipo de construcción. De esta forma se sigue un lenguaje común el cual debe ser previamente definido y respetado (Escrig, 2008; Salas, 2008).

### **2.2.4 Sistemas abiertos.**

En este sistema los elementos prefabricados pueden ser intercambiables, es decir, pueden provenir de diferentes marcas o proveedores gracias a que son fabricados siguiendo reglas de compatibilidad de las juntas y que permiten su adecuado montaje en campo (Vargas, 2007; Escrig, 2008).

En la actualidad este es el sistema preferido por las ventajas que ofrece, ya que permite utilizar elementos con una mayor funcionalidad, existe una gran diversidad de componentes constructivos, y al existir una compatibilidad universal de las juntas aumentan las posibilidades tanto arquitectónicas como estructurales al combinarse los elementos de diferentes formas, lo que permite obtener soluciones constructivas más variadas, basados en reglas definidas y de gran rigor. En Colombia, un ejemplo de este tipo de sistemas son las viviendas de interés social como se muestra en la figura 30 (Salas, 2008).



*Figura 30.* Viviendas prefabricadas en Colombia.

Fuente: Karmod, (2020). Obtenido <https://blog.karmod.es/casas-prefabricadas-colombia/>

### **2.3 Proceso de construcción de elementos prefabricados en concreto**

La conformación del elemento prefabricado juega un papel muy importante, pues en el proceso de armado del elemento debe tenerse presente una serie de procedimientos que permitan obtener un producto final conforme a las especificaciones requeridas para cada proyecto. La gran ventaja de los prefabricados, es que generalmente son fabricados en plantas de producción que cuentan con las herramientas, materiales y equipos necesarios para obtener un producto final de gran calidad. Aunque también se elaboran elementos prefabricados en obra, lo común es que estos elementos lleguen terminados al sitio para su montaje. La metodología a emplear depende de los procedimientos internos de cada empresa y de las facilidades con que cuente el constructor para el transporte y montaje de los elementos, pero generalmente se sigue un esquema muy similar al descrito a continuación.

### **2.3.1 Fabricación.**

Los distintos elementos prefabricados son elaborados en moldes o baterías que se apoyan sobre superficies especiales. Estos moldes se caracterizan por poseer laterales de fácil retiro, en la figura 31 se observa un tipo de molde usado para prefabricados. Se inicia el proceso limpiando los moldes de residuos de usos anteriores o de cualquier suciedad presente. Las superficies internas del molde son recubiertas con una película de antisol o desmoldante para evitar que el concreto se pegue. Después se aseguran los moldes mediante accesorios y marcos que eviten cualquier tipo de movimiento. Se coloca la armadura de acero de acuerdo a los requerimientos estructurales de cada elemento, siendo separadas con plástico para cumplir las exigencias de recubrimiento necesarias. Después se instalan los distintos accesorios que servirán como uniones de los distintos elementos. En este punto del proceso, se realiza una inspección de calidad que garantice que los refuerzos y demás accesorios han sido debidamente colocados. Hecha la verificación se procede a vaciar el concreto en los moldes y a vibrarlo con los equipos destinados para tal fin. Se pulen las superficies externas de los elementos para dar el mejor acabado posible. Después se retiran los moldes para el curado de los elementos (Meneses, 2007).



*Figura 31.* Molde para vigas prefabricadas en concreto.

Fuente: Directindustry, (2020). Obtenido <https://www.directindustry.es/prod/sateco/product-40963-1738978.html>

### **2.3.2 Transporte de elementos a la obra.**

Para realizar el transporte de los elementos se requiere de camiones, tracto camiones o cualquier máquina de tiro que permita que los elementos sufran el menor impacto posible. Se utilizan equipos que permitan ubicar los elementos sobre las máquinas, apoyándose los elementos sobre estructuras metálicas. Llegado al sitio de acopio en obra, se usan grúas ya sean fijas o móviles para ubicar los elementos en el sitio establecido antes del montaje. En la figura 32

se observa un tracto camión utilizado para el transporte de elementos prefabricados (Meneses, 2007).



*Figura 32.* Transporte de vigas prefabricadas al sitio de obra.

Fuente: Eurogruas, (2020). Obtenido <https://www.eurogruas.com/equipos-y-maquinaria/84-empresa?start=56>

### **2.3.3 Montaje y juntas.**

Empleando las grúas los elementos son elevados hasta su posición final dentro de la construcción. Al mismo tiempo, se van realizando las uniones correspondientes en las juntas destinadas para tal fin. Cuando se realizan las uniones, las juntas son selladas con mezclas de concreto. En la figura 33 se observa el montaje de un elemento prefabricado (Meneses, 2007).



*Figura 33.* Montaje de una viga prefabricada.

Fuente: Eurogruas, (2020). Obtenido <https://www.eurogruas.com/equipos-y-maquinaria/84-empresa?start=56>

#### **2.3.4 Terminaciones.**

Esta última parte del proceso corresponde a los acabados que se consideren necesarios sobre los elementos prefabricados, ya sea aplicando algún revoque, pañete, texturizado, o demás trabajos que requieran los elementos (Meneses, 2007).

En el Apéndice C se muestra un ejemplo del proceso de fabricación de un elemento prefabricado.

### **Capítulo 3. Consideraciones para el diseño y fabricación de elementos estructurales prefabricados en concreto**

El diseño de cualquier elemento prefabricado en concreto se basa en lograr una correcta integración del elemento tanto estructural como arquitectónicamente, ya que este debe ocupar un lugar específico dentro de la estructura y cumplir su objetivo dentro de la misma, conectándose mediante una unión adecuada, por lo que para el diseño de estos elementos deben considerarse las cargas involucradas y la trayectoria de estas (Carreño, 2015).

Al igual que los elementos de construcciones monolíticas convencionales, las construcciones prefabricadas en concreto, o por lo menos donde se incluyen algunos elementos, deben cumplir con una serie de requisitos que garanticen su óptimo estado y desempeño (Rodríguez, León, & Cabrera, 2013).

Los edificios son generalmente las estructuras donde los elementos prefabricados deben cumplir con mayores requerimientos para su puesta en obra, siendo los edificios de planta ortogonal los considerados como ideales para utilizar prefabricados, debido a su regularidad y la repetitividad de sus componentes (ANDECE, 2019).

### 3.1 Normativa existente sobre prefabricados

En Colombia según lo indicado en el artículo 12 de la Ley 400 de 1997 se permite el uso de sistemas prefabricados, entendiéndose el sistema como todas las fases que incluye la prefabricación desde la elaboración de elementos hasta su montaje en obra. Si el sistema prefabricado, ya sea total o parcialmente, presenta algún aspecto no contemplado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), es aceptado si cumple con dos procedimientos. El primero es utilizar en el diseño sísmico los criterios indicados en el numeral 3.1.7 del título A de la NSR-10. El segundo es obtener la autorización de la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, quien es la encargada de suministrar los conceptos sobre el uso de materiales, métodos y sistemas que están comprendidos en la Ley 400 de 1997 y por tanto en la NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

El numeral 3.1.7 del título A de la NSR-10, establece que el sistema prefabricado debe ser diseñado de tal forma que las fuerzas sísmicas sean obtenidas utilizando un coeficiente de capacidad de disipación de energía básico igual a uno y medio ( $R_o = 1.5$ ). Este coeficiente corresponde a una medida de la capacidad que posee el sistema de resistencia sísmica al disipar la energía de los movimientos sísmicos que permiten que el sistema actúe inelásticamente (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

En el artículo 10 de la Ley 400 de 1997 se expresa que si el diseñador estructural logra presentar la evidencia suficiente para demostrar que el sistema alternativo, en este caso prefabricado, cumple con todos los requisitos referentes a seguridad, durabilidad y resistencia sísmica, así como ajustarse a los procedimientos para la presentación de documentos con los cuales se demuestre la licencia de construcción de la edificación, demostraciones, memoriales sobre la aceptación de su responsabilidad en las metodologías de análisis y diseño, además de obtener la autorización de la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, puede utilizar el sistema prefabricado de su elección, pero en ningún caso podrá utilizar un valor de  $R_o$  mayor al establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) para sistemas de resistencia sísmica que sean construidos monolíticamente con el mismo material (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Adicional a las indicaciones y consideraciones establecidas en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), se establece la obligatoriedad de las Normas Técnicas Colombianas NTC, concernientes al uso de elementos prefabricados en concreto, ya que el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), es un organismo reconocido por el gobierno colombiano. Algunas de las normas a considerarse son la NTC 4109: Prefabricados de concreto. Bordillos, cunetas y topellantas, la NTC 6093: Etiquetas ambientales tipo I Sello ambiental colombiano criterios ambientales para prefabricados en concreto, entre otras. En caso que no se encuentre una NTC para un elemento o caso específico, podrá utilizarse las normas de la Sociedad Americana de Ensayo y Materiales ASTM (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

### **3.2 Consideraciones para el diseño de elementos prefabricados**

En el título C del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) se define al concreto prefabricado como aquel elemento construido en un lugar diferente de su ubicación final en la estructura. Por lo tanto, las consideraciones para la fabricación de los elementos deben cumplirse tanto para los elementos prefabricados construidos en plantas fijas como aquellos construidos a pie de obra para su posterior montaje. En especial, deben ser especificadas todas las tolerancias establecidas para los elementos prefabricados así como los elementos de interconexión (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Así mismo, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) permite que el elemento prefabricado sea de concreto normal (reforzado), compuesto y preesforzado. En este capítulo se considera el diseño elementos prefabricados con concreto normal (reforzado), aunque se harán comentarios de otros tipos de concreto cuando sea necesario (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Los elementos prefabricados pueden ser diseñados siguiendo las consideraciones generales aplicadas a los elementos construidos monolíticamente, es decir, en su posición final en obra. Sin embargo, existen situaciones que difieren del diseño convencional, las cuales deben ser consideradas por el diseñador (Palermo & Pampanin, 2008; Rodríguez, León, & Cabrera, 2013).

Cuando se diseñan elementos prefabricados se debe buscar una integración de estos para permitir la integridad de la estructura bajo la acción de cargas verticales y horizontales, siendo las conexiones los componentes por los cuales se transmiten las cargas (ANDECE, 2019).

Las cargas a emplear en cada uno de los elementos prefabricados deben ser los mínimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Usualmente todos los elementos deben contemplar para su análisis y diseño cargas por peso propio, carga muerta, carga viva y carga de sismo (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010; Carreño, 2015).

### **3.2.1 Distribución de fuerzas entre elementos.**

Todas las fuerzas distribuidas perpendicularmente en el plano de los elementos deben ser establecidas por medio de análisis o ensayos, ya que las cargas tanto lineales como puntuales pueden ser debidamente distribuidas después que se asegure la rigidez torsional del elemento y que el cortante pueda ser transmitido a través de las juntas, esta es la razón principal por la cual se prefiere el uso de losas alveolares o losas sólidas en comparación de las doble T. Las fuerzas que generan tracciones deben ser tomadas por el acero de refuerzo, mientras que las de cortante y de compresión pueden ser tomadas por la sección de concreto. Para representar la distribución de fuerzas en los elementos se utilizan diagramas, en los cuales se representan los esfuerzos que soportará un elemento estructural en específico (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

### 3.2.2 Aspectos a cumplir en el diseño de elementos prefabricados.

La principal diferencia en el diseño de un elemento estructural prefabricado y uno construido en sitio u obra, es el valor que se utiliza para el coeficiente de disipación de energía básico, pues para elementos prefabricados se debe emplear únicamente un valor de 1,5, mientras que para elementos construidos en sitio este valor oscila entre 2,5 y 7 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Así mismo existen casos especiales que deben ser aplicadas a los elementos prefabricados. El primer caso se da en losas de piso o cubiertas en una dirección y en paneles de muros prefabricados preesforzados, cuando estos posean anchos menores a 3,7 m y no exista conexión mecánica se puede omitir el uso de refuerzos transversales para los efectos de retracción y temperatura. El segundo caso corresponde a los muros prefabricados no preesforzados, estos deben ser diseñados con un área de refuerzo vertical y horizontal no menor a  $0,001A_g$ , donde  $A_g$  representa el área bruta del muro. Así mismo la separación del refuerzo de acero no debe ser mayor a 5 veces el espesor del muro, para muros interiores se acepta un valor máximo de 7,5 cm y para muros exteriores un valor máximo de 4,5 cm (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

### **3.2.3 Integridad estructural.**

En toda construcción prefabricada deben utilizarse amarres de tracción en los sentidos transversales, longitudinales y verticales, así como alrededor del perímetro de la estructura con el fin de unir efectivamente los elementos. En el caso de los amarres transversales, estos pueden ser espaciados uniformemente en el caso de muros portantes, paneles y en el concreto afinado de piso. Los amarres longitudinales que salgan de las losas deben ser debidamente empalmados en las juntas. En los muros de la edificación todos los amarres verticales deben ser continuos en toda su altura. Por último, los amarres perimetrales, aunque necesarios, no requieren ser sumados a los amarres longitudinales y transversales requeridos (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

### **3.3 Conexiones entre elementos estructurales prefabricados en concreto**

Se ha demostrado que pueden existir variaciones sustanciales entre el comportamiento de elementos prefabricados respecto a los mismos elementos pero contruidos en obra. Por lo que las conexiones son un aspecto de vital importancia en las construcciones prefabricadas, debido a que se encargan de transmitir las fuerzas originadas de los procesos de retracción, flujo plástico, variación de temperatura, deformaciones elásticas, asentamientos diferenciales, viento y sismo (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente permite el uso de mortero, llaves de cortante, conectores mecánicos, conexiones con refuerzo de acero, afinado de piso reforzado, o una combinación de estos métodos, para transmitir las fuerzas entre los elementos prefabricados. Sin embargo, actualmente la transferencia de cargas es comúnmente realizada mediante tres mecanismos de unión: conectores mecánicos, soldadura y por gravedad. Para rellenar las zonas o los espacios donde se realiza la conexión y evitar la exposición del acero a procesos de corrosión o a los cambios de temperatura, se puede utilizar materiales de relleno como mezcla de concreto, siliconas o fibras de vidrio (Aguiluz, 2003; Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

### **3.3.1 Requerimientos normativos para el uso de conectores mecánicos.**

Consisten en piezas metálicas que permiten conectar las varillas que sobresalen de los elementos prefabricados. Actualmente en el mercado existe una amplia gama de este tipo de dispositivos y su selección se basa generalmente en las facilidades que ofrezca para su instalación y en las solicitaciones de esfuerzos en las uniones. El uso de los conectores mecánicos es permitido por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, y en el numeral C.12.14.3.2 establece que estos dispositivos deben desarrollar en tracción o compresión, según el requerimiento, al menos  $1.25 f_y$  (esfuerzo de fluencia, MPa) de la barra. En la figura 34 se observa un tipo de conector mecánico utilizado para unir dos elementos prefabricados en concreto (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).



*Figura 34.* Conector mecánico utilizado para unión de elementos prefabricados en concreto

Fuente: Castillo Herrera, (2016). Conectores mecánicos, p.40.

### **3.3.2 Requerimientos normativos para el uso de soldadura.**

Al igual que el uso de conectores mecánicos, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, avala este tipo de unión estipulando que el empalme soldado debe desarrollar por lo menos el  $1.25 f_y$  (esfuerzo de fluencia en MPa) de la barra. Sin embargo, los requerimientos técnicos para usar soldaduras son de mayor exigencia, debiendo dicho proceso ser realizado por personal especializado y usando un tipo de soldadura especial para estas uniones (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

### 3.3.3 Conexión por gravedad.

Aunque no es un procedimiento detallado en las normas, consiste básicamente en apoyar un elemento sobre otro, y unirlos mediante varillas de acero que traspasan los orificios del elemento prefabricado en la zona específica de la unión. De esta manera, el elemento queda soportado y puede ser asegurado mediante un dispositivo mecánico de tornillo o de terminación. En la figura 35 se observa un ejemplo de este proceso (Aguiluz, 2003; Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).



*Figura 35.* Unión de elementos prefabricados por gravedad

Fuente: Bonelli, (2017). Tecnología aplicada al prefabricado mediante diseño de conexiones según ACI 318 – Experiencia en Japón y EE.UU, p.56

### **3.4 Ejemplos de elementos estructurales prefabricados en concreto para edificaciones**

Como se evidencia en los dos capítulos anteriores, actualmente existen una gran variedad de elementos estructurales que son elaborados empleando técnicas de prefabricación, sin embargo, en lo referente a su diseño, los elementos no presentan diferencias sustanciales respecto a un elemento construido en sitio, por lo que tanto los procedimientos como los sistemas de cálculo aplicados convencionalmente pueden ser utilizados para el diseño de elementos prefabricados en concreto (Elliot, Davies, & Gorgun, 1998; Rodríguez, León, & Cabrera, 2013).

Los lineamientos establecidos por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 para el diseño y construcción de edificaciones deben ser aplicados tanto a construcciones convencionales como prefabricadas. Entre estos lineamientos se encuentra la realización de estudios geotécnicos, diseños arquitectónicos, diseños estructurales, revisión de los diseños, construcción y supervisión técnica (Sanabria, 2017).

Aunque todos los lineamientos anteriores pueden ser manejados por un profesional encargado de la proyección de la estructura, generalmente se recomienda que sea una empresa prefabricadora la encargada del proceso de diseño y construcción, pues estas empresas cuentan con el conocimiento y la experiencia necesaria para desarrollar este tipo de proyectos (ANDECE, 2019).

Es usual que las empresas prefabricadoras ofrezcan un edificio o estructura completa, incluyendo todos los elementos estructurales (vigas, columnas, losas y zapatas), así como otros elementos, especialmente cerramientos, entre otros (ANDECE, 2019).

Lo anterior indica que el diseño del elemento prefabricado está condicionado al diseño del edificio o estructura, por lo que no puede considerarse propiamente como un proceso individual, es decir, las dimensiones de los elementos dependen de las solicitudes, por tanto, la empresa prefabricadora se encarga de fabricar los elementos para cada proyecto específico. Por tal razón, a continuación se describirá el diseño de las losas de entrepiso propuesto por la empresa prefabricadora Titán Cemento, la cual cuenta con una amplia experiencia en el diseño y construcción de edificaciones prefabricadas en Colombia (Sanabria, 2017).

El diseño propuesto fue aceptado y construido en la ciudad de Bogotá, Colombia. Hace parte de una edificación de 3 pisos y un sótano, soportada por columnas, vigas y un muro de contención perimetral en el sótano, con una altura libre en el sótano de 3,54 m, de 4,40 m en el piso 1, y 3,80 m en los pisos 2 y 3. Todos los elementos estructurales fueron prefabricados (Sanabria, 2017).

En cuanto a las dimensiones de los elementos estructurales, las columnas cuentan con una sección de 50 cm/50 cm, las vigas son de tipo pretensadas con sección de 45 cm/60 cm y de 50 cm/60 cm para los pisos 1, 2 y 3, y vigas sin pretensado de 45 cm/80 cm, las cuales son las vigas

principales de la estructura, más vigas construidas en sitio de 30 cm/27 cm para el sótano. Los muros cuentan con un espesor de 25 cm (Sanabria, 2017).

En el caso específico de las losas de entrepiso, la empresa considero cargas permanentes adicionales al peso de la estructura de  $2750 \text{ N/m}^2$  ( $280 \text{ kg/m}^2$ ) tanto para oficinas con particiones móviles como para cubierta. También consideró cargas de uso de  $2000 \text{ N/m}^2$  ( $200 \text{ kg/m}^2$ ) para las oficinas y de  $1000 \text{ N/m}^2$  ( $100 \text{ kg/m}^2$ ) para la cubierta. De esta manera y aplicando los cálculos correspondientes propusieron construir para el sótano las losas de acuerdo a lo ilustrado en la figura 38, mientras que para las losas de entrepiso de los demás niveles propusieron las losas plasmadas en la figura 36. El término V.P. en la figura corresponde a Viga Principal (Sanabria, 2017).

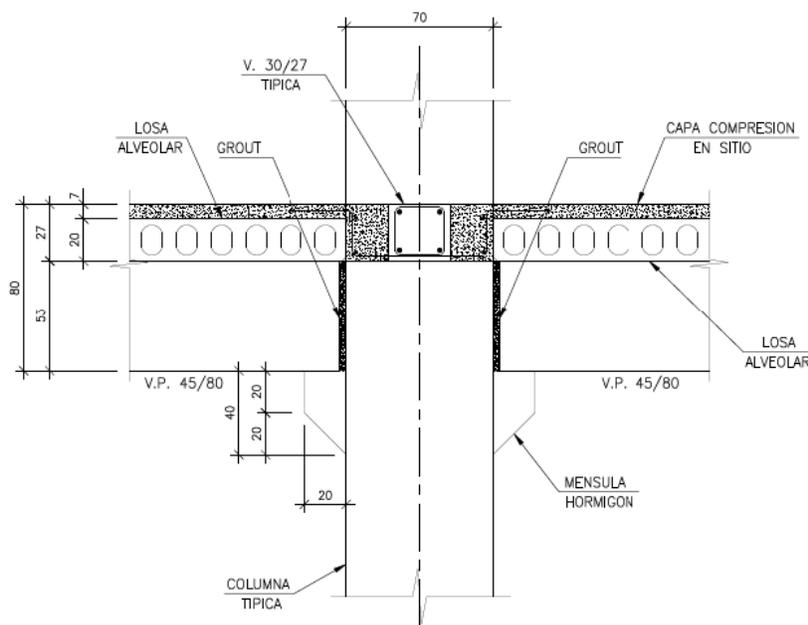
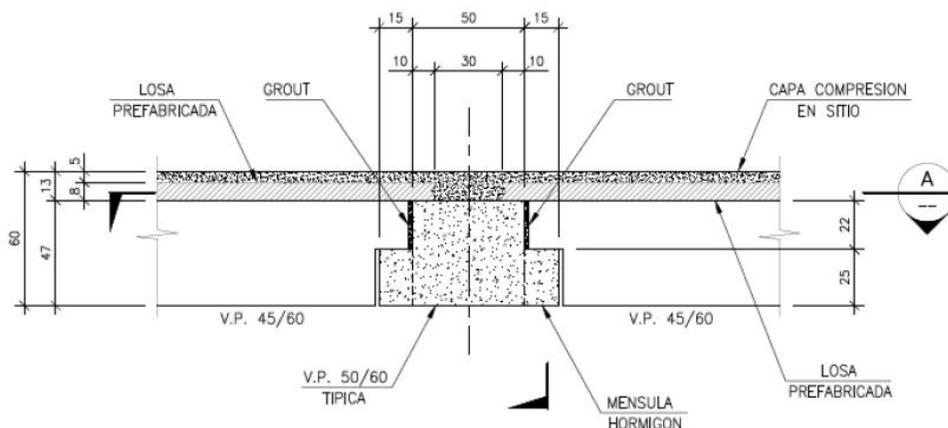


Figura 36. Losas del sótano

Fuente: Sanabria, (2017). Análisis comparativo entre procesos de diseño y construcción de los sistemas tradicional y prefabricado de losas de entrepiso para edificaciones de hasta 4 niveles, p.57

Se observa en la figura 36 que la empresa prefabricadora propuso una losa tipo alveolar, sobre la cual se construye en sitio una superficie de concreto de 7 cm de espesor. Además la sección de la columna es suficientemente grande para soportar y contener la viga de 30x27 cm (Sanabria, 2017).

Ahora, en la figura 37 se observa que la empresa prefabricadora propuso una losa maciza que se soporta sobre las vigas portantes transmitiendo las cargas. Al igual que en la losa anterior fue necesario construir en sitio una capa de compresión, pero esta vez de 5 cm de espesor. (Sanabria, 2017).



*Figura 37.* Unión viga-losas de entrepiso

Fuente: Sanabria, (2017). Análisis comparativo entre procesos de diseño y construcción de los sistemas tradicional y prefabricado de losas de entrepiso para edificaciones de hasta 4 niveles, p.58. Nota: unidades en cm.

Ambas propuestas se basan en las experiencias de la empresa Titán Prefabricados, sin embargo, debe considerarse que otras empresas pueden proponer un diseño diferente, por ejemplo, en México, ante una solicitud similar se proponen generalmente losas de doble T,

como se muestra en la figura 38. Además, para la unión entre la losa y la viga es común emplear el sistema mostrado en la figura 39.



Figura 38. Losas de doble T

Fuente: Reinoso *et al*, (2000). Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas, p.136.

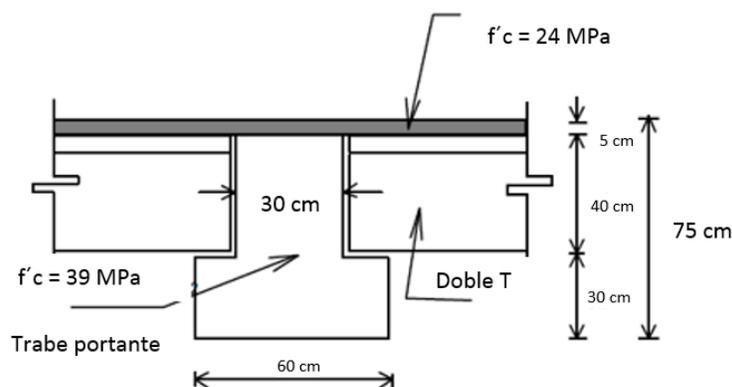


Figura 39. Unión viga-losa

Fuente: Reinoso *et al*, (2000). Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas, p.137. Nota: dimensiones en cm.

La empresa Titán Prefabricados no publicó la forma del diseño de las zapatas, sin embargo, tanto en Colombia, como en otros países es común utilizar diseños como el mostrado en la figura 40. Las dimensiones están basadas en los requerimientos de un edificio similar al construido por la empresa Titán Prefabricados.

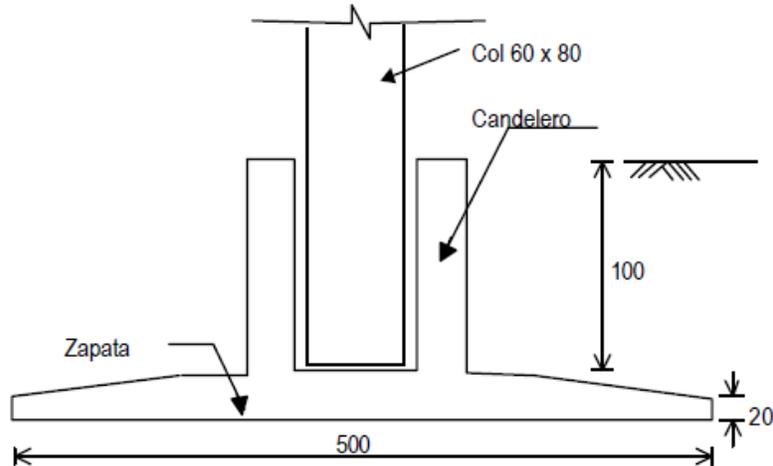


Figura 40. Zapata prefabricada

Fuente: Reinoso et al, (2000). Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas, p.144.  
 Nota: dimensiones en cm.

### 3.4.1 Ejemplo de una cimentación prefabricada.

Como se mencionó en capítulos anteriores, la cimentación es la encargada de transmitir al suelo las cargas soportadas por las columnas y muros, distribuyéndolas adecuadamente en el terreno, garantizando que no se produzcan deformaciones o asentamientos no permisibles que puedan generar afectaciones en la estructura, ya sea en los demás elementos estructurales, o en los no estructurales (Calsin & Veliz, 2014).

Tanto en construcciones convencionales como prefabricadas, las cimentaciones deben ser diseñadas de acuerdo a los parámetros del suelo, los cuales son determinados mediante un estudio de mecánica de suelos, con el fin principalmente de obtener la presión admisible del

terreno. En ambos casos se calcula la presión neta del suelo y se realiza un predimensionamiento de la zapata (Calsin & Veliz, 2014).

Cuando se diseña una zapata convencional, es decir, para construcción in situ en la obra, lo primero que se considera es la excentricidad a la cual está sometida la zapata, si es aislada, combinada, o continua. Después se toman las cargas actuantes: de servicio y últimas, para realizar el diseño por flexión. Posteriormente se realizan las verificaciones del corte por flexión y punzonamiento, según lo indicado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (Calsin & Veliz, 2014).

El procedimiento anterior se realiza de igual forma para una zapata prefabricada, sin embargo, se hace necesario considerar el anclaje entre la zapata y la columna, por lo que se hace necesario diseñar un cáliz, el cual consiste en una cajuela o caja para el empotramiento de la columna, como la mostrada en la figura 40. Generalmente se permite una holgura o espaciado de 5 cm, entre las paredes y la parte inferior del cáliz respecto a la columna. El espacio debe ser rellanado con una mezcla de mortero fluido, o con otro material de relleno (Calsin & Veliz, 2014).

En cuanto a las dimensiones específicas del cáliz, este debe tener una altura superior a 1,5 veces la medida del lado mayor de la columna a soportar. El grosor de las paredes del cáliz, debe ser igual o mayor a  $1/3$  de la altura del cáliz para garantizar un óptimo comportamiento. En la figura 41, se muestra un la forma generalmente usada de zapatas prefabricadas (Calsin & Veliz, 2014).

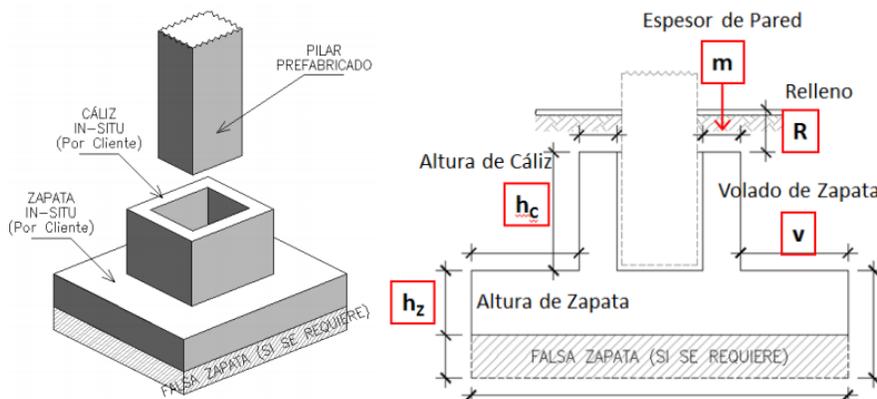


Figura 41. Características de una zapata prefabricada

Fuente: *Calsin y Veliz* (2014). Propuesta de diseño estructural de un edificio comercial de 4 pisos con estructuras de concreto industrializado y placas de concreto in situ en la ciudad de Lima Metropolitana, p.85

### 3.5 Empresas prefabricadoras en Colombia

En Colombia actualmente son varias las empresas dedicadas al diseño, fabricación y montaje de elementos estructurales en concreto. A continuación se muestra una lista de las empresas con mayor experiencia y renombre en el país, las cuales pueden encargarse de proyectos con este tipo de elementos, además de brindar la asesoría necesaria.

#### 3.5.1 El Precon.

Esta es una de las empresas más conocidas a nivel nacional, ya que cuenta con una experiencia mayor a 20 años en el mercado, especializándose en el diseño y fabricación de elementos prefabricados en concreto destinados principalmente a espacios públicos. Se encuentra

ubicada en la ciudad de Bogotá, en la Autopista Medellín costado Norte. Puede ser contactada a los números celulares: 3125933840, 3002081101 y 3115149414, y mediante el correo electrónico: [elprecon@hotmail.com](mailto:elprecon@hotmail.com)

Entre el catálogo de productos ofrecidos por esta empresa se encuentran cárcamos, rejillas, cañuelas, bordillos, sardineles, bloques, placa huellas peatonales o vehiculares (ver figura 42), alfajías, adoquines, bancas, paneles para muros, bolardos y box culvert. En el Apéndice A, se muestra el catálogo completo de productos ofrecidos por esta empresa.



*Figura 42.* Placa huella peatonal prefabricada

Fuente: El Precon, (2020). Obtenido <https://www.elprecon.com/catalogo>

### 3.5.2 Titán cemento.

Esta es considerada la mayor empresa prefabricadora de Colombia, contando con más de 80 años de experiencia en el mercado, incursionando incluso en países como Perú y Panamá. Esta empresa se encarga del diseño, fabricación y montaje de los elementos prefabricados tanto para edificaciones, como para otro tipo de infraestructuras: alcantarillados, acueductos, entre otros. En las figuras 43 y 44 se observan dos de los proyectos ejecutados por esta empresa. En el Apéndice A, se muestra el catálogo completo de productos ofrecidos por esta empresa.



*Figura 43.* Estación de bomberos bicentenario, ubicado en la ciudad de Bogotá

Fuente: Titán Cemento, (2020). Obtenido <http://www.titancemento.com/productos>



*Figura 44.* Edificio Unicentro, ubicado en la ciudad de Pasto

Fuente: Titán Cemento, (2020). Obtenido <http://www.titancemento.com/productos>

Titán cemento puede ser contactado a través de los siguientes medios:

Correo electrónico: [ventas@titancemento.com](mailto:ventas@titancemento.com)

En Colombia:

Bogotá, Colombia, oficina principal, y planta ubicada en Cota Cundinamarca: PBX (571) 3353550 Fax (571) 3353550

Sede Barranquilla, con planta en Soledad, Atlántico: Teléfonos (575) 3435040, 3420237 y 3420783.

Sede Medellín, con planta en Girardota, Antioquía: Teléfonos (574) 2745255 y 274 9466.

En Panamá:

Ciudad de Panamá, Panamá: Teléfonos: (507) 2662444 y 2209172.

En Perú:

Lima, Perú: (511) 430 0280 Fax (511) 430 0641.

### **3.5.3 El cóndor prefabricados.**

Esta es una empresa relativamente reciente, fundada en el año 2007, se ha dedicado exclusivamente a la elaboración de elementos prefabricados en concreto, como sardineles, bloques, losetas, adoquines, bordillos, cañuelas y rejillas. En el Apéndice A, se muestra el catálogo completo de productos ofrecidos por esta empresa.

Esta empresa fue consultada durante el desarrollo de la presente investigación, brindado información referente a los precios de los elementos prefabricados ofrecidos por la empresa. El listado de precios se muestra en el Apéndice B.

El cóndor prefabricados puede ser contactada en la ciudad de Bogotá, Colombia, a través de los siguientes números celulares: 3134230803, 3214869434, 3212007397 y 3134607805, y por medio del correo electrónico [ventas@elcondorprefabricados.com](mailto:ventas@elcondorprefabricados.com).

### 3.5.4 La Fama.

Esta empresa se encuentra ubicada en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander. Se dedica principalmente a la fabricación y venta de elementos prefabricados en concreto como tuberías, bebederos, bloques, anillos para pozos corrientes y reforzados. Esta empresa es dirigida por Judith Campo, la cual puede ser contactada por el siguiente número celular: 314 510 1788. El listado de precios se muestra en el Apéndice B.

De las figuras 45 hasta la 47 se observan dos de estos elementos, los cuales fueron fotografiados durante una visita a las instalaciones de esta empresa.



*Figura 45.* Anillos en concreto prefabricado

Fuente: Autores, (2020)



*Figura 46.* Bebederos para ganado

Fuente: Autores, (2020)



*Figura 47.* Bloques en concreto

Fuente: Autores, (2020)

Esta empresa tiene su área de influencia en la ciudad de Ocaña y en los municipios circunvecinos. Por su tamaño de operación, empleados e ingresos, está clasificada como una

microempresa. Los procesos de fabricación de los elementos son relativamente artesanales, sin embargo, buscan acercarse a los estándares que garanticen un producto idóneo. Realizan la venta de los elementos por pedido. Han realizado contratos con el Instituto Nacional de Vías INVIAS.

El concreto utilizado para la fabricación de los elementos, tiene una dosificación 1:2:4, empleando cemento tipo I de la marca Argos. Para los anillos, bebederos y demás elementos reforzados, utilizan acero de  $\frac{1}{4}$ "', en la figura 48 se observa el acero de un anillo. La fundición de los elementos la efectúan en las horas de la mañana, desencofrando las formaletas exteriores en las horas de la tarde. Los elementos son ubicados manualmente en el acopio donde permanecen mínimo 28 días.



*Figura 48.* Acero de refuerzo

Fuente: Autores, (2020)

Los elementos no reciben ningún tipo de curado, sin embargo, al estar a la intemperie reciben la humedad del ambiente y las aguas lluvias. El suministro de materiales es realizado por un proveedor de arena en el corregimiento de Montecitos, mientras que el triturado es comprado en el municipio de Ocaña a la empresa Trituradora El Guayabal S.A.S., el cual realiza un proceso de trituración certificado. En la figura 49 se observa un conjunto de anillos prefabricados en concreto puestos en venta.



*Figura 49.* Anillos prefabricados en concreto

Fuente: Autores, (2020)

### **3.5.5 ITC Prefabricados & Construcciones S.A.S.**

Es una empresa especializada en prefabricados de concreto y construcciones. Se caracteriza por presentar soluciones eficientes, seguras y funcionales para diversos tipos de proyectos, ofreciendo productos como postes de concreto, concretos premezclados, casas modulares, tuberías de concreto, postes para cerca, mobiliarios y muros divisorios.

Esta empresa se encuentra localizada en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander. Puede ser contactada por medio del correo electrónico: itcprefabricados@gmail.com, o por el número celular: 3102651400. En el Apéndice A, se muestra el catálogo completo de productos ofrecidos por esta empresa.

### **3.5.6 Emprefacon S.A.S.**

Esta empresa se encuentra ubicada en el municipio de San Martín, Cesar, en el barrio Villa Marcela. Constituida legalmente en el año 2016, cuenta con una gran experiencia en la región trabajando como subcontratista para la empresa Gran Tierra Energy (compañía petrolera), así como para otras empresas del municipio y sus alrededores. Su representante legal es el Señor William Mendoza, el cual puede ser contactado a través del número celular 3103242865.

Los productos que fabrican son bordillos, postes para cercamiento y tubos de alcantarillado, los cuales se observan en la figuras 50 y 51. Utilizan para la compactación del concreto equipos mecánicos (ver figura 52), y para los postes emplean formaletas vibratorias. Usan cemento de la marca Cemex para uso general, realizando un curado de los elementos durante 7 días. En caso de que la empresa contratante lo exija, aplican anti sol para evitar la pérdida prematura de humedad y garantizar un mejor curado. El listado de precios de los productos ofrecidos por esta empresa se muestra en el Apéndice B.



*Figura 50.* Bordillos prefabricados

Fuente: Autores, (2020)

El concreto empleado en los elementos prefabricados es sometido a pruebas de asentamiento (slump), compresión, y aquellas que exijan las empresas contratantes. En cuanto al acero de refuerzo utilizado, se utilizan diámetros de  $3/8''$  y  $1/4''$  para tubos de  $36''$  de diámetro, también emplean como refuerzo mallas electro soldadas calibre 6; para tubos de  $26''$  de diámetro se usa acero de  $1/4''$ ; para los postes emplean refuerzo a flexión de  $1/4''$ . Utilizan material triturado disponible en el municipio.



*Figura 51.* Postes para cercamiento y tubos de alcantarillado

Fuente: Autores, (2020)



*Figura 52.* Fabricación y compactación de un elemento prefabricado

Fuente: Autores, (2020)

### 3.5.7 Prefabricadoras en la ciudad de Aguachica, Cesar.

Actualmente en esta ciudad del país existen dos productores de elementos prefabricados. El primero de ellos es un ingeniero independiente, Jerson Osorio Peñaranda, el cual cuenta con más de 10 años de experiencia fabricando losetas para tráfico liviano siguiendo las especificaciones del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). Este ingeniero ha realizado losetas para proyectos en los municipios de Aguachica, Gamarra y Bosconia. Puede ser contactado a través del número celular 3165779477 y localizado en la Calle 1 No.39-13, Barrio María Eugenia. En la figura 53 se observan algunas de las losetas ofrecidas por el ingeniero Jerson Osorio Peñaranda. En el Apéndice B se muestra el listado de precios.



*Figura 53.* Losetas prefabricadas

Fuente: Autores, (2020)

La otra productora de prefabricados en la ciudad de Aguachica, Cesar, es la empresa Casas & Prefabricados CM, la cual es dirigida por Jairo Camilo Peña Molina. Esta empresa privada produce y suministra elementos en concreto de acuerdo a las exigencias estructurales y arquitectónicas de cada proyecto, basados en los estándares de calidad exigidos por la normatividad vigente en materia de sismo resistencia. Se centra en la fabricación de sillas, bancas, bloques, postes, losetas, bordillos y bolardos. Puede ser contactada a través de los celulares 3203036720 y 3104666209, y localizada en la Carrera 40 No. 1-34 Barrio María Eugenia. En el Apéndice A, se muestra el catálogo completo de productos ofrecidos por esta empresa.

## Capítulo 4. Comportamiento de los elementos prefabricados en concreto

Aunque los elementos prefabricados pueden ser elaborados con concretos de resistencia convencional (de 21 a 24 MPa), la experiencia acumulada hasta la actualidad demuestra que en estos elementos debe utilizarse concretos de alto desempeño, los cuales generalmente poseen una resistencia superior a 42 MPa (6000 psi) (Carreño, 2015).

La utilización de concretos de alto desempeño permite obtener elementos prefabricados con mejores características que ofrecen mayores ventajas frente al concreto convencional. Entre las ventajas se encuentran la optimización de secciones de elementos y componentes estructurales, reducción de acero de refuerzo, mejor manejo arquitectónico de los espacios, menor cantidad de material utilizado, mayores luces y alturas en las edificaciones, fácil colocación y consolidación, alta resistencia temprana, durabilidad y estabilidad de volumen (Carreño, 2015).

Actualmente se ha desarrollado una tecnología o procedimiento que permite obtener concretos de alto desempeño, el denominado Concreto Auto Compactado (CAC), el cual ayuda a mejorar los procesos constructivos. En este tipo de concreto se emplea una suspensión de nanopartículas de silicato de calcio hidratado (CSH), el cual es básicamente un aditivo acelerante que permite desarrollar altas resistencias iniciales entre las 6 y las 10 horas llegando incluso a duplicar la resistencia del concreto sin aditivos. Además se aplica un aditivo reductor de agua de

alto rango, ya que esto permite plastificar la mezcla así como desarrollar mayores resistencias en menos de 24 horas (Ninanya & Melgar, 2016).

El Concreto Auto Compactado (CAC) se caracteriza por no requerir de vibración para su colocación y compactación, ya que posee la plasticidad suficiente para fluir bajo su propio peso, por lo que se logra llenar los moldes sin importar la cantidad de refuerzo que posea, lográndose una adecuada compactación. La fluidez y la estabilidad son las dos condiciones más importantes a obtenerse en un CAC, la primera se logra mediante el uso de aditivos superplastificantes, y la segunda con el empleo de altos contenidos de finos o aditivos modificadores de viscosidad (Ninanya & Melgar, 2016).

Con el Concreto Auto Compactado (CAC) se logra una mayor rapidez en la colocación del concreto en los moldes, especialmente en aquellas altamente reforzadas o de secciones muy restringida, no se requieren elementos de compactación, lo que permite reducir equipos y mano de obra, se reducen errores en el proceso de colocación y se disminuye la posibilidad de segregación y exudación, pues se obtienen mezclas más cohesivas. Este tipo de concreto es especial para elementos prefabricados, pero también puede aplicarse en todos los segmentos de la construcción, como obras civiles, edificaciones, acabados arquitectónicos y concretos bombeados (Ninanya & Melgar, 2016).

Para asegurar que los elementos prefabricados permitan obtener las ventajas descritas, se hace necesario realizar ensayos representativos sobre los elementos, además de considerar las

experiencias acumuladas hasta la fecha, específicamente construcciones realizadas con este tipo de elementos (Centre for Advanced Engineering, 1999).

De acuerdo al numeral 3.8 del Título C del Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10, los ensayos a realizar en los elementos prefabricados deben ser efectuados basados en las Normas Técnicas Colombianas NTC, las cuales son promulgadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, único organismo nacional de normalización reconocido por el gobierno de Colombia. Así mismo, en la NSR-10 se indica que en aquellos casos en los que no exista una norma NTC, se permite el uso de normas de la Sociedad Americana de Ensayo y Materiales (American Society for Testing and Materials – ASTM) (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

#### **4.1 Ensayos aplicados a elementos prefabricados**

Los ensayos a realizar en elementos prefabricados en concreto, generalmente corresponden a los mismos que se llevan a cabo en un proyecto convencional para determinar las características y propiedades de los materiales del concreto y de su acción ante cargas y otros elementos, como el fuego (Rodríguez, León, & Cabrera, 2013).

En general, todos los elementos prefabricados deben emplear un cemento que cumpla con lo indicado en la NTC 121: Ingeniería civil y arquitectura, cemento pórtland, especificaciones físicas y mecánicas. En esta norma se clasifican seis (6) tipos de cemento: Tipo UG – Uso

General, Tipo ART –Alta Resistencia Temprana, Tipo MRS – Moderada Resistencia a los sulfatos, Tipo ARS – Alta Resistencia a los Sulfatos, Tipo MCH – Moderado Calor de Hidratación, y el Tipo BCH – Bajo Calor de Hidratación (NTC 121, 2015).

De los seis tipos de cementos descritos, los primeros dos (2) son los más empleados para la fabricación de elementos prefabricados. El Tipo UG –Uso General, es el más común ya que generalmente los elementos no están expuestos al contacto con agentes agresivos, como los sulfatos. Por su parte, el cemento Tipo ART – Alta Resistencia Temprana, permite desarrollar altas resistencias en una semana o menos, con lo cual se reduce el tiempo de curado y traslado a la obra o edificación (NTC 121, 2015).

A continuación se describen los ensayos específicos que deben ser aplicados a los elementos prefabricados en concreto:

**4.1.1 Ensayos físico-mecánicos.** Incluye los siguientes ensayos:

#### ***4.1.1.1 Compresión***

Permite determinar la resistencia a la compresión de una muestra de concreto. En elementos prefabricados se estima que esta resistencia debe ser superior a los 42 MPa. Este ensayo se realiza de acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 673:

Concretos, ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (NTC 673, 2015).

En este ensayo se aplica una carga axial de compresión a cilindros moldeados o núcleos a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de  $0,25 \text{ MPa/s} \pm 0,05 \text{ MPa/s}$ . Los cilindros deben tener alguna de las siguientes dimensiones: 4" x 8" (100x200 mm) o 6" x 12" (150x300 mm). La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen. En la figura 54 se observa la realización de este ensayo (NTC 673, 2015).



*Figura 54.* Obtención de la carga axial de compresión en cilindros de concreto de acuerdo a la NTC 673: Concretos, ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto

Fuente: Instron, (2020). Obtenido en: <https://www.instron.es/es-es/testing-solutions/by-test-type/compression/concrete-cylinders>

#### **4.1.1.2 Tensión:**

En este ensayo se determina la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. Se emplea la NTC 722: Concretos, método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. Se utilizan probetas de concreto con las mismas dimensiones que las usadas en el ensayo de compresión, las cuales son sometidas a una velocidad de carga constante comprendida entre 50 y 100 kN/min mientras se rompe la probeta. En la figura 55 se observa una probeta de concreto antes de aplicarse la carga (NTC 722, 2015).



*Figura 55.* Obtención de la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto de acuerdo a la NTC 722: Concretos, método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto

Fuente: Instron, (2020). Obtenido en: <https://masqueingenieria.com/blog/ensayos-a-traccion-indirecta-del-hormigon/>

El procedimiento consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral en la longitud de una probeta de concreto cilíndrica a la velocidad mencionada en el párrafo anterior hasta que ocurra la falla. Esta carga induce esfuerzos de tensión en el plano que contiene la carga aplicada y esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente circundante a la carga aplicada. Ocurre falla por tensión, no por compresión, debido a que las áreas de aplicación de carga se encuentran en estado de compresión triaxial, lo que les permite soportar esfuerzos de compresión mayores que los indicados en el resultado del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial (NTC 722, 2015).

#### ***4.1.1.3 Flexión***

Para determinar la flexión se emplea el procedimiento descrito en la NTC 2871 Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios). Este ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados previamente, los resultados se calculan y reportan como el módulo de rotura. En la figura 56 se observa una viga antes de ser ensayada a flexión (NTC 2871, 2015).



*Figura 56.* Determinación de la resistencia del concreto a la flexión basados en la NTC 2871: Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios)

Fuente: Instron, (2020). Obtenido en: <https://www.ibertest.es/products/maquina-de-ensayo-para-materiales-de-alta-resistencia-la-compresion-serie-meh/>

Pruebas experimentales llevadas a cabo en columnas prefabricadas en concreto han demostrado que el ensayo de flexión utilizando el método de cargas en los tercios, permite obtener resultados adecuados en aquellos elementos que posean una sección homogénea a través de la longitud del espécimen ensayado (Villalobos & Alfaro, 2012).

#### ***4.1.1.4 Contenido de aire***

Mide el porcentaje de poros presente en el concreto, para determinar la cantidad de agua que puede absorber. Para calcular este valor puede emplearse la NTC 1028: ingeniería civil y arquitectura, determinación del contenido de aire en concreto fresco método volumétrico, o mediante la NTC 1032: ingeniería civil y arquitectura, método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco, método de presión (NTC 1028, 2015; NTC 1032, 2015).

De las dos normas anteriores, la más utilizada por economía y facilidad de procedimiento es la del método volumétrico. Para calcular el contenido de aire en el concreto se debe emplear un medidor de aire como el mostrado en la figura 57. Este medidor está compuesto de un recipiente y una sección superior. En el recipiente se deposita el concreto fresco en tres capas de igual profundidad, las cuales deben ser compactadas mediante 25 golpes con una varilla de acero. Conformadas las tres capas se retira el exceso de concreto hasta que la superficie esté a ras con los bordes superiores del recipiente. Se coloca el embudo o sección superior, se añade agua hasta la marca cero y se ajusta la tapa. Después se agita y se invierte el medidor de tal manera que el concreto se separe de la base y se libere el aire atrapado. La operación se repite hasta que no aparezcan más burbujas en la columna de agua. Cuando todo el aire ha sido retirado del concreto y se ha dejado salir por la parte superior del aparato, se quita la tapa, después se añade alcohol isopropílico con una jeringa hasta deshacer la masa espumosa sobre la superficie del agua. El contenido de aire corresponde a la lectura obtenida en medidor sumado a la cantidad de alcohol usado (NTC 1032, 2015).



*Figura 57.* Medidor de aire para concreto fresco por el método volumétrico requerido para aplicar la NTC 1028: Ingeniería civil y arquitectura, determinación del contenido de aire en concreto fresco método volumétrico

Fuente: RUNCO, 2020. Obtenido en: <http://www.runco.com.ar/sitio/IMG/pdf/Hormigon.pdf>

#### ***4.1.1.5 Módulo de elasticidad estático y relación de poissón***

Estos dos valores se utilizan en el dimensionamiento de elementos estructurales reforzados y no reforzados para establecer las cantidades de acero de refuerzo y calcular los esfuerzos para las deformaciones. El Módulo de elasticidad indica la relación entre el esfuerzo y la correspondiente deformación por debajo del límite de proporcionalidad, mientras que la relación de poissón expresa el valor absoluto obtenido entre la deformación transversal y la deformación axial resultante del esfuerzo axial uniformemente distribuido por debajo del límite de proporcionalidad del material (NTC 4025, 2015).

Para calcular estos dos valores se emplea la NTC 4025: Concretos. Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concreto a compresión. Es necesario utilizar un compresómetro y un extensómetro, o un dispositivo que actúe como la combinación de ambos, en la figura 58 se observa uno de estos (NTC 4025, 2015).



*Figura 58.* Obtención del módulo de elasticidad y la relación de Poisson mediante un Compresómetro - Expansómetro para cilindros de concreto basados en la NTC 4025: Concretos. Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático

Fuente: RUNCO, 2020. Obtenido en: <http://www.runco.com.ar/sitio/IMG/pdf/Hormigon.pdf>

El procedimiento de ensayo consiste inicialmente en calcular la resistencia a la compresión de los cilindros de una muestra de concreto a evaluar, obteniendo así la carga última o carga de rotura. Obtenido este valor, se procede a colocar los demás cilindros de concreto debidamente curados en el dispositivo (compresómetro – expansómetro). Luego estos son ensayados en la

prensa de resistencia a la compresión aplicando el 40% de la carga última, se registran las lecturas en los deformímetros para así obtener el respectivo valor del módulo de elasticidad y la relación de Poisson (NTC 4025, 2015).

#### **4.1.2 Ensayos de comportamiento frente al fuego.**

Se debe medir la conductividad térmica del concreto (K) que permita establecer los espesores en los cuales, ante la exposición al fuego por incendios, no se vea afectada la temperatura interior de la estructura, lo que permite controlar el fuego eficazmente y extinguirlo antes que dicha temperatura interna llegue a alcanzar valores que ocasionen agotamiento de la estructura (Alvia, Bravo, Mera, & Sánchez, 2017).

Investigaciones realizadas hasta la fecha han demostrado que la resistencia a la compresión del concreto se ve reducida aproximadamente en un 20% al estar sometida al fuego, por lo que deben brindarse las protecciones necesarias que impidan incendios que afecten la capacidad estructural del concreto (Hernández, 2010).

El comportamiento frente al fuego, según lo indicado en el Título J del Reglamento de Construcción Sismo Resistente, debe ser analizado aplicando la NTC 1480: Elementos de construcción ensayo de resistencia al fuego. El procedimiento consiste en tomar probetas de concreto con las características y propiedades similares al que conformara los elementos

estructurales, y someterlas a altas temperaturas en un horno hasta que el concreto deje de cumplir las condiciones relativas a su capacidad de carga, la cual debe ser previamente conocida. En la norma se establece el tiempo mínimo que debe resistir el concreto, según sea o no reforzado, y espesor de recubrimiento del acero. De acuerdo a esto se puede requerir tiempos de resistencia contra el fuego comprendido entre 1 y 10 horas. En la figura 59 se muestran bloques prefabricados de concreto siendo sometidos al fuego, y en la figura 60 se observa el daño ocasionado por la exposición al fuego (NTC 1480, 2015).



*Figura 59.* Bloques de concreto expuestos al fuego en base a lo indicado en la NTC 1480: Elementos de construcción ensayo de resistencia al fuego

Fuente: Martínez, 2016.



*Figura 60.* Daño ocasionado por la exposición de los bloques al fuego

Fuente: Martínez, 2016.

#### **4.1.3 Normas adicionales aplicadas a elementos prefabricados.**

A continuación se muestran las Normas Técnicas Colombianas que deben ser aplicadas a determinados elementos prefabricados en concreto:

- NTC 6093 Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano, criterios ambientales para prefabricados en concreto.

El propósito general de las etiquetas y declaraciones ambientales es promover la oferta y la demanda de productos y servicios que causen menor impacto en el ambiente, mediante la comunicación de información verificable y exacta, no engañosa, sobre aspectos ambientales de dichos productos y servicios, para estimular el mejoramiento ambiental continuo impulsado por el mercado. Este etiquetamiento debe ser aplicado a todos los elementos prefabricados. En la figura 61 se observa el sello ambiental colombiano (NTC 6093, 2015).



*Figura 61.* Sello ambiental colombiano de acuerdo a la NTC 6093: Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano, criterios ambientales para prefabricados en concreto

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020.

- NTC 4024 Prefabricados de concreto, muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados, vibrocompactados.

Esta norma establece los procedimientos para el muestreo y el ensayo de prefabricados de concreto, tales como: unidades de perforación vertical o macizas

(bloques y ladrillos) para mampostería de concreto (ver figura 62) y chapas de concreto; Losetas de revestimientos para cubiertas planas y otros prefabricados de concreto no reforzado, elaborados con mezclas “secas”, vibro compactados, con el fin de evaluar su resistencia a la compresión, absorción, densidad, contenido de humedad y dimensiones. Están excluidos los prefabricados que tengan normas específicas, como los tubos y los adoquines. Esta norma se aplica solo para los elementos prefabricados mencionados (NTC 4024, 2015).



*Figura 62.* Obtención de resistencia a la compresión en bloque prefabricado de acuerdo a la NTC 4024: Prefabricados de concreto, muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados

Fuente: Martínez, 2016.

- NTC 3676 Métodos de ensayo para tubos y secciones de pozos de inspección prefabricados en concretos.

Esta norma establece procedimientos para el ensayo de tubos de concreto y secciones de pozos de inspección (ver figura 63). Los métodos de ensayo descritos se usan en ensayos de producción y de aceptación, para evaluar las propiedades previstas en las especificaciones. Se contempla la aplicación de los siguientes ensayos: Resistencia al aplastamiento debido a carga externa, ensayo para tapas de pozos de inspección, resistencia a la compresión sobre núcleos de concreto extraídos de la pared del tubo, absorción, presión hidrostática, permeabilidad, paso del pozo de inspección, resistencia a la compresión de cilindros de concreto y ensayo de lubricantes para empaques (NTC 3676, 2015).



*Figura 63.* Obtención de resistencia en secciones de concreto para pozos de acuerdo a la NTC 3676: Métodos de ensayo para tubos y secciones de pozos de inspección prefabricados en concretos

Fuente: Cotecno, 2020. Obtenido en: <https://www.cotecno.cl/nuestros-productos/maquina-para-pruebas-de-tubos/>

## 4.2 Comportamiento sísmico de estructuras prefabricadas

El comportamiento de una estructura construida con elementos prefabricados en concreto está condicionada al tipo de unión que vincula los distintos elementos estructurales que la conforman. En el capítulo 3 se indicó que la unión de estos elementos puede realizarse mediante conectores mecánicos, soldadura y por gravedad. Estas uniones deben basarse en consideraciones esenciales, las cuales se indican a continuación (Burón, Vega, Domínguez, & Tanner, 2003).

- La unión no debe generar discontinuidad en el comportamiento de la estructura de concreto.
- Los materiales a utilizar en la unión deben ser acordes al comportamiento mecánico que se pretende conseguir.
- En la unión se compatibiliza la geometría de las piezas para que actúen a favor de los esfuerzos correspondientes.
- La unión debe ser realizada y controlada durante el montaje de cada elemento.

Los procedimientos para calcular las dimensiones de las uniones, aunque pueden basarse en las experiencias de la empresa prefabricadora, en general, deben determinarse de la misma manera que una estructura convencional, con el grado de ductilidad que les corresponda, de acuerdo a la tipología de cada proyecto, de esta forma, las acciones horizontales causadas por los sismos pueden ser resistidas por los elementos si estos presentan las dimensiones pertinentes. En

la figura 64 se observa una unión de elementos estructurales prefabricados (Burón, Vega, Domínguez, & Tanner, 2003).



*Figura 64.* Unión de elementos estructurales

Fuente: TECNYCONTA, 2020. Obtenido en: [https://www.tecnyconta.es/pilares-prefabricados/uniones-jacenas-conexion-semirrigida/152pilares-hormigon-union-jacenas-semirrigido\\_03/](https://www.tecnyconta.es/pilares-prefabricados/uniones-jacenas-conexion-semirrigida/152pilares-hormigon-union-jacenas-semirrigido_03/)

Las uniones, también llamadas conexiones, entre los elementos prefabricados pueden ser de dos tipos: monolíticas y fuertes. Las primeras hacen referencia a las conexiones realizadas empleando conectores mecánicos y soldadura, cuyo objetivo es permitir que los elementos, y especialmente el acero, alcance la resistencia especificada a la tensión. Las segundas (conexiones fuertes) por otra parte, son diseñadas para que tengan un comportamiento elástico, es decir, que puedan retomar su dimensión inicial después de ser sometidas a esfuerzos (Rodríguez M. , 2001).

Uno de los elementos prefabricados más estudiados son las losas. Mediante un estudio experimental efectuado por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, se analizó el comportamiento sísmico de este tipo de elementos. En total fueron fabricados en laboratorio un total de 21 losas prefabricadas cuadradas con vigueta y bovedilla de 2,10 m de lado (ver figura 65), más una loza maciza, las cuales fueron ensayadas para observar su respuesta frente a cargas verticales y horizontales (Padilla, León, & López, 2008).

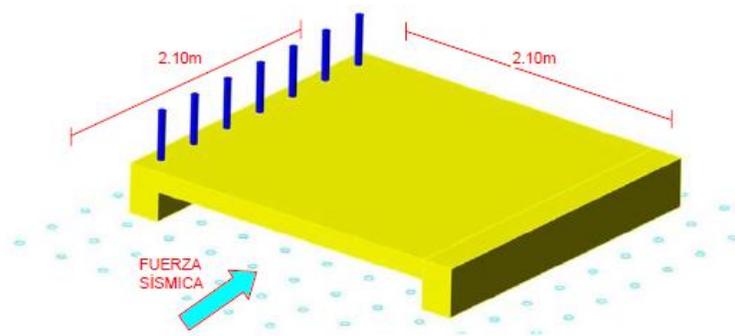


Figura 65. Losa cuadrada prefabricada utilizada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural para analizar su comportamiento sísmico

Fuente: Padilla, León, & López, 2008. Estudios experimentales del comportamiento sísmico de losas prefabricadas. p.4.

Como resultado de este estudio concluyeron que las losas de viguetas y bovedilla presentan un buen comportamiento a fuerza cortante cuando las viguetas se orientan en la dirección perpendicular a la fuerza aplicada, mientras que cuando éstas se orientan en la otra dirección, la degradación de la rigidez es drástica, sin embargo, esta misma degradación ocurre en la losa maciza (Padilla, León, & López, 2008).

Otro aspecto resaltado en esta investigación, es que si se emplean métodos tradicionales de mezclado para el concreto (manualmente), resulta difícil controlar su resistencia final, ya que para un diseño de mezcla estimado de 21 MPa, se obtuvieron resistencias que oscilaron entre los 15 y los 25 MPa, por lo cual recomiendan utilizar mezclados mecánicos que garanticen un adecuado mezclado del concreto (Padilla, León, & López, 2008).

Otra investigación importante fue desarrollada en la Universidad Católica Andrés Bello, en Caracas, Venezuela, donde se estudió el comportamiento sismorresistente de una edificación prefabricada de 6 pisos, constituida por un núcleo de concreto al cual se encuentran anclados módulos prefabricados. Estos módulos representan el conjunto conformado por losas, vigas, columnas y correas que se encargan de transmitir las cargas gravitacionales (Capiello & Suárez, 2017).

Este estudio concluyó que el edificio prefabricado presenta un comportamiento que cumple con todos los requisitos sismorresistentes para distintas zonas sísmicas y para distintos tipos de suelos. Los resultados mostraron que uno de los aspectos de mayor cuidado en este tipo de edificaciones son las conexiones, ya que generalmente se requiere de un elevado número de conectores que permitan conectar los distintos elementos, pero al mismo tiempo estas conexiones permiten generar infinitas soluciones arquitectónicas, adaptándose a todo tipo de requerimientos, ya sea para edificios lujosos e innovadores, o para edificios destinados a usos sociales (Capiello & Suárez, 2017).

## **Capítulo 5. Comparación entre el sistema de construcción de elementos prefabricados en concreto respecto al sistema tradicional de construcción en sitio**

En la actualidad la construcción con elementos prefabricados es un tema de suma importancia a nivel mundial, ya que estos elementos han aumentado su valor en el mercado debido a las ventajas que representa su implementación. La principal ventaja que brindan los elementos prefabricados es su mayor calidad tanto en materiales como acabados en comparación de los construidos en el sitio, ya que los prefabricados son construidos en plantas especializadas bajo condiciones estrictas y con exhaustivos controles de calidad. Generalmente los imperfectos en los elementos se generan en el transporte hacia la obra y en su instalación (Carreño, 2015; Escrig, 2008).

Se considera que los elementos prefabricados en concreto permiten obtener construcciones más seguras y eficaces, presentando ventajas adicionales como: mayor resistencia, aumento en la eficiencia energética, se facilita la instalación de tuberías, mayor resistencia a altas temperaturas, se reduce el tiempo de trabajo y mano de obra requerida, se optimiza el consumo de cemento y de concreto en obra, se logran mejores condiciones higiénicas y de seguridad, se aumenta la productividad y calidad de los elementos, y se disminuyen las interrupciones durante la colocación del concreto en la construcción (Socarrás & Vidaud, 2017; Carreño, 2015).

Sin embargo, las construcciones con elementos prefabricados presentan un gran inconveniente o desventaja respecto a las construcciones convencionales, y es la de ofrecer una menor cantidad de posibilidades u opciones de diseño, ya que los elementos tienden a presentar figuras ortogonales que faciliten su instalación (Socarrás & Vidaud, 2017; Tosa & Salha, 2016).

## **5.1 Diferencias entre elementos prefabricados y elementos construidos convencionalmente**

Para identificar claramente las diferencias que presentan los elementos prefabricados de los construidos convencionalmente, a continuación se enumeraran diversos aspectos que son considerados en obras de edificaciones tanto prefabricadas como convencionales.

### **5.1.1 Estudios geotécnicos.**

Para diseñar elementos estructurales de la cimentación tanto prefabricados como construidos en sitio se debe realizar un proceso de exploración e interpretación del subsuelo con el fin de suministrar los parámetros y recomendaciones que permitan realizar su diseño y construcción, todo ello acorde a las indicaciones del título H del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010; Sanabria, 2017).

### **5.1.2 Diseño arquitectónico.**

El diseño arquitectónico de los elementos prefabricados presenta diferencias respecto a los elementos construidos en sitio. Mientras en estos últimos se facilita el diseño de elementos de diferentes formas: circulares, voladizos, entre otros, con el fin de mejorar la apariencia estética de la estructura, en las construcciones prefabricadas se debe dar prioridad a elementos con diseños ortogonales (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010; Sanabria, 2017).

Otra diferencia se presenta en la longitud de las luces de vigas, pues en construcciones en sitio esta no debe superar los 8 metros, además de utilizar más columnas que reducen los espacios. Por su parte, los elementos prefabricados permiten alcanzar luces mayores, además de reducir el número de columnas y aumentar el espacio de diseño arquitectónico (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010; Sanabria, 2017).

### **5.1.3 Diseños preliminares.**

Para ambos tipos de elementos se debe definir un sistema estructural, el cual está ligado al material de la construcción, en este caso concreto. Se deben iniciar estos diseños preliminares estableciendo dimensiones, formas y solicitaciones de cargas iniciales de cada uno de los elementos (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010; Sanabria, 2017).

#### **5.1.4 Solicitaciones de carga.**

Tanto en las construcciones con elementos prefabricados como construidos en sitio se deben evaluar cada una de las cargas que puedan afectar la edificación, para lo cual se debe seguir las indicaciones del Título B del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010; Sanabria, 2017).

#### **5.1.5 Diseño sísmico.**

En ambos tipos de elementos se debe definir claramente el nivel de amenaza sísmica de la edificación o proyecto para el sitio donde se realizará la construcción. Además de definir los movimientos sísmicos según la amenaza sísmica, las características del suelo y la importancia de la edificación. Esto se hace en base a las indicaciones del Título A: Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010; Sanabria, 2017).

#### **5.1.6 Materiales estructurales.**

Los elementos estructurales considerados deben ser construidos en concreto, sin embargo, las resistencias a la compresión de los elementos prefabricados es mucho mayor a los construidos en sitio, ya que los altos niveles de calidad manejados en las plantas de fabricación de estos

elementos, además de las exigencias requeridas para el transporte e instalación hacen necesario emplear concretos con resistencias superiores a los 42 MPa, mientras que los construidos en sitio generalmente oscila su resistencia entre 21 y 28 MPa. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010; Sanabria, 2017).

### **5.1.7 Análisis sísmico de la estructura.**

Los elementos pueden ser sometidos al mismo análisis sísmico, siempre y cuando este sea aplicado bajo un modelo matemático aceptado por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. En el Título A de este reglamento se definen en los Métodos de la Fuerza Horizontal Equivalente y de Análisis Dinámico varios modelos matemáticos como el Modelo Tridimensional con Diafragma Rígido, el Modelo Tridimensional con Diafragma Flexible y los Modelos Limitados a un Plano Vertical (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010; Sanabria, 2017).

### **5.1.8 Diseño de elementos estructurales.**

En todos los elementos estructurales se deben efectuar combinaciones de carga según lo indicado en el Título B del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, además de considerar la capacidad de disipación de estos elementos, por lo que deben dividirse

las fuerzas sísmicas  $F_s$  por el coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R$ , ( $E_s = F_s/R$ ) (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Como se mencionó en el capítulo tres, el valor del coeficiente de disipación ( $R$ ) para elementos prefabricados debe ser únicamente de 1,50, mientras que para elementos construidos en sitio el valor  $R$  oscila entre 2,5 y 7 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

#### **5.1.9 Diseño de la cimentación.**

En ambos tipos de elementos se deben tomar los resultados de los diseños estructurales de acuerdo a los requisitos del Título H del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010; Sanabria, 2017).

#### **5.1.10 Ejecución de los diseños.**

Los elementos estructurales pueden ser ejecutados por cualquier profesional facultado, sin embargo, en obras convencionales generalmente el diseñador de los elementos no suele efectuar la construcción de la edificación, mientras que los elementos prefabricados suele ser diseñados, fabricados, transportado e instalados por una empresa prefabricadora certificada y avalada por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010; Sanabria, 2017).

### **5.1.11 Actividades preliminares y preparación del terreno.**

Cuando se realiza una edificación se deben realizar instalaciones provisionales y vías de acceso acorde a las necesidades y solicitudes de cada proyecto. Adicionalmente, para instalar elementos prefabricados se debe preparar el terreno para permitir el ingreso de grúas que se encarguen del montaje de los elementos (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010; Sanabria, 2017).

### **5.1.12 Movimiento de tierras.**

En todas las construcciones se deben seguir las indicaciones del ingeniero geotecnista encargado de los estudios de geotécnicos.

### **5.1.13 Inicio de construcción.**

En obras convencionales se considera como fecha de inicio las actividades que anteceden la construcción, como los procesos de movimiento de tierras, instalaciones subterráneas y la cimentación. Mientras que en edificaciones prefabricadas el inicio se toma con la fabricación en planta de cada uno de los elementos a utilizar en el proyecto (Sanabria, 2017).

#### **5.1.14 Costo directo.**

Según comparaciones realizadas en diversos estudios, el costo directo por  $M^2$  para obras construidas con elementos prefabricados en concreto, es considerable mayor que al utilizar otros materiales, como el acero o el concreto fabricado en el sitio de la obra (Sanabria, 2017; Perdomo & Ruocco, 2015).

Un estudio llevado a cabo por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Colombia en la ciudad de Bogotá D.C., se centró en determinar la diferencia porcentual entre el costo unitario por metro cuadrado de losas prefabricadas frente a losas construidas en sitio. En las tablas 1 y 2 se muestra el análisis de precios unitario APU realizado para la losa prefabricada y la losa construida en sitio, respectivamente (Sanabria, 2017).

Tabla 1.

*APU losa prefabricada m<sup>2</sup> (en pesos colombianos)*

| <b>Descripción actividad.</b> Suministro y colocación de losas alveolares prefabricadas de concreto pretensado, de 20 cm de canto y de 100 a 120 cm de anchura, para formación de losa de canto 20 + 7 cm, apoyada directamente sobre vigas portantes (no incluidos en este precio); capa de compresión con concreto f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> (21 MPa), tamaño máximo del agregado 12,5 mm, manejabilidad blanda, fabricado en planta y fundido con balde de pluma grúa; acero Grado 60 y malla electrosoldada tipo XX 159. Montaje mediante grúa telescópica. |        |          |           |             |                   |  |
|--|--------|----------|-----------|-------------|-------------------|--|
| Insumo   | Unidad | Cantidad | % perdida | Vr Unitario | Vr Total          |  |
| <b>Materiales</b>  |        |          |           |             |                   |  |
| Placa alveolar prefabricada incluye transporte a obra  | m2     | 1.00     | 1.00      | \$ 69,544   | \$ 69,544         |  |
| Malla electrosoldada   | kg     | 2.83     | 1.15      | \$ 2,583    | \$ 8,406          |  |
| Concreto premezclado f'c 3000psi   | m3     | 0.07     | 1.05      | \$ 365,000  | \$ 26,828         |  |
| <b>Sub-total</b>   |        |          |           |             | <b>\$ 104,777</b> |  |
| <b>Mano de obra</b>  |        |          |           |             |                   |  |
| Hora cuadrilla montador  | hr     | 0.53     | 1.00      | \$ 22,443   | \$ 11,962         |  |
| Hora cuadrilla armado acero  | hr     | 0.25     | 1.00      | \$ 27,240   | \$ 6,810          |  |
| Hora cuadrilla encofrado y vaciado   | hr     | 1.42     | 1.00      | \$ 40,603   | \$ 57,656         |  |
| <b>Sub-total</b>   |        |          |           |             | <b>\$ 76,428</b>  |  |
| <b>Equipo y herramienta menor</b>  |        |          |           |             |                   |  |
| Grúa montaje 30Tn  | hr     | 0.27     | 1.00      | \$ 175,000  | \$ 46,638         |  |
| Tabla chapa 30x2 - 3m - Ord  | un     | 1.00     | 1.00      | \$ 22,906   | \$ 22,906         |  |
| Herramienta menor  | %      | 2%       | 1.00      | \$ 181,206  | \$ 3,624          |  |
| <b>Sub-total</b>   |        |          |           |             | <b>\$ 73,168</b>  |  |
| <b>Transporte</b>  |        |          |           |             |                   |  |
| -  | vj     | 0.00     | 1.00      | \$ 0        | \$ 0              |  |
| <b>Sub-total</b>   |        |          |           |             | <b>\$ 0</b>       |  |
| <b>Total</b>   |        |          |           |             | <b>\$ 254,373</b> |  |

Fuente: Sanabria, 2017. *Análisis comparativo entre procesos de diseño y construcción de los sistemas tradicional y prefabricado de losa de entre piso para edificaciones de hasta 4 niveles*. P. 74.

Tabla 2.

*APU Losa construida en sitio m<sup>2</sup> (en pesos colombianos)*

| <b>Descripción actividad.</b> Losa aligerada de concreto armado con casetón recuperable, realizado con concreto f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> (21 MPa), tamaño máximo del agregado 12,5 mm, manejabilidad blanda, fabricado en planta; acero Grado 60 (fy=4200 kg/cm <sup>2</sup> ); nervios de concreto "in situ" de 15 cm de espesor, capa de compresión de 8cm de espesor, con armadura de reparto formada por malla electrosoldada tipo XX 159. |        |          |           |             |                  |                   |
|--|--------|----------|-----------|-------------|------------------|-------------------|
| Insumo   | Unidad | Cantidad | % perdida | Vr Unitario | Vr Total         |                   |
| <b>Materiales</b>  |        |          |           |             |                  |                   |
| Acero corrugado fig. 1/4" a 1" - 60.000psi   | kg     | 2.40     | 1.02      | \$ 2,202    | \$ 5,387         |                   |
| Alambre negro recocido   | kg     | 0.06     | 1.02      | \$ 3,032    | \$ 185           |                   |
| Malla electrosoldada   | kg     | 2.83     | 1.05      | \$ 2,583    | \$ 7,675         |                   |
| Caseton icopor reutilizable  | m3     | 0.52     | 1.00      | \$ 72,430   | \$ 37,722        |                   |
| Concreto premezclado f'c 3000psi - Grava comun   | m3     | 0.18     | 1.05      | \$ 365,000  | \$ 68,874        |                   |
| Desmoldante  | kg     | 0.32     | 1.10      | \$ 17,106   | \$ 6,021         |                   |
|  |        |          |           |             | <b>Sub-total</b> | <b>\$ 125,865</b> |
| <b>Mano de obra</b>  |        |          |           |             |                  |                   |
| Hora cuadrilla encofrado y vaciado   | hr     | 0.45     | 1.00      | \$ 22,713   | \$ 10,221        |                   |
| Oficial obra negra   | hr     | 0.20     | 1.00      | \$ 13,633   | \$ 2,727         |                   |
| Ayudante obra negra  | hr     | 0.20     | 1.00      | \$ 9,080    | \$ 1,816         |                   |
| Hora cuadrilla armado acero  | hr     | 0.05     | 1.00      | \$ 16,332   | \$ 817           |                   |
|  |        |          |           |             | <b>Sub-total</b> | <b>\$ 15,580</b>  |
| <b>Equipo y herramienta menor</b>  |        |          |           |             |                  |                   |
| Sistema de encofrado - Incluye puntales, cerchas y superficie de madera  | m2     | 1.00     | 1.00      | \$ 39,400   | \$ 39,400        |                   |
| Herramienta menor  | %      | 2%       | 1.00      | \$ 141,446  | \$ 2,829         |                   |
|  |        |          |           |             | <b>Sub-total</b> | <b>\$ 42,229</b>  |
|  |        |          |           |             | <b>Total</b>     | <b>\$ 183,675</b> |

Fuente: Sanabria, 2017. *Análisis comparativo entre procesos de diseño y construcción de los sistemas tradicional y prefabricado de losa de entre piso para edificaciones de hasta 4 niveles*. P. 74.

Comparando el valor unitario por metro cuadrado de cada tipo de losa: prefabricada (tabla 1) y construida en sitio (tabla 2), se observa que la losa prefabricada es un 38% más costosa que la construida en sitio. Esto se debe principalmente al mayor precio de mano de obra, equipos y herramientas que requieren para el montaje de las losas prefabricadas.

### 5.1.15 Duración de proyecto.

Una de las razones por las cuales se escogen elementos prefabricados en concreto es la mayor rapidez que ofrece este tipo de construcciones si se logra garantizar las condiciones y la maquinaria para su instalación. Esta reducción en los tiempos se debe a que las actividades en las fábricas de elaboración de los elementos pueden desarrollarse independientemente a las actividades en obra. Esta reducción de tiempos se evidenció en un Centro Comercial construido en España. Al momento de iniciar el proyecto existía la duda sobre la forma de construcción a emplear: prefabricada o convencional (en sitio), así que se decidió realizar un análisis mediante diagramas de Gantt para observar los tiempos de ejecución. En las tablas 3 y 4 se muestran estos diagramas (Guevara, 2011; Madueño, 2016).

Tabla 3.

*Tiempo estimado de ejecución construcción en sitio*

| ACTIVIDAD                                  | MESES |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|  | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| PROYECTO                                   | █     | █ | █ |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| MOVIMIENTO DE TIERRAS                      |       |   | █ | █ | █ | █ | █ |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| MUROS y CIMENTACIONES                      |       |   |   | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █  |    |    |    |    |    |    |    |    |
| ESTRUCTURA (PILARES, FORJADOS Y CUBIERTAS) |       |   |   |   |   | █ | █ | █ | █ | █  | █  | █  | █  |    |    |    |    |    |
| CUBIERTA y CERRAMIENTOS                    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    | █  | █  | █  | █  | █  |    |    |    |
| ALBANILERÍA y SOLERAS                      |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | █  | █  | █  | █  |    |    |
| INSTALACIONES y ACABADOS                   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    | █  | █  | █  | █  | █  |
| SANEAMIENTO y URBANIZACIÓN                 |       |   |   |   | █ | █ |   |   |   |    |    | █  | █  |    |    |    | █  | █  |

Fuente: Sanabria, 2017. *Análisis comparativo entre procesos de diseño y construcción de los sistemas tradicional y prefabricado de losa de entre piso para edificaciones de hasta 4 niveles*. P. 74.

Tabla 4.

*Tiempo estimado de ejecución construcción prefabricada*

| ACTIVIDAD                        | MESES |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                  | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| PROYECTO                         | ■     | ■ | ■ |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| MOVIMIENTO DE TIERRAS            |       |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| MUROS y CIMENTACIONES            |       |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |
| FABRICACIÓN (ESTRUCTURA+PANELES) |       |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |
| MONTAJE (ESTRUCTURA+PANELES)     |       |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |
| CUBIERTA                         |       |   |   |   |   |   |   |   | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |
| ALBAÑILERÍA y SOLERAS            |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |
| INSTALACIONES y ACABADOS         |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |
| SANEAMIENTO y URBANIZACIÓN       |       |   |   |   | ■ | ■ | ■ |   |   |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |

Fuente: Sanabria, 2017. *Análisis comparativo entre procesos de diseño y construcción de los sistemas tradicional y prefabricado de losa de entre piso para edificaciones de hasta 4 niveles*. P. 74.

Como se observa en las tablas 3 y 4, el análisis indicó una reducción de 4 semanas (20%) construyendo bajo un sistema de elementos prefabricados, así que los directivos de ese proyecto (Centro Comercial) decidieron escoger esta forma de construcción. La construcción tuvo una duración muy cercana a la estimada (Madueño, 2016).

### 5.1.16 Sobre costos.

Los presupuestos de las construcciones en base a elementos prefabricados suelen considerarse como cerrados pues existe un mayor control de la inversión en el desarrollo del proyecto, por lo que las modificaciones en el presupuesto inicial suelen deberse a cambios extraordinarios en el diseño definitivo. Por su parte, las obras convencionales son más susceptibles a los incumplimientos en los plazos de entrega, lo que genera mayores desviaciones

en los costos indirectos aumentando en la mayor parte de los proyectos los costos adicionales (Burón, Vega, Domínguez, & Tanner, 2003; Novas, 2010).

#### **5.1.17 Seguridad industrial.**

Para la instalación de elementos prefabricados se requiere personal especializado para cada una de las actividades del proceso, contando con un personal mucho menor al utilizado en obras convencionales. En todas las construcciones se debe exigir un personal capaz de realizar trabajos en altura (Sanabria, 2017; Briceño & Carreras, 2013).

#### **5.1.18 Calidad de los materiales.**

Cada uno de los elementos estructurales y no estructurales prefabricados deben ser fabricados en una planta donde se lleven a cabo los procesos industriales que permitan el cumplimiento de patrones bajo estrictos controles durante todo el proceso de producción. En obras convencionales no se puede garantizar totalmente la calidad del material y de cada uno de los elementos construidos, por lo que debe ser permitida cierta incertidumbre en los procesos de calidad durante el mezclado, vaciado y curado del concreto (Pérez, 2006; Sanabria, 2017).

### **5.1.19 Estabilidad ante desastres naturales.**

Al utilizar como material el concreto, tanto obras convencionales como prefabricadas suelen presentar una adecuada resistencia ante el fuego, aunque deben cumplirse los recubrimientos mínimos, generalmente sin ser necesario utilizar protecciones adicionales (Park, 1995; Aguiluz, 2003).

En cuanto a su comportamiento sísmico, los elementos prefabricados han demostrado una adecuada respuesta ante sismos de alta magnitud e intensidad. Incluso se tiene registro de edificios prefabricados en Chile y México que han soportado sismos con valores mayores a 8 en la escala de Richter (Sanabria, 2017; Salas, 2008).

### **5.1.20 Durabilidad y mantenimiento.**

Las obras construidas en concreto en sitio y prefabricado se proyectan con el propósito de ser usadas durante un período de tiempo superior a los 100 años, después que se mantengan unas condiciones normales y se brinde el mantenimiento mínimo necesario (Meza, s.f.; Sanabria, 2017).

### **5.1.21 Sostenibilidad.**

Al utilizar elementos prefabricados se logra disminuir considerablemente los residuos generados, gracias a los estrictos planes de calidad que manejan las fábricas donde son producidos. Además, no se generan escombros en la estructura y se reduce el ruido durante la construcción de la obra (Salas, 2008; Sanabria, 2017).

Por su parte, la obras convencionales se caracterizan por la alta generación de residuos (escombros), además de generar una alta contaminación auditiva que afecta al personal de la construcción y las comunidades aledañas (Salas, 2008; Sanabria, 2017).

## **5.2 Inversión económica**

Anteriormente se mencionó que las construcciones donde se emplean elementos prefabricados presentan presupuestos cerrados, ya que cuando se presenta un diseño definitivo y se determina cada uno de los elementos que compone la estructura, salvo cambios posteriores, no es común que se haga necesario realizar adicionales o imprevistos, debido a que existen facilidades para controlar la inversión de principio a fin (Madueño, 2016).

Se ha determinado que las construcciones con elementos prefabricados resultan más costosas que las convencionales si se considera los costos por m<sup>2</sup> (metro cuadrado) invertidos,

sin embargo, es de considerar que los costos adicionales se derivan de la tecnología disponible, por ejemplo, en países desarrollados y altamente competitivos los prefabricados son prioritarios debido a que cuentan con toda la maquinaria y equipo para efectuar una correcta construcción con estos elementos, mientras que en países como Colombia, existen mayores limitantes tecnológicas que representan un mayor costo al ejecutar este tipo de proyectos (Vargas, 2007; Madueño, 2016).

Para llevar a cabo una diferenciación real del valor económico de una construcción prefabricada respecto a una convencional, se hace necesario considerar algunos aspectos que permitan evaluar las ventajas que presenta este tipo de elementos.

### **5.2.1 Plazo de ejecución.**

Este es un aspecto primordial al seleccionar elementos prefabricados sean estos estructurales o no estructurales. Cuando se escogen estos elementos se logra una reducción considerable en el tiempo requerido en el programa de obra, con lo cual se logra un ahorro en costos indirectos, además de que la obra construida puede ser puesta en servicio con mayor antelación que si fuera construida convencionalmente (Madueño, 2016).

No obstante, esta reducción en el plazo de ejecución está condicionada a la optimización de los diseños y la eficacia de las plantas prefabricadoras, aunque usualmente al preferir elementos

estandarizados y experimentados previamente se reduce el tiempo de selección, lo que agiliza los procesos de plasmar los diseños (Madueño, 2016).

Debido a que los elementos prefabricados pueden curados y posteriormente almacenados en la planta de fabricación, es posible disponer de un alto porcentaje (entre el 80% y el 100%) de elementos al momento de iniciar la instalación en obra, con lo cual se reduce el tiempo para conformar todo el sistema estructural. Además, mientras se elaboran los elementos se pueden realizar los trabajos preliminares en obra, movimiento de tierras, rellenos, y demás actividades. Esto permite que el rendimiento en obra de una construcción prefabricada sea hasta un 40% mayor a una convencional (Madueño, 2016).

Dentro del aspecto económico se puede considerar que las construcciones con elementos prefabricados no requieren en obra el uso de cimbras, formaletas o demás sistemas auxiliares como si ocurre en construcciones convencionales.

### **5.2.2 Calidad.**

Los elementos prefabricados cuentan con una calidad mucho mayor debido a los procesos industriales que se llevan a cabo en las plantas de fabricación, ya que los materiales empleados suelen ser seleccionados en condiciones que no pueden garantizarse en obra. Por otra parte, los elementos al construirse bajo condiciones controladas, no se ven afectados por la acción de

fenómenos meteorológicos, por lo que se favorece la estética de los acabados y su calidad final (Madueño, 2016).

### **5.2.3 Estabilidad al fuego.**

La alta resistencia del concreto a la acción del fuego es un factor muy importante para su selección. En estructuras construidas convencionalmente el fuego tiende a generar graves afectaciones en los elementos, incluso se hace necesario demoler la edificación en algunos casos. Por su parte, en construcciones prefabricadas se puede desmontar y restituir los elementos más afectados por la acción del fuego, conservando los demás elementos (Vargas, 2007).

### **5.2.4 Aspectos adicionales.**

También se deben considerar como diferenciadores económicos los aspectos de mantenimiento y sostenibilidad, ya que algunas estructuras prefabricadas pueden implicar un mayor gasto debido al mantenimiento necesario para su funcionamiento. Por otra parte, las ventajas ambientales, aunque difíciles de cuantificar económicamente, representa un aspecto fundamental para seleccionar elementos prefabricados, ya que se reduce la emisión de contaminantes (Pérez, 2006).

### **5.3 Ejemplos de proyectos contruidos con elementos prefabricados**

Alrededor del mundo existen muchos ejemplos de estructuras construidas mediante elementos prefabricados en concreto, a continuación se expondrán algunos de estos proyectos que han innovado con la utilización de estos elementos.

#### **5.3.1 Casa Kyoto.**

Consiste en una vivienda unifamiliar construida en España y que busca aprovechar el uso de elementos prefabricados con el fin de mejorar la sostenibilidad de las construcciones. Todos los elementos estructurales fueron instalados en seco, es decir, sin incorporar mezclas de concreto durante la construcción, por lo cual los elementos pueden ser desinstalados si es necesario. En la figura 66 se muestra esta casa (Escrig, 2008).



*Figura 66.* Vista de la Casa Kyoto

Fuente: Escrig (2008). Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elementos prefabricados en hormigón, p.6

### **5.3.2 Viviendas de interés social o viviendas colectivas.**

Se trata de proyectos de vivienda generalmente financiados por el sector público, con el fin de mitigar la demanda de vivienda de la población. Este tipo de estructuras, han sido las que han permitido el mayor desarrollo de los elementos prefabricados, pues facilitan la construcción modular, es decir, la estandarización y repetición de un mismo conjunto de elementos, los cuales son ensamblados en la obra en su posición final (Centre for Advanced Engineering, 1999; Escrig, 2008).

Este tipo de viviendas se inició en Europa después de la Segunda Guerra Mundial, debido a las grandes destrucciones que se presentaron durante la guerra. Las viviendas colectivas representaron una opción rápida y económica para satisfacer las necesidades habitacionales, en la figura 67 se observa una de los primeros edificios construidos con elementos prefabricados en los años 70 (Escrig, 2008).



*Figura 67.* Conjunto de viviendas "La Grande Borne" ubicado en la ciudad de Paris

Fuente: Escrig (2008). Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elementos prefabricados en hormigón, p.3

Colombia es uno de los países que ha incorporado el concepto de vivienda de interés social o colectivo, desarrollando proyectos de edificación modular donde se emplean elementos estructurales prefabricados en concreto. Actualmente se han construido este tipo de viviendas en diversas ciudades del país, siendo las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali, Cartagena y Barranquilla, los lugares donde mayor número de viviendas existen. En la figura 68 se observa

un conjunto de viviendas prefabricadas construida bajo un sistema modular (Perdomo & Ruocco, 2015).



*Figura 68.* Viviendas de interés social

Fuente: Karmod (2017). Casas prefabricadas Colombia. Obtenido en: <https://blog.karmod.es/casas-prefabricadas-colombia/>

### **5.3.3 Edificio Woolverhampton Student Hall.**

Este edificio es el más alto de toda Europa construido totalmente con elementos prefabricados en concreto, el cual consta de 805 módulos habitacionales repartido en 24 pisos. El proyecto tuvo una duración de 6 meses. Se estima que bajo un sistema convencional de construcción este edificio hubiera requerido un tiempo de 30 meses. En la figura 69 se observa este edificio (Escrig, 2008; Gónzales, 2008).



*Figura 69.* Edificio Wooverhampton Student Hall, localizado en Reino Unido

Fuente: Escrig (2008). Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elementos prefabricados en hormigón, p.7

#### **5.3.4 Colegios.**

En muchos países se está priorizando el uso de elementos prefabricados para construir escuelas y colegios, en Chile, por ejemplo, se han desarrollado proyectos donde se han utilizado completamente elementos estructurales de este tipo. En las figuras 70 hasta la 75 se muestra parte del proceso llevado a cabo para la construcción de este tipo de colegios (Meneses, 2007).



*Figura 70.* Transporte de los elementos prefabricados

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.



*Figura 71.* Montaje de los elementos prefabricados mediante grúas móviles

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.



*Figura 72.* Colocación de los elementos prefabricados en su lugar definitivo

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.



*Figura 73.* Aseguramiento de los elementos mediante arañas telescópicas

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.



*Figura 74.* Vista de la obra con los elementos prefabricados

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.



*Figura 75.* Vista de la obra terminada

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.

### 5.3.5 Puentes.

En este tipo de estructuras se han ido incorporando elementos prefabricados con el fin de agilizar los procesos constructivos. Actualmente diversos puentes son construidos empleando elementos prefabricados como losas, zapatas, pilares, estribos, muros de contención entre otros.

Un ejemplo de puentes totalmente prefabricado se encuentra en los Estados Unidos, en el estado de Virginia, donde se construyó un puente sobre el río James en la ciudad de Richmond. La construcción consistió en emplear multivigas y losas de concreto. En la figura 76 se observa una de las vigas instaladas.



*Figura 76.* Construcción del puente prefabricado en la ciudad de Richmond

Fuente: Medium.com (2018). Construcción de puentes con elementos prefabricados de concreto. Obtenido en: <https://medium.com/@bhconcretos/construcci%C3%B3n-de-puentes-con-elementos-prefabricados-de-concreto-817305b86e58>

Otro ejemplo, es el puente Zacatal, ubicado en el estado de Campeche en México. Este puente tiene una longitud de 3861 m y un ancho de 9 m., permitiendo la circulación en dos

carriles. El puente está conformado en su totalidad por elementos prefabricados, entre ellos 121 cabezales, 696 traves, 8 traves cajón y 124 losas. En la figura 77 se observa una panorámica de este puente.



*Figura 77. Vista del Puente Zacatal*

Fuente: Reinoso *et al*, (2000). Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas, p.152

### **5.3.6 Estadios y graderías.**

Por las facilidades que ofrecen los elementos prefabricados en concreto, diversos estadios han sido construidos totalmente con este tipo de elementos, en las figuras 78 y 79, se observa dos de estos estadios.



*Figura 78.* Estadio Corregidora Josefa Ortíz de Domínguez ubicado en el estado de Querétaro, México

Fuente: Reinoso *et al*, (2000). Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas, p.147



*Figura 79.* Estadio Lienzo Charro Molina, ubicado en el estado de Michoacán, México

Fuente: Reinoso *et al*, (2000). Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas, p.152

## Conclusiones

La información sintetizada en la presente monografía permitió concluir lo siguiente:

Los elementos estructurales comúnmente prefabricados en concreto son las vigas, columnas, losas de entrepiso, cimentaciones y muros, los cuales son fabricados empleando las técnicas actualmente existente ya sea de forma industrializada o semi industrializada. Además están disponibles elementos prefabricados no estructurales, como sardineles, cárcamos, box culvert, bolardos, alcantarillas, postes, entre otros elementos.

Las características del sistema de construcción con prefabricados en concreto muestra que la principal distinción de este sistema respecto a los convencionales, está en la modulación de los elementos, es decir, en la replicación de un mismo elemento, el cual es previamente diseñado y sometido a todos los ensayos correspondientes. De esta manera se agilizan los procesos de fabricación y se reduce el tiempo de construcción de las obras, pero al mismo tiempo se limita las opciones de diseño, pues elementos con configuraciones diferentes representarían nuevos procesos de comprobación y ensayo de los elementos.

Los requerimientos de diseño de los elementos estructurales prefabricados en concreto, aunque presentan algunas condiciones propias que deben ser consideradas en el proceso, no difieren considerablemente de un diseño convencional, sin embargo, es pertinente seguir las

indicaciones producto de la experiencia de las empresas prefabricadoras, las cuales se encargan generalmente de ofrecer tanto el diseño, como los elementos para llevar a cabo la construcción de las obras. En todo caso, las decisiones dependen de las condiciones que brinde cada proyecto.

Los elementos prefabricados en concreto han demostrado un comportamiento favorable, o por lo menos adecuado, ante la acción de cargas sísmicas generadas durante los terremotos, debido en parte, a las altas resistencias de compresión que se manejan en este tipo de elementos, pero también a los mayores controles que se efectúan para garantizar la adecuada conexión entre cada uno de los elementos que conforman la estructura.

La comparación entre el sistema de construcción de elementos prefabricados en concreto respecto a otros sistemas constructivos, muestra que las mayores ventajas que ofrece el construir con estos elementos está en la reducción del tiempo de ejecución de los proyectos, el aumento en el rendimiento en cerca de un 40%, y la generación mínima de residuos (escombros). Así mismo, las mayores limitantes de este sistema son la disminución de las opciones de diseño, y los altos requerimientos tecnológicos para su implementación, tanto de maquinaria como de personal especializado.

Con el desarrollo de esta monografía se concluye que los elementos estructurales prefabricados en concreto representan mayores ventajas que los elementos construidos en sitio, siempre y cuando se logre contar con unas condiciones que permitan aprovechar las facilidades que ofrecen los prefabricados.

## Referencias

- Aguiar, R. (2017). Diseño y análisis de vigas con sección tipo "I". *Revista CIENCIA*, 19(2), 285-307.
- Aguiluz, D. (2003). *Estudio sobre sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de Guatemala*. Tesis de pregrado, Universidad Francisco Marroquin, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Alvia, L., Bravo, C., Mera, J., & Sánchez, G. (2017). *Elementos estructurales prefabricados aplicados en sistemas constructivos en países en desarrollo*. Tesis de pregrado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador.
- ANDECE. (2019). *Estructuras prefabricadas de hormigón*. Guía técnica, Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón, Madrid, España.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Título C - Concreto estructural*. Bogotá D.C., Colombia.
- Astorga, A., & Rivero, P. (2009). *Definición de términos básicos*. Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos.
- Briceño, A., & Carreras, N. (2013). *Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011*. Tesis de pregrado, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.
- Burón, J., Vega, L., Domínguez, A., & Tanner, P. (2003). Estructuras prefabricadas en zonas sísmicas. *Informes de la construcción*, 54(484), 27-33.
- Calsin, J., & Veliz, G. (2014). *Propuesta de diseño estructural de un edificio comercial de 4 pisos con estructuras de concreto industrializado y placas de concreto in situ en la ciudad de Lima Metropolitana*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú.
- Capiello, E., & Suárez, A. (2017). *Estudio del comportamiento sismorresistente de una edificación modular compuesta prefabricada de mediana altura*. Tesis de pregrado, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.
- Carreño, A. (2015). *Estudio de la prefabricación en concreto reforzado y su influencia en la construcción de estructuras en Colombia*. Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C., Colombia.
- Centre for Advanced Engineering. (1999). *Guidelines for the use of structural precast concrete in buildings*. University of Canterbury Christchurch New, Christchurch, New Zeland.

- Elliot, K., Davies, G., & Gorgun, H. (1998). The stability of precast concrete skeletal structures. *PCI JOURNAL*, 42(60).
- Escrig, C. (2008). *Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elementos prefabricados de hormigón*.
- Fernández, D. (2009). Industrialización para la construcción de viviendas. Viviendas asequibles realizadas con prefabricados de hormigón. *Informes de la Construcción*, 61(514), 71-79.
- González, E. (2008). *Construction with reinforced precast concrete elements. Adaptation of an in situ solution into a precast one*. Tesis de maestría, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Guevara, T. (2011). *Precast concrete construction*. British Columbia Institute of Technology, Vancouver, Canadá.
- Hernández, N. (2010). Efecto del fuego sobre la resistencia a compresión de un elemento de concreto de resistencia de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>. *Revista Ingeniería UC*, 17(2), 38-43.
- Joshi, M., Murty, C., & Jaisingh, M. (2005). Cyclic behaviour of precast RC connections. *The Indian Concrete Journal*, 43-50.
- León, G., Rodríguez, M., & Cabrera, H. (2013). *Estudio del comportamiento de un edificio prefabricado de concreto de tres niveles en mesa vibradora*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.
- López, A., & Fernández, D. (2015). La construcción con prefabricados de concreto: Una historia por escribir. *Noticreto*, 42-48.
- Madueño, J. (2016). ASOCRETO. Evaluación económica de obras con prefabricados. *Construcción y Tecnología en concreto*, 22-27.
- Martínez, C. (2016). *Pasantía, evaluación de la resistencia y capacidad de soporte de las unidades de mampostería estructural en concreto ante incrementos de temperatura ocasionados por el fuego - H y H ingeniería y consultoría*. Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C.
- Meneses, J. (2007). *Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt*. Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Meza, L. (s.f.). *Aspectos fundamentales del concreto presforzado*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.
- Ninanya, S., & Melgar, E. (2016). *Empleo de nuevas tecnologías para el desarrollo de altas resistencias iniciales en concretos prefabricados*. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

- Normas Técnicas Colombianas. (2015). *Normas Técnicas Colombianas*.
- Novas, J. (2010). *Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo*. Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- NTC 1028. (2015). *NTC 1028: Ingeniería civil y arquitectura, determinación del contenido de aire en concreto fresco método volumétrico*. Normas Técnicas Colombianas.
- NTC 1032. (2015). *NTC 1032: Ingeniería civil y arquitectura, método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco, método de presión*. Normas Técnicas Colombianas.
- NTC 121. (2015). *NTC 12: Ingeniería civil y arquitectura, cemento pórtland especificaciones físicas y mecánicas*. Normas Técnicas Colombianas.
- NTC 1480. (2015). *NTC 1480: Elementos de construcción ensayo de resistencia al fuego*. Normas Técnicas Colombianas.
- NTC 2871. (2015). *Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios)*. Normas Técnicas Colombianas.
- NTC 3676. (2015). *NTC 3676: Métodos de ensayo para tubos y secciones de pozos de inspección prefabricados en concretos*. Normas Técnicas Colombianas.
- NTC 4024. (2015). *NTC 4024: Prefabricados de concreto, muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados, vibrocompactados*.
- NTC 4025. (2015). *NTC 4025: Concretos. Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de poisson en concreto a compresión*. Normas Técnicas Colombianas.
- NTC 6093. (2015). *NTC 6093: Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano, criterios ambientales para prefabricados en concreto*. Normas Técnicas Colombianas.
- NTC 673. (2015). *NTC 673: Concretos, ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Normas Técnicas Colombianas .
- NTC 722. (2015). *NTC 722: Concretos, método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto*. Normas Técnicas Colombianas.
- Padilla, D., León, G., & López, O. (2008). Estudios experimentales del comportamiento sísmico de losas prefabricadas. *XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*.
- Palermo, A., & Pampanin, S. (2008). Analysis and simplified design of precast jointed ductile connections. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing, China.

- Park, R. (1995). A perspective on the seismic design of precast concrete structures in New Zealand. *PCI JOURNAL*, 40-60.
- Perdomo, V., & Ruocco, F. (2015). *Prefabricados de hormigón. Análisis de sistemas aplicados a vivienda*. Tesis de pregrado, Universidad de la República de Uruguay, Montevideo, Uruguay.
- Perea, Y. (2012). *Sistemas constructivos y estructurales aplicados al desarrollo habitacional*. Tesis de especialización, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia.
- Pérez, M. (2006). Prefabricación, base del cambio en la construcción. *Construcción y Tecnología*, 36-48.
- Rodríguez, M. (2001). Comportamiento de estructuras prefabricadas de concreto reforzado para edificaciones en zonas sísmicas, innovaciones y tendencias en su empleo. *Revista de Ingeniería Sísmica*(63), 1-34.
- Rodríguez, M. E., León, G., & Cabrera, H. (2013). *Estudio del comportamiento de un edificio prefabricado de concreto de tres niveles en mesa vibradora*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Salas, J. (2008). De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico. *Informes de la Construcción*, 60, 19-34.
- Sanabria, B. (2017). *Análisis comparativo entre procesos de diseño y construcción de los sistemas tradicional y prefabricado de losas de entrepiso para edificaciones de hasta 4 niveles*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Sección 400 INVIAS. (2013). *Sección 400 - Concreto Hidráulico*.
- SENA. (1986). *Construcción y colocación de elementos prefabricados en hormigón*.
- Socarrás, Y., & Vidaud, I. (2017). Desde la tecnología del prefabricado actual hasta la prefabricación contra pedido. *Ciencia en su PC*, 104-115.
- Tosa, F., & Salha, R. (2016). The behavior of different precast concrete structures under seismic action. *Procedia Technology*(22), 235-242.
- Vargas, B. (2007). Industrialización de la construcción para la vivienda social. *Revista nodo*, 2(3), 25-44.
- Villalobos, F., & Alfaro, J. (2012). Pruebas experimentales para determinar la capacidad de columnas de concreto prefabricado. *Métodos y Materiales*, 2, 40-53.

# Apéndices

## Apéndice A. Catálogo de productos de empresas prefabricadoras

- **El Precon S.A.S.**

A continuación se muestra el portafolio de productos ofrecidos por la empresa EL Precon S.A.S.:



Sardineles



Topellanas



Bolardos



Gargolas



Alfajias





Bordillos para Confinamiento



Cañuelas



Cárcamos para Rejilla vehicular y peatonal



Rejillas



- **Titán cemento**

A continuación se muestra el portafolio de productos ofrecidos por la empresa TITAN

CEMENTO:





## TUBERÍA DE CONCRETO SIN REFUERZO

*La tubería de concreto sin refuerzo **Titán** es utilizada para la conducción de aguas lluvias y negras, residuos líquidos industriales, drenajes en vías y, en general, en conductos no sometidos a presión hidrostática.*

Este tipo de tubería es fabricada en diámetros que varían entre 15 cm (6") y 100 cm (40"), con mezclas secas con baja relación agua-cemento, con lo cual se obtiene un concreto de alta densidad, baja absorción, baja permeabilidad y larga durabilidad.

| DIÁMETRO INTERNO<br>cm | DIÁMETRO NOMINAL<br>pulg | ESPESOR TUBERÍA |               | LONGITUD DEL TUBO |              | PESO DEL TUBO    |                  |
|------------------------|--------------------------|-----------------|---------------|-------------------|--------------|------------------|------------------|
|                        |                          | CLASE 1<br>mm   | CLASE 2<br>mm | CLASE 1<br>m      | CLASE 2<br>m | CLASE 1<br>kg/un | CLASE 2<br>kg/un |
| 15                     | 6                        | 24              | 24            | 1.25              | 1.25         | 44               | 44               |
| 20                     | 8                        | 29              | 29            | 1.25              | 1.25         | 78               | 78               |
| 25                     | 10                       | 31              | 31            | 1.25              | 1.25         | 98               | 98               |
| 30                     | 12                       | 33              | 38            | 1.25              | 1.25         | 122              | 143              |
| 35                     | 14                       | 35              | 41            | 1.25              | 1.25         | 144              | 165              |
| 40                     | 16                       | 40              | 45            | 1.25              | 1.25         | 187              | 218              |
| 45                     | 18                       | 45              | 51            | 1.25              | 1.25         | 251              | 293              |
| 50                     | 20                       | 50              | 60            | 1.25              | 1.25         | 325              | 340              |
| 60                     | 24                       | 61              | 72            | 1.25              | 2.50         | 490              | 510              |
| 70                     | 27                       |                 | 83            |                   | 2.50         | 1,250            | 1,072            |
| 80                     | 30                       |                 | 91            |                   | 2.50         | 1,580            | 1,345            |
| 90                     | 36                       |                 | 100           |                   | 2.50         | 1,970            | 1,693            |
| 100                    | 40                       |                 | 113           |                   | 2.50         | 2,470            | 2,112            |

Consulte su disponibilidad en la planta más cercana.

La tubería sin refuerzo se produce de acuerdo con las siguientes normas:

-  NTC 1022.  
"Tubería de concreto sin refuerzo para alcantarillado". "Reglamento técnico de tuberías"
-  NTP 399.009.  
"Tubos de hormigón (concreto) simple de sección circular para la conducción de líquidos sin presión"
-  ASTM C 14 M.  
"Standard Specification for Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe"

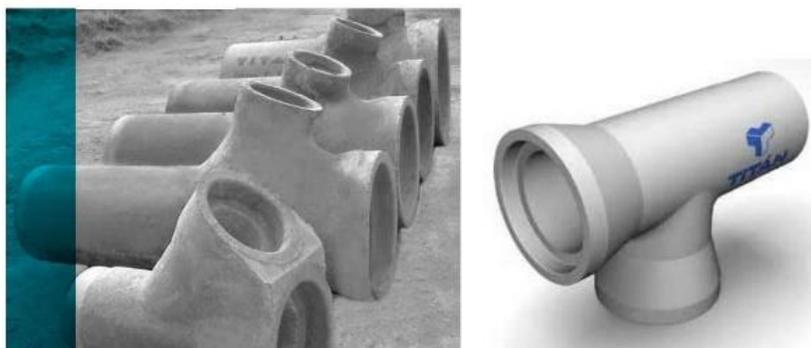
### Juntas

En sistemas de alcantarillados en que se requiere garantizar la estanqueidad del sistema, en las uniones de los tubos de concreto sin refuerzo se utilizan empaques de caucho tipo rodante, que permiten pequeñas deflexiones entre tubos sin que se presenten fugas o infiltraciones.

-  NTC 1328.  
"Juntas flexibles para la unión de tubos circulares de concreto"
-  ASTM C 443M.  
"Standard Specification for Joints for Concrete Pipe and Manholes, Using Rubber Gaskets"

*La rugosidad de la tubería de concreto Titán está catalogada como concreto prefabricado de interior liso y para los cálculos hidráulicos puede utilizarse un valor de  $n=0.010$  de Manning.*

- La vida útil estimada es superior a 50 años en condiciones normales de instalación.
- Durante este tiempo la tubería no se requiere ningún mantenimiento preventivo ni correctivo.
- En el rotulado de la tubería se identifica que es para alcantarillado y se incluye la marca Titán, el diámetro y la fecha de fabricación (año-mes-día).



## ACCESORIOS PARA TUBERÍAS DE CONCRETO SIN REFUERZO

### [YEES, TEES, CODOS Y SEMICODOS]

*Son elementos de concreto sin refuerzo para diámetros inferiores a 100 cm que permiten realizar cambios de alineación en las redes de alcantarillado y ejecutar conexiones de tubería, según las necesidades de cada proyecto.*

| DESCRIPCIÓN | DIÁMETRO INTERNO |      | LONGITUD ÚTIL<br>m | ESPESOR DE PARED<br>cm | PESO NOMINAL<br>kg |
|-------------|------------------|------|--------------------|------------------------|--------------------|
|             | cm               | pulg |                    |                        |                    |
| Yee         | 20x15            | 8x6  | 0.6                | 29                     | 73                 |
| Yee         | 20x15            | 10x6 | 1.25               | 31                     | 120                |
| Yee         | 30x15            | 12x6 | 1.25               | 33                     | 170                |
| Yee         | 35x15            | 14x6 | 1.25               | 35                     | 178                |
| Yee         | 40x15            | 16x6 | 1.25               | 40                     | 250                |
| Yee         | 45x15            | 18x6 | 1.25               | 45                     | 300                |
| Yee         | 50x15            | 24x6 | 1.25               | 50                     | 360                |
| Yee         | 60x15            | 6    | 1.25               | 61                     | 530                |
| Semicodo    | 15               | 6    |                    | 24                     | 13.5               |

*Consulte su disponibilidad en la planta más cercana.*

-  NTC 1022.  
"Tubería de concreto sin refuerzo para alcantarillado". "Reglamento técnico de tuberías"
-  NTP 399.009.  
"Tubos de hormigón (concreto) simple de sección circular para la conducción de líquidos sin presión"
-  ASTM C 14 M.  
"Standard Specification for Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe"



## ACCESORIOS PARA TUBERÍAS DE CONCRETO CON REFUERZO

Son elementos de concreto reforzado para diámetros superiores a 60 cm que permiten realizar cambios de alineación en las redes de alcantarillado y ejecutar conexiones de tubería, según las necesidades de cada proyecto.

### [CODOS Y SEMICODOS DE GRAN DIÁMETRO]

| DIÁMETRO NOMINAL<br>pulg | DIÁMETRO INTERNO |        | ESPESOR<br>mm | LONGITUD ÚTIL<br>m | PESO<br>kg/un |
|--------------------------|------------------|--------|---------------|--------------------|---------------|
|                          | Entrada<br>cm    | Salida |               |                    |               |
| 24                       | 60               | 60     | 72            | 2.50               | 980           |
| 27                       | 70               | 70     | 83            | 2.50               | 1,270         |
| 32                       | 80               | 80     | 91            | 2.50               | 1,590         |
| 36                       | 90               | 90     | 100           | 2.50               | 1,980         |
| 40                       | 100              | 100    | 113           | 2.50               | 2,490         |
| 44                       | 110              | 110    | 126           | 2.50               | 2,790         |
| 48                       | 120              | 120    | 136           | 2.50               | 3,280         |
| 52                       | 130              | 130    | 140           | 2.50               | 3,640         |
| 56                       | 140              | 140    | 140           | 2.50               | 3,890         |
| 60                       | 150              | 150    | 150           | 2.50               | 4,460         |
| 64                       | 160              | 160    | 160           | 2.50               | 5,080         |
| 68                       | 170              | 170    | 170           | 2.50               | 5,750         |
| 72                       | 180              | 180    | 180           | 2.50               | 6,440         |
| 80                       | 200              | 200    | 200           | 2.50               | 7,960         |
| 86                       | 215              | 215    | 210           | 2.50               | 8,960         |
| 92                       | 230              | 230    | 220           | 2.50               | 10,000        |
| 98                       | 245              | 245    | 248           | 2.50               | 12,730        |
| 110                      | 275              | 275    | 295           | 2.50               | 15,703        |

*Consulte su disponibilidad en la planta más cercana.*

Los accesorios para tuberías de concreto con refuerzo se producen de acuerdo con las siguientes normas:

-  NTC 401.  
"Tubería de concreto reforzado para alcantarillado"  
"Reglamento técnico de tuberías"  
Especificación INVIAS 661 para Tubería de concreto reforzado
-  NTP 399.038.  
"Tubos de hormigón (concreto) armado de sección circular para la conducción de líquidos sin presión"
-  ASTM C 76 M.  
"Standard Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe"

## POZO DE INSPECCIÓN CONVENCIONAL

### [BUZÓN - MANHOLE]



Los pozos de inspección pueden estar conformados por la base, secciones cilíndricas monolítica de altura variable y secciones cónicas.

Se producen utilizando mezclas secas con baja relación agua-cemento y en las uniones se utilizan empaques de caucho, que garantizan la estanqueidad del sistema, sin que se presenten agrietamientos anulares y fisuras longitudinales: muy comunes en los pozos de ladrillo.

Estas estructuras de inspección son utilizadas para colectores de diámetros entre 20 cm y 60 cm (8" a 24"), en lo cuales se emplean las secciones cilíndricas para conformar el pozo hasta la rasante.

### Secciones cilíndricas

| DIÁMETRO INTERNO<br>cm | DIÁMETRO EXTERNO<br>cm | ALTURA ÚTIL<br>m | ESPESOR PARED<br>cm | PESO<br>kg |
|------------------------|------------------------|------------------|---------------------|------------|
| 120                    | 140                    | 100              | 100                 | 900        |
| 120                    | 140                    | 50               | 100                 | 470        |
| 120                    | 140                    | 25               | 100                 | 250        |

Consulte su disponibilidad en la planta más cercana.

### Conos (Concéntrico - Excéntrico)

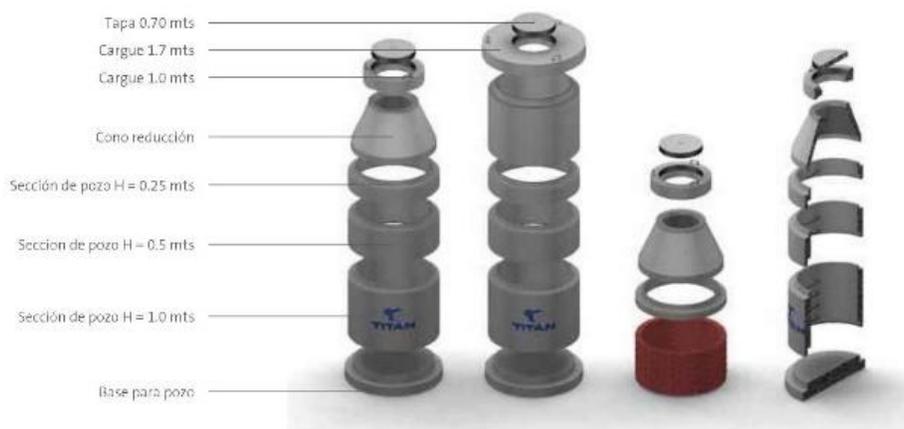
| DIÁMETRO SUPERIOR<br>cm | DIÁMETRO INFERIOR<br>cm | ALTURA ÚTIL<br>m | ESPESOR PARED<br>cm | PESO<br>kg |
|-------------------------|-------------------------|------------------|---------------------|------------|
| 60                      | 120                     | 75               | 100                 | 660        |

Consulte su disponibilidad en la planta más cercana.

### Base para pozo

| DIÁMETRO EXTERNO<br>cm | ESPESOR PLACA<br>mm | PESO<br>kg |
|------------------------|---------------------|------------|
| 170                    | 200                 | 1020       |

Consulte su disponibilidad en la planta más cercana.



### Tapa para pozo

| DESCRIPCIÓN         | DIÁMETRO EXTERNO<br>cm | ESPESOR PLACA<br>mm | PESO<br>kg |
|---------------------|------------------------|---------------------|------------|
| Arotapa pozo cónico | 100                    | 200                 | 230        |
| Arotapa pozo recto  | 170                    | 250                 | 1110       |
| Tapa de concreto    | 70                     | 100                 | 90         |

*Consulte su disponibilidad en la planta más cercana.*

Las secciones y las cámaras cumplen con las especificaciones de las Normas:

-  Técnicas Colombianas NTC 401.  
"Tubos de concreto reforzado para alcantarillado" y la NTC 3789.
-  "Secciones de cámaras de inspección prefabricadas en concreto reforzado".  
ASTM C 478 M.  
"Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Manhole Sections"
-  ASTM C 478 M.  
"Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Manhole Sections"



## POZO DE INSPECCIÓN ESPECIAL

### [BUZÓN - MANHOLE]

Es una estructura de inspección para colectores de diámetros entre 70 cm y 100 cm (27" a 40").

Consta de una sección cilíndrica de altura definida con la las tuberías de entrada y salida acopladas desde la fábrica con la deflexión que va desde 0° a 90° y cotas requeridas por el proyecto. Esta permite el acople con las secciones cilíndricas para conformar el pozo.

| DIÁMETRO INTERNO POZO<br>cm | DIÁMETRO EXTERNO POZO<br>cm | ALTURA ÚTIL<br>cm | ESPESOR PARED<br>mm | DIÁMETRO CONEXIONES ENTRADA<br>cm | DIÁMETRO CONEXIONES SALIDA<br>cm |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 120                         | 140                         | 100               | 100                 | 70                                | 70                               |
|                             |                             |                   |                     | 80                                | 80                               |
|                             |                             |                   |                     | 90                                | 90                               |
|                             |                             |                   |                     | 100                               | 100                              |

Se pueden realizar combinaciones entre los diámetros de entada y salida según el proyecto.

Las secciones y las cámaras cumplen con las especificaciones de las normas:

-  Técnicas Colombianas NTC 401.  
"Tubos de concreto reforzado para alcantarillado" y la NTC 3789.
-  "Secciones de cámaras de inspección prefabricadas en concreto reforzado".
-  ASTM C 478 M.  
"Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Manhole Sections"



## CÁMARAS PREFABRICADAS

Son estructuras de conexión e inspección para colectores con diámetros desde 110 cm en adelante, construidas a partir de una tubería con la deflexión requerida en el proyecto y con la ventaja de conexión mediante espigo y campana.

Constan de un arranque vertical que permite el acople de las secciones para conformar el pozo. Estas son complementadas con accesorios de caída que permiten realizar las conexiones de las tuberías de entrada y salida con las cotas clave o batea proyectadas.

Se pueden realizar combinaciones entre los diámetros de entada y salida según el proyecto.

Las secciones y las cámaras cumplen con las especificaciones de las normas:

| ACCESO A CHIMENEA         |                           | ALTURA<br>cm | ESPESOR<br>PARED<br>mm | DIÁMETRO<br>CONEXIONES<br>ENTRADA<br>cm | DIÁMETRO<br>CONEXIONES<br>SALIDA<br>cm |
|---------------------------|---------------------------|--------------|------------------------|---|--|
| DIÁMETRO<br>INTERNO<br>cm | DIÁMETRO<br>EXTERNO<br>cm |              |                        |   |  |
| 120                       | 140                       | 20 -50       | 126 - 280              | 110<br>a<br>275                         | 110<br>a<br>275                        |

 NTC 401.  
"Tubos de concreto reforzado para alcantarillado" y la NTC 3789.  
"Secciones de cámaras de inspección prefabricadas en concreto reforzado".



## TUBERÍA DE CONCRETO CON REFUERZO

*La tubería de concreto con refuerzo Titán es utilizada para la conducción de aguas lluvias y negras, residuos líquidos industriales, drenajes en vías y en general en conductos no sometidos a presión hidrostática.*

Este tipo de tubería es fabricada en diámetros que varían entre 60 cm (24") y 275 cm (110"), utilizando mezclas secas con baja relación agua cemento, con lo cual se obtiene un concreto de alta densidad, baja absorción, baja permeabilidad y larga durabilidad.

El refuerzo consiste en acero trefilado en frío, enrollado en una o varias capas de manera helicoidal, o una o varias mallas de acero trefilado, enrolladas de manera perimetral. La tubería de concreto con refuerzo se clasifica, según su resistencia, a rotura en cinco tablas o clases.

Para la utilización en el transporte de aguas servidas en climas cálidos, donde las pendientes sean menores al 0,10 por ciento, es conveniente revisar con el departamento técnico sobre la necesidad de utilizar un recubrimiento interior.

| DIÁMETRO INTERNO<br>cm | DIÁMETRO NOMINAL<br>cm | ESPESOR<br>mm | LONGITUD ÚTIL<br>m | PESO<br>kg/un |
|------------------------|------------------------|---------------|--------------------|---------------|
| 60                     | 24                     | 72            | 2.50               | 980           |
| 70                     | 27                     | 83            | 2.50               | 1,270         |
| 80                     | 30                     | 91            | 2.50               | 1,590         |
| 90                     | 36                     | 100           | 2.50               | 1,980         |
| 100                    | 40                     | 113           | 2.50               | 2,490         |
| 110                    | 44                     | 126           | 2.50               | 2,790         |
| 120                    | 48                     | 136           | 2.50               | 3,280         |
| 130                    | 52                     | 140           | 2.50               | 3,640         |
| 140                    | 56                     | 140           | 2.50               | 3,890         |
| 150                    | 60                     | 150           | 2.50               | 4,460         |
| 160                    | 64                     | 160           | 2.50               | 5,080         |
| 170                    | 68                     | 170           | 2.50               | 5,750         |
| 180                    | 72                     | 180           | 2.50               | 6,440         |
| 200                    | 78                     | 200           | 2.50               | 7,960         |
| 215                    | 84                     | 210           | 2.50               | 8,950         |
| 230                    | 92                     | 220           | 2.50               | 10,000        |
| 245                    | 96                     | 248           | 2.50               | 11,619        |
| 275                    | 108                    | 295           | 2.50               | 15,703        |

*Consulte su disponibilidad en la planta más cercana.*



La tubería con refuerzo se produce de acuerdo con las siguientes normas:

-  NTC 401.  
 "Tubería de concreto reforzado para alcantarillado"  
 "Reglamento técnico de tuberías"  
 Especificación INVIAS 661 para Tubería de concreto reforzado
-  NTP 399.038.  
 "Tubos de hormigón (concreto) armado de sección circular para la conducción de líquidos sin presión"
-  ASTM C 76 M.  
 "Standard Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe"

### Juntas

En sistemas de alcantarillados en que se requiere garantizar la estanqueidad del sistema, en las uniones de los tubos de concreto con refuerzo se utilizan empaques de caucho tipo circular para diámetros menores a 1,30 m (52"), y tipo arpón para diámetros mayores e iguales a 1,40 m (56"), que permiten pequeñas deflexiones entre tubos sin que se presenten fugas o infiltraciones.

Los empaques de caucho se fabrican de acuerdo con las siguientes normas:

-  NTC 1328.  
 "Juntas flexibles para la unión de tubos circulares de concreto"
-  ASTM C 443M.  
 "Standard Specification for Joints for Concrete Pipe and Manholes, Using Rubber Gaskets"

*La rugosidad de la tubería de concreto Titán está catalogada como concreto prefabricado de interior liso y para los cálculos hidráulicos puede utilizarse un valor de  $n=0.010$  de Manning.*

- La vida útil estimada es superior a 50 años en condiciones normales de instalación.
- Durante este tiempo la tubería no requiere ningún mantenimiento preventivo ni correctivo.
- En el rotulado de la tubería se identifica que es para alcantarillado, se incluye la marca Titán, el diámetro y la fecha de fabricación (año-mes-día).



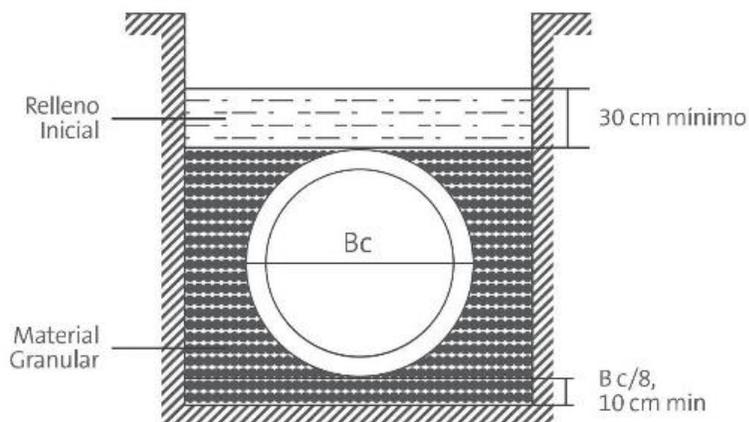
## TUBERÍA PARA INSTALACIÓN SUPERFICIAL

*Son tuberías diseñadas para ser instaladas con muy poca profundidad sin necesidad de construir cárcamos de protección, aprovechando las propiedades estructurales de las tuberías de concreto. Están diseñadas para soportar cargas vivas de rellenos a partir de 30 cm de profundidad.*

Este tipo de tubería es fabricada en diámetros que varían entre 20 cm (8") y 50 cm (20") con mezclas de concreto de alta resistencia y fibras de macrorrefuerzo. Permite a diseñadores y constructores sustituir estructuras de protección como cárcamos utilizados comúnmente en la construcción de redes de alcantarillado. Su facilidad de instalación disminuye los tiempos de ejecución de los proyectos, pues no requiere procesos constructivos adicionales.

| DIÁMETRO INTERNO<br>cm | DIÁMETRO NOMINAL<br>pulg | ESPESOR PARED<br>mm | LONGITUD ÚTIL<br>m  | PESO<br>kg/un |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |
|------------------------|--------------------------|---------------------|---|---------------|----|----|------|-----|----|----|----|------|-----|----|----|----|------|-----|----|----|----|------|-----|
| 20                     | 8                        | 56                  | 1.25  | 136           |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |
| 25                     | 10                       | 63                  | 1.25  | 190           |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |
| 30                     | 12                       | 65                  | 1.25 </tr <tr> <td>35</td> <td>14</td> <td>70</td> <td>1.25</td> <td>277</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>16</td> <td>71</td> <td>1.25</td> <td>340</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>18</td> <td>77</td> <td>1.25</td> <td>388</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>20</td> <td>77</td> <td>1.25</td> <td>470</td> </tr> | 35            | 14 | 70 | 1.25 | 277 | 40 | 16 | 71 | 1.25 | 340 | 45 | 18 | 77 | 1.25 | 388 | 50 | 20 | 77 | 1.25 | 470 |
| 35                     | 14                       | 70                  | 1.25  | 277           |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |
| 40                     | 16                       | 71                  | 1.25  | 340           |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |
| 45                     | 18                       | 77                  | 1.25  | 388           |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |
| 50                     | 20                       | 77                  | 1.25  | 470           |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |

### MODELO DE CIMENTACIÓN RECOMENDADO



La tubería para bajos recubrimientos se produce de acuerdo con las siguientes normas:

-  NTC 1022.  
"Tubería de Concreto sin refuerzo",  
UNE127916 "Tubos y piezas complementarias, de hormigón en masa,  
hormigón con fibra de acero y hormigón armado"  
y Reglamento Técnico de Tuberías.
-  NTP 399.009.  
"Tubos de hormigón (concreto) simple de sección circular para la  
conducción de líquidos sin presión"
-  ASTM C 14 M.  
"Standard Specification for Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe"



## DRENAJES PARA CARRETERA

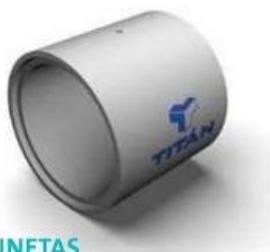
### TUBERÍA PARA CARRETERAS

*La tubería de concreto con refuerzo Titán es utilizada para drenajes en vías.*

Este tipo de conductos es fabricado en diámetros que varían entre 60 cm (24") y 275 cm (110"), con mezclas secas con baja relación agua-material cementante, lo que produce un concreto de alta densidad, baja absorción, baja permeabilidad y larga durabilidad. El refuerzo consiste en acero trefilado en frío, enrollado en una o varias capas de manera helicoidal, o una o varias mallas de acero trefilado, enrolladas de manera perimetral. La tubería de concreto con refuerzo se clasifica, según su resistencia a fisura en cinco clases.

Para disminuir el peso de los tubos y facilitar su instalación, con el equipo normalmente disponible en la construcción de carreteras, esta tubería se puede fabricar con longitud útil de un metro para algunos diámetros.

La tubería con refuerzo se produce de acuerdo con las siguientes normas:



-  NTC 401.  
"Tubería de concreto reforzado para alcantarillado".  
"Reglamento técnico de tuberías"  
Especificación INVIAS 661 para Tubería de concreto reforzado
-  NTP 399.038.  
"Tubos de hormigón (concreto) armado de sección circular para la conducción de líquidos sin presión"
-  ASTM C 76 M.  
"Standard Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe"

### CUNETAS

Son piezas aligeradas prefabricadas con acabado liso utilizadas para el encauzamiento y conducción de la escorrentía superficial hacia sumideros, canales o alcantarillas.



### CANALES TRAPEZOIDALES

*Son secciones de canal de altura variable y longitud que varían entre 1.0 m y 2.50 m y conforman un canal de sección trapezoidal o rectangular, definida para el encauzamiento de vallados o quebradas, o para conformar redes de drenajes superficiales en concreto reforzado.*

Se fabrican según los requerimientos del proyecto.

#### Ventajas

- \* Son prefabricados de fácil y rápida instalación
- \* Generan menores costos de mano de obra
- \* Eliminan el uso de formaletas
- \* Reducen la cantidad de concreto en obra

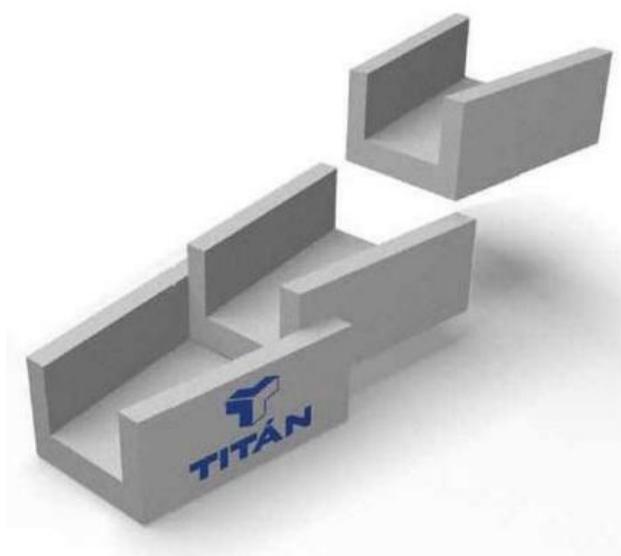




### BAJANTE TALUD

Es una pieza de concreto de geometría trapezoidal que funciona como elemento autoportante para encauzar el agua que baja de las laderas o taludes con fuertes pendientes.

| REFERENCIA | ESPESOR<br>cm | BASE<br>cm | LARGO<br>cm | PESO<br>kg |
|------------|---------------|------------|-------------|------------|
| CU 005     | 15            | 43         | 50          | 55         |



### CANALES DE SECCIÓN CIRCULAR

Son tubos de concreto cortados longitudinalmente a la mitad, con diámetros que van de 15 cm (6") a 2,75 m (110").

Su uso primordial es encauzar el agua y llevarla hacia el sitio de conducción o entrega sin escalonamientos para evitar la socavación de los taludes. Se utilizan también como zanja de coronación para evitar las filtraciones que desestabilizan los taludes en las vías. Una vez instalados los canales de sección circular, se procede al sellado de juntas con mortero, con lo cual se conforma un canal apropiado para la evacuación de aguas en las zonas altas de los taludes.



## SISTEMAS DE INSTALACIÓN SIN ZANJA

[TRENCHLESS]



### TUBERÍA PARA HINCA (JACKING PIPE)

*La tubería de concreto reforzado para sistemas de instalación en zanja se fabrica en diámetros que varían entre 40cm y 275cm.*

La unión de los tubos se realiza mediante una junta de caucho y una campana de acero galvanizado o inoxidable, montada en el lado hembra del tubo, con un anillo de madera para evitar desportilladuras del concreto durante el empuje. Algunos tubos están provistos de tres agujeros pasantes que permiten realizar las inyecciones necesarias (bentonita) para la lubricación.

El sistema pipe jacking permite la instalación de tuberías sin necesidad de abrir zanjas. Comparado con la técnica de zanja abierta, las ventajas de este sistema de instalación son las siguientes:

- No se afectan las redes de servicios existentes.
- Se puede instalar en cualquier condición climática.
- Se puede trabajar bajo el nivel freático.
- Es posible excavar debajo de estructuras existentes como edificaciones, vías, ríos o ferrocarriles, sin afectarlos.
- Reduce el impacto socio-ambiental: disminución de ruido, polvo, molestias a la comunidad, daños a predios en el área de afectación y contaminación visual.
- Reduce los costos por excavación y rellenos.

Notas: Esta tubería cuenta con dos empaques a saber, Arpon y cuadrado. Se fabrica según los requerimientos del proyecto. La tubería puede ser fabricada con recubrimiento interior en laminas de polietileno de alta densidad.

| DIÁMETRO INTERNO<br>cm | ESPESOR DE PARED<br>mm | LONGITUD ÚTIL<br>m | CLASE | F'c<br>Mpa | PESO<br>kg | CARGA ROTURA<br>KN/m | CARGA FISURA<br>KN/m |
|------------------------|------------------------|--------------------|-------|------------|------------|----------------------|----------------------|
| 40                     | 83                     | 1.25               | III   | 35         | 381        | 100                  | 50                   |
|                        |                        |                    | IV    | 35         | 381        | 150                  | 100                  |
|                        |                        |                    | V     | 42         | 381        | 175                  | 140                  |
| 60                     | 85                     | 2                  | III   | 35         | 909        | 100                  | 50                   |
|                        |                        |                    | IV    | 35         | 925        | 150                  | 100                  |
|                        |                        |                    | V     | 42         | 939        | 175                  | 140                  |
| 90                     | 100                    | 2                  | III   | 35         | 1563       | 100                  | 50                   |
|                        |                        |                    | IV    | 35         | 1603       | 150                  | 100                  |
|                        |                        |                    | V     | 42         | 1624       | 175                  | 140                  |
| 100                    | 113                    | 2.5                | III   | 35         | 2458       | 100                  | 50                   |
|                        |                        |                    | IV    | 35         | 2505       | 150                  | 100                  |
|                        |                        |                    | V     | 42         | 2531       | 175                  | 140                  |
| 120                    | 136                    | 2.5                | III   | 35         | 3543       | 100                  | 50                   |
|                        |                        |                    | IV    | 35         | 3609       | 150                  | 100                  |
|                        |                        |                    | V     | 42         | 3634       | 175                  | 140                  |
| 150                    | 150                    | 2.5                | III   | 35         | 4862       | 100                  | 50                   |
|                        |                        |                    | IV    | 35         | 4958       | 150                  | 100                  |
|                        |                        |                    | V     | 42         | 5009       | 175                  | 140                  |
| 160                    | 160                    | 2.5                | III   | 35         | 5515       | 100                  | 50                   |
|                        |                        |                    | IV    | 35         | 5624       | 150                  | 100                  |
|                        |                        |                    | V     | 42         | 5682       | 175                  | 140                  |
| 180                    | 189                    | 2.5                | III   | 28         | 7353       | 75                   | 50                   |
|                        |                        |                    | IV    | 35         | 7457       | 150                  | 100                  |
|                        |                        |                    | V     | 42         | 7528       | 175                  | 140                  |
| 200                    | 200                    | 2.5                | III   | 35         | 8606       | 100                  | 50                   |
|                        |                        |                    | IV    | 35         | 8718       | 150                  | 100                  |
|                        |                        |                    | V     | 42         | 8805       | 175                  | 140                  |
| 215                    | 210                    | 2.5                | III   | 35         | 9683       | 100                  | 50                   |
|                        |                        |                    | IV    | 35         | 9809       | 150                  | 100                  |
|                        |                        |                    | V     | 42         | 9842       | 175                  | 140                  |
| 245                    | 248                    | 2.5                | III   | 35         | 13158      | 100                  | 50                   |
|                        |                        |                    | IV    | 35         | 12720      | 150                  | 100                  |
|                        |                        |                    | V     | 42         | 12720      | 175                  | 140                  |
| 275                    | 273                    | 2.5                | III   | 35         | 16266      | 100                  | 50                   |
|                        |                        |                    | IV    | 35         | 15689      | 150                  | 100                  |
|                        |                        |                    | V     | 42         | 15689      | 175                  | 140                  |

Consulte su disponibilidad en la planta más cercana.

La tubería para hincas (pipe jacking) se produce de acuerdo con las siguientes normas:



BS 5911, parte 120. "Precast concrete pipe, fitting and ancillary products. Specification for reinforced jacking pipes with flexible joints"

NTC 401. "Tubería de concreto reforzado para alcantarillado".  
"Reglamento técnico de tuberías"



BS 5911, parte 120. "Precast concrete pipe, fitting and ancillary products. Specification for reinforced jacking pipes with flexible joints"

NTP 399.038 "Tubos de hormigón (concreto) armado de sección circular para la conducción de líquidos sin presión"



BS 5911, parte 120. "Precast concrete pipe, fitting and ancillary products. Specification for reinforced jacking pipes with flexible joints"

ASTM C. 76 M. "Standard Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe"

## DOVELAS PARA TÚNEL



*Las dovelas son elementos prefabricados de concreto, utilizados en la construcción de túneles para tráfico vehicular, líneas de trenes, líneas de metros, transporte de agua o en general para fines utilitarios.*

Las dovelas, que se ponen como revestimiento de los túneles, aportan la resistencia del conducto a presiones externas, constituyen el recubrimiento interno del túnel y proporcionan un soporte axial a la máquina excavadora para asegurar el avance del túnel.

El número de dovelas para conformar los anillos y la calidad de los materiales es definido de acuerdo con la geometría y el diseño del túnel.

### Ventajas

- No se afectan las redes de servicios existentes.
- Se pueden instalar en cualquier condición climática.
- Se puede trabajar bajo el nivel freático.
- Es posible excavar debajo de estructuras existentes como edificaciones, vías, ríos o ferrocarriles, sin afectarlos.
- Reducen el impacto socio-ambiental: disminución de ruido, polvo, molestias a la comunidad, daños a predios en el área de afectación y contaminación visual.
- Reducen los costos por excavación y rellenos.



## TUBOS CON RECUBRIMIENTO EXTERNO

*Este procedimiento se realiza mediante la aplicación de pintura bituminosa epóxica que protege la tubería de la acidez del suelo circundante cuando el PH es inferior a 4.0.*

### Características

Este tipo de tubería posee una protección óptima contra suelos ácidos.

Cuenta con una protección adicional contra la corrosión por acción o contacto permanente con agua de mar.

La tubería reforzada no está sujeta a fallas por cortante o flexión.

Para la utilización en el transporte de aguas servidas en climas cálidos donde las pendientes son bajas, es conveniente revisar con nuestro departamento técnico sobre la necesidad de utilizar un recubrimiento interior.

La tubería con recubrimiento se produce de acuerdo con las siguientes normas:

-  BS 5911, parte 120. "Precast concrete pipe, fitting and ancillary products. Specification for reinforced jacking pipes with flexible joints"  
 NIC 401. "Tubería de concreto reforzado para alcantarillado".  
 NTC 1022 "Tubería de Concreto sin refuerzo",  
 "Reglamento técnico de tuberías"
-  Bandera de Perú: BS 5911, parte 120. "Precast concrete pipe, fitting and ancillary products. Specification for reinforced jacking pipes with flexible joints"  
 NTP 399.038 "Tubos de hormigón (concreto) armado de sección circular para la conducción de líquidos sin presión"  
 NTP 399.009 "Tubos de hormigón (concreto) simple de sección circular para la conducción de líquidos sin presión"
-  BS 5911, parte 120. "Precast concrete pipe, fitting and ancillary products. Specification for reinforced jacking pipes with flexible joints"  
 ASTM C 76 M. "Standard Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe"  
 ASTM C 14 M. "Standard Specification for Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe"





## TUBERÍA DE CONCRETO REFORZADO PARA BAJA PRESIÓN

Es utilizada para la conducción, la transmisión y la distribución de aguas limpias y servidas, y en todo tipo de obras donde la red será sometida a bajas presiones de trabajo.

| DIÁMETRO INTERNO<br>cm | DIÁMETRO NOMINAL<br>cm | ESPESOR<br>mm | LONGITUD ÚTIL<br>m | PESO<br>kg/un |
|------------------------|------------------------|---------------|--------------------|---------------|
| 60                     | 24                     | 72            | 2.50               | 980           |
| 70                     | 27                     | 83            | 2.50               | 1,270         |
| 80                     | 30                     | 91            | 2.50               | 1,590         |
| 90                     | 36                     | 100           | 2.50               | 1,980         |
| 100                    | 40                     | 113           | 2.50               | 2,490         |
| 110                    | 44                     | 126           | 2.50               | 2,790         |
| 120                    | 48                     | 136           | 2.50               | 3,280         |
| 130                    | 52                     | 140           | 2.50               | 3,640         |
| 140                    | 56                     | 140           | 2.50               | 3,890         |
| 150                    | 60                     | 150           | 2.50               | 4,460         |
| 160                    | 64                     | 160           | 2.50               | 5,080         |
| 170                    | 68                     | 170           | 2.50               | 5,750         |
| 180                    | 72                     | 180           | 2.50               | 6,440         |
| 200                    | 78                     | 200           | 2.50               | 7,960         |
| 215                    | 84                     | 210           | 2.50               | 8,950         |
| 230                    | 92                     | 220           | 2.50               | 10,000        |
| 245                    | 96                     | 248           | 2.50               | 11,619        |
| 275                    | 108                    | 295           | 2.50               | 15,703        |

Consulte su disponibilidad en la planta más cercana.

La tubería de concreto reforzada para baja presión es fabricada y diseñada para soportar una combinación de presión interna entre 75 kPa y 375 kPa, con cargas externas de relleno hasta de 6.0 m sobre el lomo del tubo. Soporta combinaciones de presión interna y cargas de relleno externas, de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM – C361M, principalmente.

La tubería para baja presión se produce en diámetros de 60cm (24") hasta 2.75m de acuerdo con las siguientes normas:

-  NTC 4594.  
"Tubo de concreto reforzado para bajas cabezas de presión"  
"Reglamento técnico de tuberías"
-  ASTM C 361 M.  
"Standard Specification for Reinforced Concrete Low-Head Pressure Pipe"

## BOX CULVERT



Los box culvert son elementos versátiles que pueden ser utilizados para conducción de fluidos, túneles de servicio, paso subterráneo y transporte de material, entre otros, y que requieren de facilidad y rapidez en la instalación cuando el tiempo de ejecución de obra es limitado o en condiciones difíciles de excavación.

Las secciones de box culvert se fabrican bajo la norma:

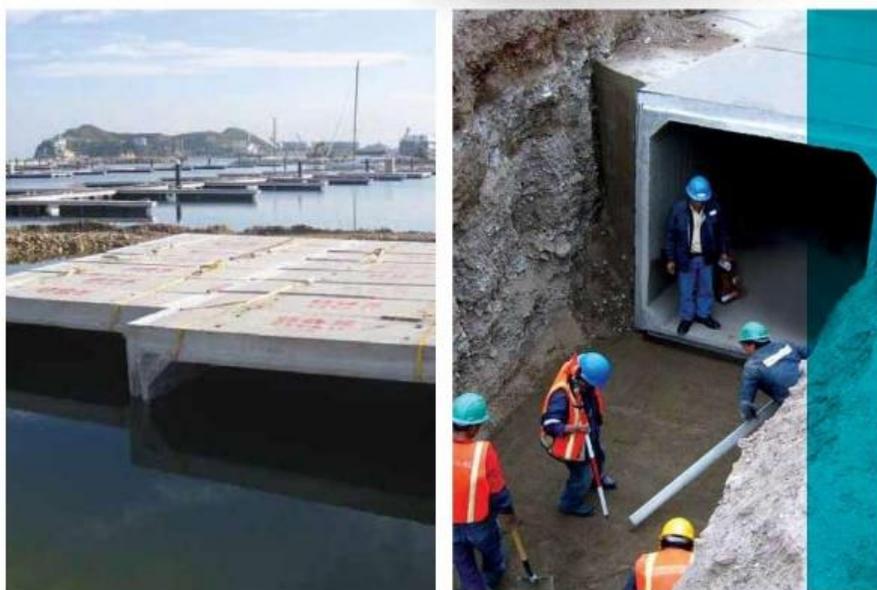
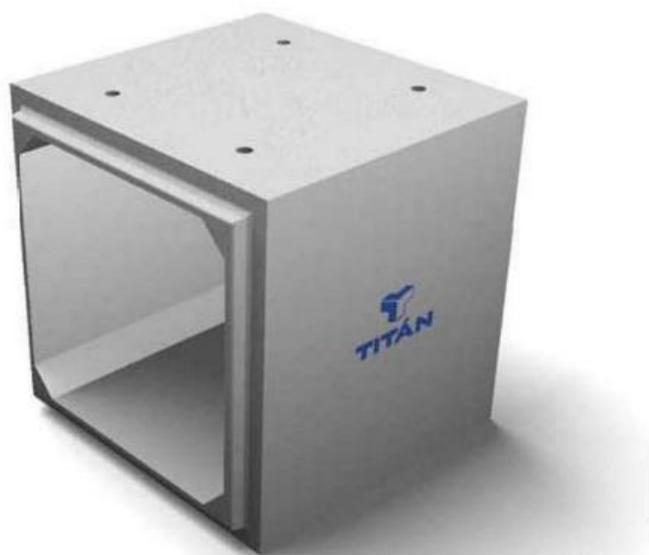
-  ASTM C 1433.
-  Precast reinforced concrete box sections for culverts store drains
-  ASTM C 1433.
-  Precast reinforced concrete box sections for culverts store drains

Los box culvert pueden fabricarse en diferentes dimensiones: estándar o diseño especial.

|       |      | ALTO |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ESPESORES |      |          |       |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|----------|-------|------|------|------|------|
|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | PLACAS    |      |          | MUROS |      |      |      |      |
|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Superior  |      | Inferior | min   |      | max  |      |      |
|       |      | 0.90 | 1.00 | 1.10 | 1.20 | 1.30 | 1.40 | 1.50 | 1.60 | 1.70 | 1.80 | 1.90 | 2.00 | 2.50 | 3.00 | 3.50 | max       | min  | max      | min   | max  | min  | max  |      |
| ANCHO | 0.90 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.20      | 0.25 | 0.20     | 0.25  | 0.20 | 0.25 | 0.20 | 0.25 |
|       | 1.00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.20      | 0.25 | 0.20     | 0.25  | 0.20 | 0.25 | 0.20 | 0.25 |
|       | 1.20 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.20      | 0.35 | 0.20     | 0.35  | 0.20 | 0.35 | 0.20 | 0.35 |
|       | 1.40 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.20      | 0.35 | 0.20     | 0.35  | 0.20 | 0.35 | 0.20 | 0.35 |
|       | 1.50 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.20      | 0.35 | 0.20     | 0.35  | 0.20 | 0.35 | 0.20 | 0.35 |
|       | 1.80 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.20      | 0.35 | 0.20     | 0.35  | 0.20 | 0.35 | 0.20 | 0.35 |
|       | 2.00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.25      | 0.35 | 0.25     | 0.35  | 0.25 | 0.35 | 0.25 | 0.35 |
|       | 2.20 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.25      | 0.35 | 0.25     | 0.35  | 0.25 | 0.35 | 0.25 | 0.35 |
|       | 2.40 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.25      | 0.35 | 0.25     | 0.35  | 0.25 | 0.35 | 0.25 | 0.35 |
|       | 2.50 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.25      | 0.35 | 0.25     | 0.35  | 0.25 | 0.35 | 0.25 | 0.35 |
|       | 2.80 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.25      | 0.35 | 0.25     | 0.35  | 0.25 | 0.35 | 0.25 | 0.35 |
|       | 3.00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.25      | 0.35 | 0.25     | 0.35  | 0.25 | 0.35 | 0.25 | 0.35 |
|       | 3.20 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.25      | 0.35 | 0.25     | 0.35  | 0.25 | 0.35 | 0.25 | 0.35 |
| max   | 3.50 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.25 | 0.35      | 0.25 | 0.35     | 0.25  | 0.35 | 0.25 | 0.35 |      |

Las dimensiones corresponden a medidas comunes y se pueden fabricar según los requerimientos del proyecto. Se pueden elaborar con muro divisorio o doble celda. La longitud del box puede ser 1.00 m, 1.25 m o 2.50 m para reducir el peso del elemento. El box puede ser recubierto externamente para aumentar su durabilidad en condiciones agresivas. Se ofrecen varios tipos de junta según las necesidades del proyecto.

Recubrimientos externos opcionales, pueden ser incorporados a los box y otras características que se puedan requerir, dependiendo del proyecto, como perforaciones para conexiones o pozos, sellos herméticos, etc.







### **Juntas o uniones**

Se pueden realizar varios tipos de tratamientos para las juntas clasificados así:

#### **UNIÓN RÍGIDA**

Está conformada por un fondo de junta, una imprimación o puentes de unión y un mortero de relleno. El fondo de junta se utiliza para limitar el tamaño y evitar el uso excesivo de mortero. Normalmente se emplea un polietileno de célula cerrada, cordón elastomérico o caucho butilo, con un grueso en torno a un 25 por ciento superior al de la junta.

Esta solución solamente es recomendable en caso de que se garantice la inexistencia de movimientos diferenciales entre elementos.

#### **UNIÓN ELÁSTICA**

Está conformada por un fondo de junta, una masilla o mástic bituminoso (presencia eventual de agua) o una masilla o juntas hidroexpansivas (presencia permanente de agua). Las juntas hidroexpansivas se pueden colocar sobre un adhesivo, si la superficie está seca y lisa, o sobre masilla hidroexpansiva, si la superficie está húmeda o es irregular. Según la necesidad del proyecto, se selecciona el tratamiento adecuado.

#### **BANDA ELÁSTICA PARA LA JUNTA**

Según los requerimientos del proyecto, se puede optar por una solución con banda asfáltica, que solamente podrá utilizarse con presión positiva y nunca en presencia de ácidos o sulfatos, o por una solución con banda elástica fijada con resina, prácticamente de validez universal. Soporta cualquier ataque químico y movimientos diferenciales importantes, por lo cual trabaja con presión positiva o negativa.



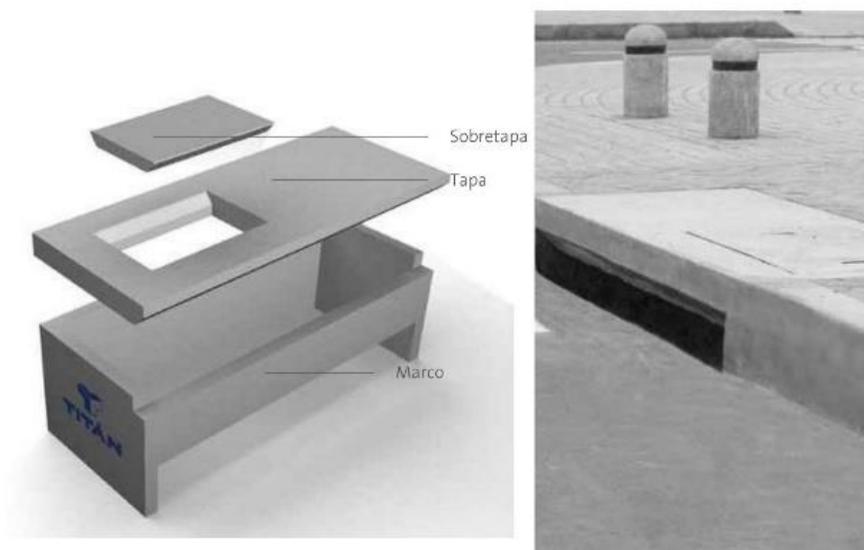
## SUMIDEROS LATERALES

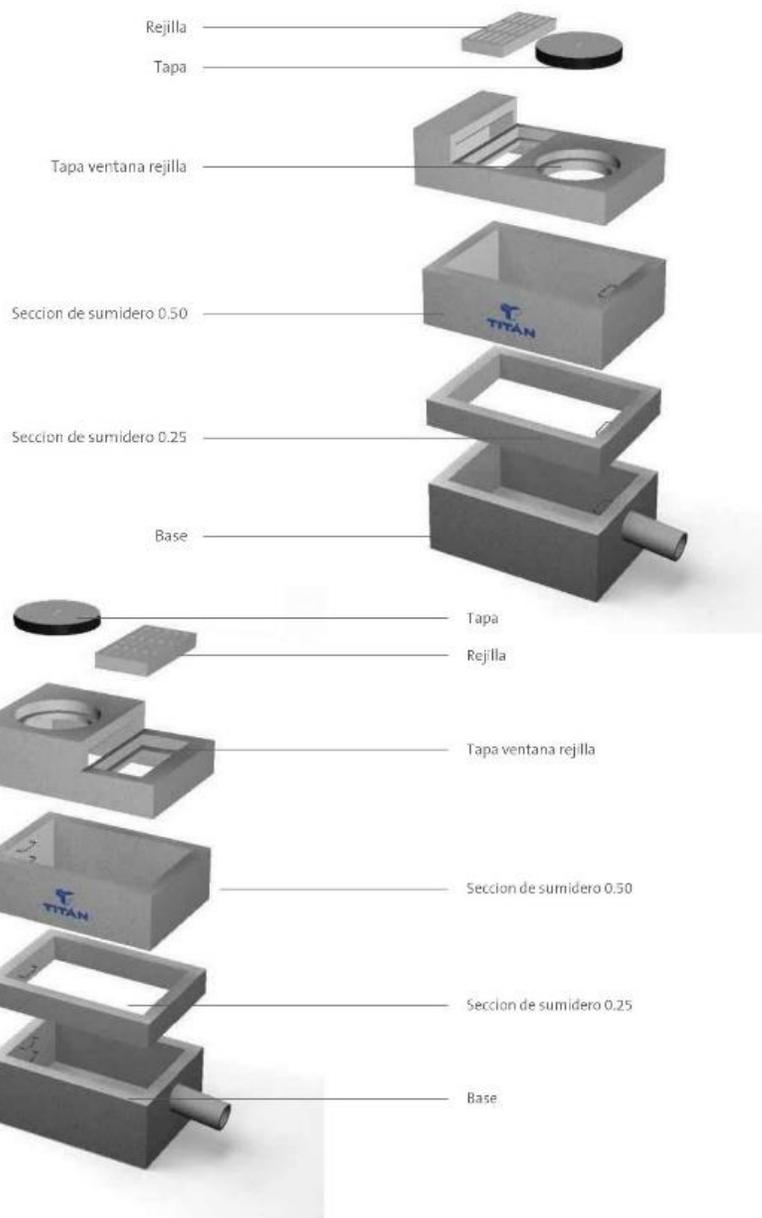
*Uno de los principales problemas de las vías vehiculares es la falta de estructuras adecuadas que faciliten el drenaje de aguas lluvia, pues su acumulación puede generar daños en la estructura del pavimento y reducir su vida útil.*

Los sumideros laterales tipo SL son una excelente solución a este tipo de problemas y al ser elementos prefabricados, generan un ahorro en tiempo y dinero, y proporcionan buenas características estructurales gracias a la calidad de los materiales con que se construyen.

Son utilizados para la recolección de aguas lluvia de esorrentia y son localizados frecuentemente en los andenes cercanos a las intersecciones de las vías con un espaciamiento máximo de 80 m en cunetas, o donde se requiera según el proyecto. Son prefabricados en concreto reforzado de 280 kg/cm<sup>2</sup>, armado con acero de refuerzo y espesor de pared de 10 cm. Se clasifican en función de la longitud de la boca de captación, así: SL-100, SL-150, SL-200 y SL-250. Están compuestos por tres elementos: marco, tapa y sobretapa.

 Estos son fabricados cumpliendo con las tolerancias en dimensiones que especifica el compendio de Sumideros Típicos de la EAAB y la norma ACI 117-90.







**TITÁN**  
ALCANTARILLADO

[www.titancemento.com](http://www.titancemento.com)  
E-mail: [ventas@titancemento.com](mailto:ventas@titancemento.com)

**COLOMBIA**

**Bogotá**  
Oficina principal y planta  
PBX (571) 335 3550 Fax (571) 335 3550  
Cota - Cundinamarca

**Barranquilla**  
Teléfonos (575) 343 5040 - 342 0237 - 342 0783  
Soledad – Atlántico

**Medellín**  
Teléfonos (574) 274 5255 - 274 9466  
Girardota - Antioquia

**PANAMÁ**  
Tubos de Tocumen S.A.  
Teléfonos (507) 266 2444 - 220 9172  
Fax (507) 266 2694  
Ciudad de Panamá - Panamá

**PERÚ**  
Titan Perú S.A.C.  
Teléfonos (511) 430 0280 Fax (511) 430 0641  
Lima - Perú





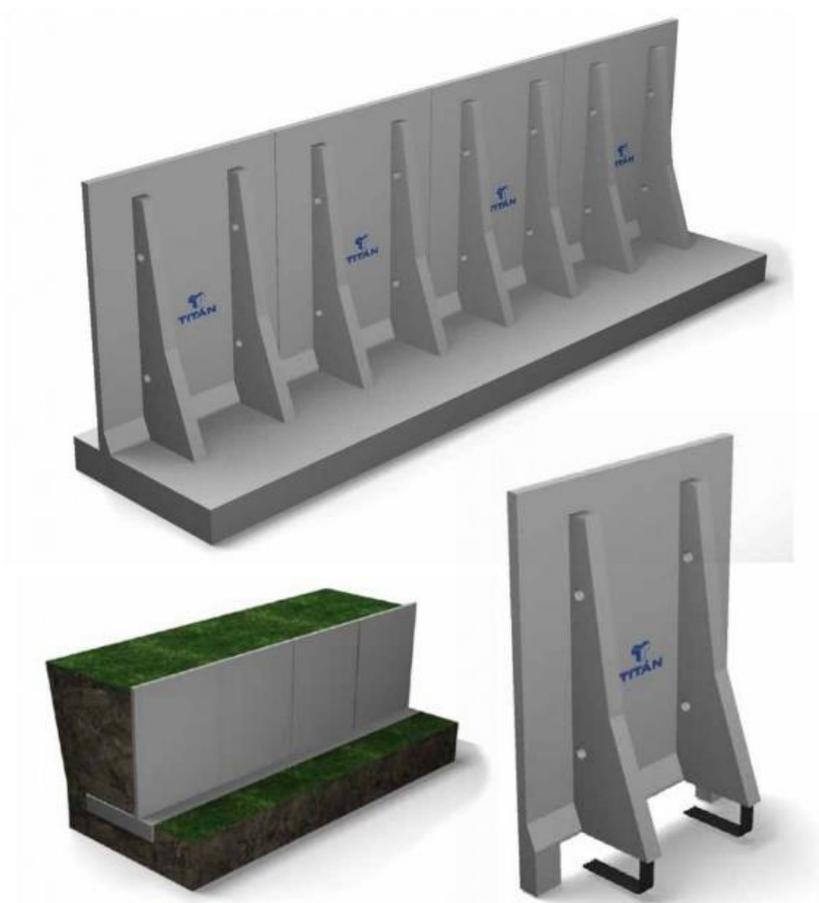
## MUROS DE SUELO REFORZADO

*Se componen de escamas prefabricadas en concreto reforzado que trabajan como confinamiento de las tierras.*

A estas escamas se le fijan una serie de tensores que , al realizar la compactación de las tierras, generan la fricción necesaria para la estabilización del muro. Estos tienen diferentes usos, pasos a nivel, estribos y rampas en puentes, protección de taludes, obras hidráulicas, entre otras.

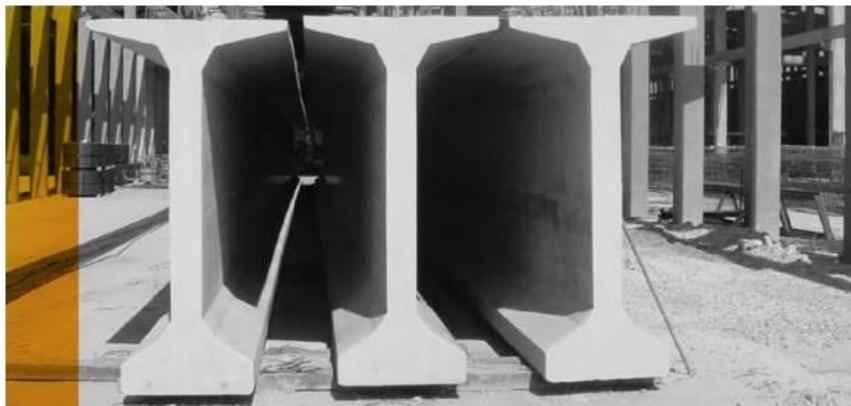
## MUROS CON CONTRAFUERTE

Se componen de módulos prefabricados en concreto reforzado, los cuales se integran a una zapata previamente excavada y armada. Este conjunto se funde formando un elemento monolítico que cumple la misma función de uno tradicional de puntera y talón fundido en obra.



## VIGAS PRETENSADAS

Están diseñadas y fabricadas en diferentes geometrías, cantos y longitudes. Titán cuenta con un equipo técnico capaz de solucionar diferentes condiciones de carga, luces, etc. Junto con las vigas, ofrecemos los elementos complementarios para la conformación de las estructuras, losas, pilas, vigas cabezal, etc.



## BARRERAS

Están diseñadas para casi cualquier condición de impacto, cumplen con estándares nacionales e internacionales de disipación de energía. Nuestra variedad de diseños, tanto geométricos como estructurales, nos permite modular barreras en zonas rectas y curvas y con velocidades de diseño diferentes.





## ARCOS DE BÓVEDA

Medios arcos que permiten la construcción eficiente de falsos túneles. Con dos de estos arcos se pueden conseguir anchos de hasta 14 m así como gálibos de más de 6 m. Los radios de curvatura y el espesor de los arcos les soportar cualquier carga superior viva o muerta.



## PÁNELES DE FACHADA

panel prefabricado, aligerado, arquitectónico, mas no estructural cuya función principal es embellecer las estructuras de concreto. Gracias a una gran variedad de tipos de anclajes, las pantallas pueden adosarse a cualquier tipo de estructura.

Se pueden fabricar en módulos de cualquier altura y en anchos variables entre 0,60 hasta 2,40 metros.

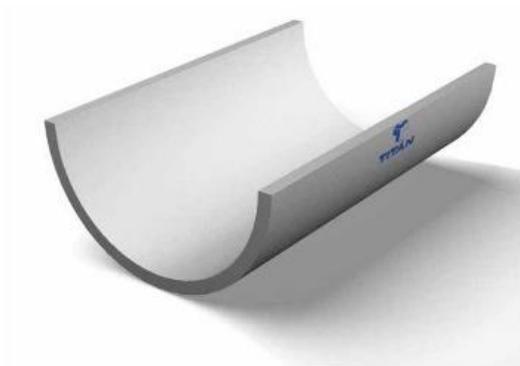
Contamos con un amplio catálogo de acabados de cara vista y colores, así como la posibilidad de diseñar acabados exclusivos.



## CANALES

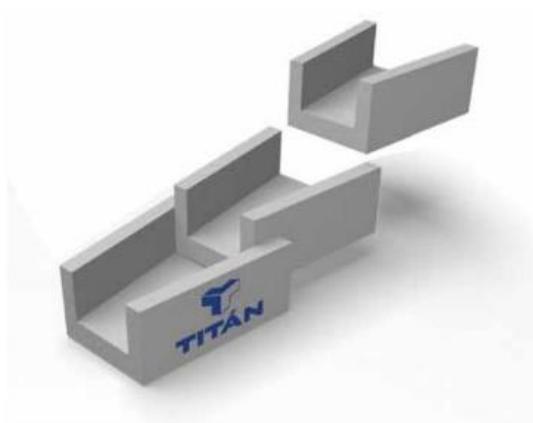
Se utilizan para evitar la socavación y las filtraciones que desestabilizan los taludes de corte en las vías, permiten encauzar el agua y llevarla hacia el sitio de conducción o entrega sin escalonamientos. Además, evitan el arrastre del material que conforma el talud.

Se recomienda el uso de tubos de concreto segmentados longitudinalmente a la mitad o elementos prefabricados en forma trapezoidal; la geometría de los elementos, diámetro y desarrollo de los elementos dependen de las condiciones hidrológicas.



## BAJANTES DE TALUD

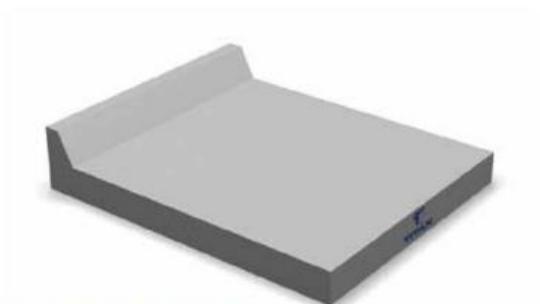
Elemento trapezoidal, disipador de energía del flujo, ideal para la conducción de las aguas acumuladas en la parte alta de los taludes hacia las quebradas más cercanas, así como para el encauzamiento de las aguas que bajan de las laderas. Estos elementos se interconectan y adaptan fácilmente a la pendiente o perfil, evitando la erosión y manteniendo la estabilidad.





## BERMA - CUNETETA

El innovador diseño de la Berma - Cuneta TITAN permite la utilización de un solo producto en vez de dos, reduciendo así el espacio total de la vía. Puede ser modulado tanto para zonas rectas como en curvas; cumple con todas las especificaciones de los entes reguladores tanto para el ancho de la berma como para la captación de aguas de la cuneta. Fácil y rápido de instalar ayudando así a la reducción de tiempos y costos en la obra.



## CANALES CON TAPA

Canales prefabricados en concreto reforzado ideales para la conducción de cualquier tipo de cableado y flujos. El diseño de estos elementos, le permite soportar casi cualquier tipo de carga ya sea viva o muerta. Su tapa removible permite la supervisión y mantenimiento del interior de los canales.





[www.titancemento.com](http://www.titancemento.com)  
E-mail: [ventas@titancemento.com](mailto:ventas@titancemento.com)

#### COLOMBIA

##### Bogotá

Oficina principal y planta  
PBX (571) 335 3550 Fax (571) 335 3550  
Cota - Cundinamarca

##### Barranquilla

Teléfonos (575) 343 5040 - 342 0237 - 342 0783  
Soledad – Atlántico

##### Medellín

Teléfonos (574) 274 5255 - 274 9466  
Girardota - Antioquia

#### PANAMÁ

Tubos de Tocumen S.A.  
Teléfonos (507) 266 2444 - 220 9172  
Fax (507) 266 2694  
Ciudad de Panamá - Panamá

#### PERÚ

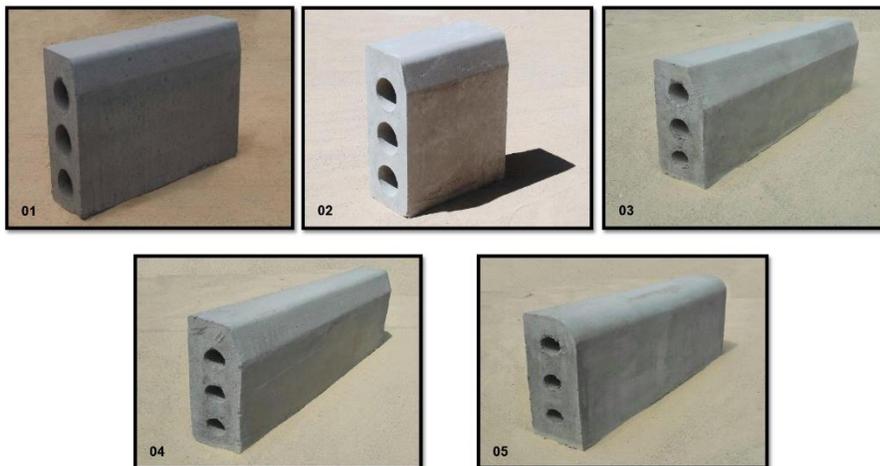
Titan Perú S.A.C.  
Teléfonos (511) 430 0280 Fax (511) 430 0641  
Lima - Perú

- **El Cóndor Prefabricados S.A.S.**

A continuación se muestra el portafolio de productos ofrecidos por la empresa El Cóndor Prefabricados S.A.S. Los números de cada figura se relacionan con la referencia y las dimensiones mostradas en las respectivas tablas.



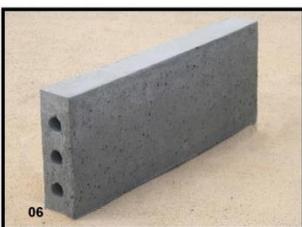
### SARDINELES



| N° | REFERENCIA | LARGO | ANCHO | ALTO | PESO  |
|----|------------|-------|-------|------|-------|
| 01 | BS-10      | 80cm  | 20cm  | 50cm | 134Kg |
| 02 | BS-10M     | 40cm  | 20cm  | 50cm | 67Kg  |
| 03 | BS-35      | 100cm | 15cm  | 35cm | 99Kg  |
| 04 | BS-40      | 100cm | 15cm  | 40cm | 113Kg |
| 05 | BS-45      | 100cm | 17cm  | 45cm | 153Kg |



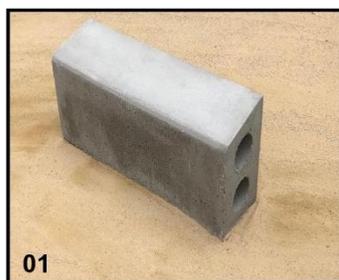
## BORDILLOS



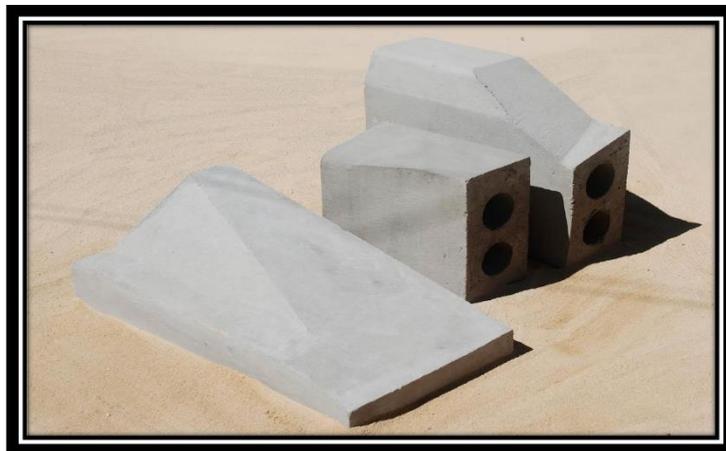
| N° | REFERENCIA | LARGO | ANCHO | ALTO | PESO   |
|----|------------|-------|-------|------|--------|
| 01 | BR-80      | 80cm  | 20cm  | 35cm | 100 Kg |
| 02 | BR-80M     | 40cm  | 20cm  | 35cm | 50 Kg  |
| 03 | BR-80/20   | 80cm  | 20cm  | 20cm | 60 Kg  |
| 04 | BR-82      | 100cm | 15cm  | 30cm | 81Kg   |
| 05 | BR-20      | 100cm | 10cm  | 20cm | 40Kg   |
| 06 | BR-30      | 80cm  | 10cm  | 30cm | 49Kg   |



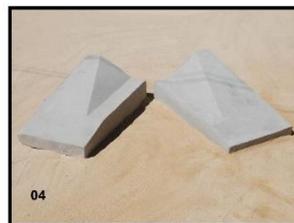
### RAMPAS



| N° | REFERENCIA | LARGO | ANCHO | ALTO | PESO |
|----|------------|-------|-------|------|------|
| 01 | BR-85      | 80cm  | 20cm  | 35cm | 93Kg |
| 02 | BR-86      | 80cm  | 20cm  | 35cm | 96Kg |



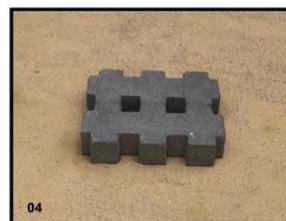
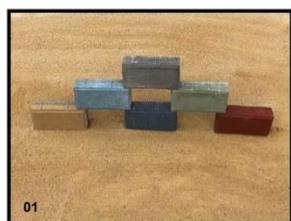
## TRANSICIONES



| N° | REFERENCIA | LARGO | ANCHO | ALTO | PESO  |
|----|------------|-------|-------|------|-------|
| 01 | BT-90      | 80cm  | 20cm  | 50cm | 134Kg |
| 02 | BT-95      | 40cm  | 20cm  | 35cm | 48Kg  |
| 03 | BT-100     | 60cm  | 20cm  | 50cm | 99Kg  |
| 04 | BT-105     | 80cm  | 27cm  | 40cm | 109Kg |



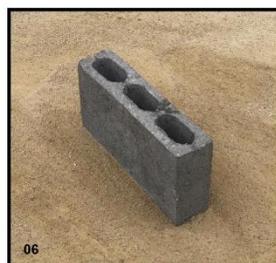
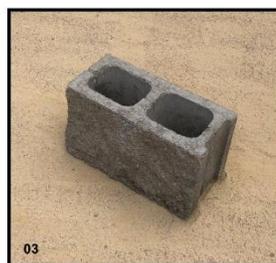
### ADOQUINES

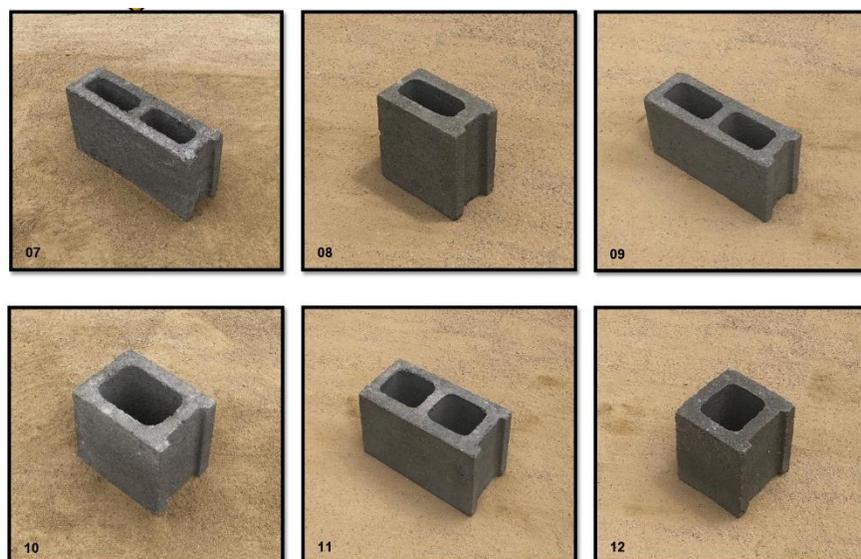


| N° | REFERENCIA | LARGO | ANCHO | ESPESOR | PESO  |
|----|------------|-------|-------|---------|-------|
| 01 | BA-25/6    | 20cm  | 10cm  | 6cm     | 2.5Kg |
| 02 | BA-25/8    | 20cm  | 10cm  | 8cm     | 3.5Kg |
| 03 | BA-26      | 20cm  | 10cm  | 6cm     | 2.5Kg |
| 04 | BG-8       | 44cm  | 29cm  | 8cm     | 18Kg  |

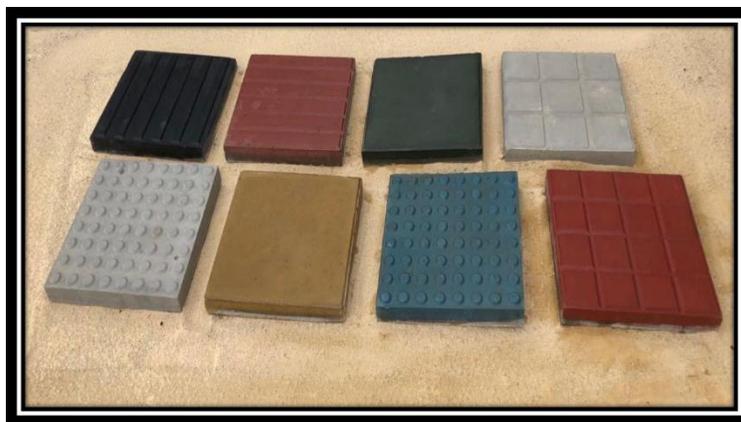


**BLOQUES**

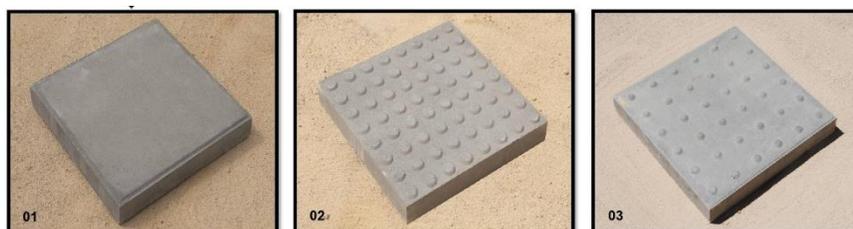




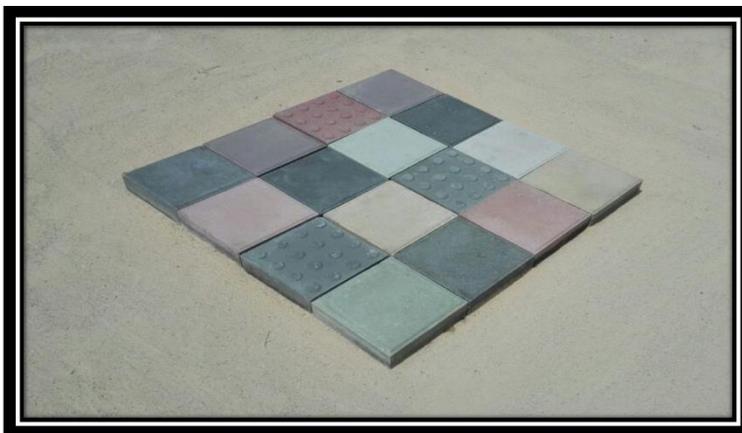
| N° | REFERENCIA | LARGO | ANCHO | ALTO | PESO       |
|----|------------|-------|-------|------|------------|
| 01 | BA-14      | 39cm  | 14cm  | 19cm | 14 Kg      |
| 02 | BA-14M     | 19cm  | 14cm  | 19cm | 7 Kg       |
| 03 | BA-19      | 39cm  | 19cm  | 19cm | 18 Kg      |
| 04 | BA-19M     | 19cm  | 19cm  | 19cm | 9 Kilos    |
| 05 | BETB       | 40cm  | 10cm  | 29cm | 21 Kilos   |
| 06 | BL-9       | 39cm  | 9cm   | 19cm | 10 Kilos   |
| 07 | BL-12      | 39cm  | 12cm  | 19cm | 11 Kilos   |
| 08 | BL-12M     | 19cm  | 12cm  | 19cm | 5.5 Kilos  |
| 09 | BL-14      | 39cm  | 14cm  | 19cm | 12.4 Kilos |
| 10 | BL-14M     | 19cm  | 14cm  | 19cm | 6.2 Kilos  |
| 11 | BL-19      | 39cm  | 19cm  | 19cm | 14 Kilos   |
| 12 | BL-19M     | 19cm  | 19cm  | 19cm | 7 Kilos    |



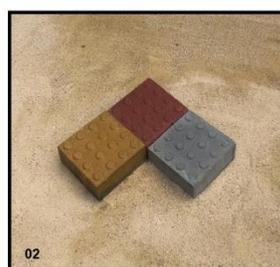
### LOSETAS 40\*40



| N° | REFERENCIA | LARGO | ANCHO | ESPELOR | PESO |
|----|------------|-------|-------|---------|------|
| 1  | A-50       | 40cm  | 40cm  | 6cm     | 20Kg |
| 2  | A-55/64    | 40cm  | 40cm  | 6cm     | 20Kg |
| 3  | A-55/36    | 40cm  | 40cm  | 6cm     | 20Kg |
| 4  | A-113      | 40cm  | 40cm  | 6cm     | 20Kg |
| 5  | A-56       | 40cm  | 40cm  | 6cm     | 20Kg |
| 6  | A-114      | 40cm  | 40cm  | 6cm     | 20Kg |
| 7  | A-116      | 40cm  | 40cm  | 6cm     | 20Kg |



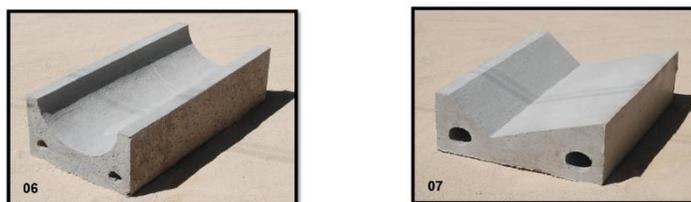
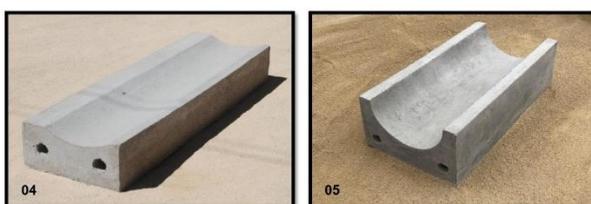
### LOSETA 20\*20



| N° | REFERENCIA | LARGO | ANCHO | ESPESOR | PESO |
|----|------------|-------|-------|---------|------|
| 01 | A-20       | 20cm  | 20cm  | 6cm     | 5Kg  |
| 02 | A-57       | 20cm  | 20cm  | 6cm     | 5Kg  |
| 03 | A-58       | 20cm  | 20cm  | 6cm     | 5Kg  |
| 04 | A-59       | 20cm  | 20cm  | 6cm     | 5Kg  |



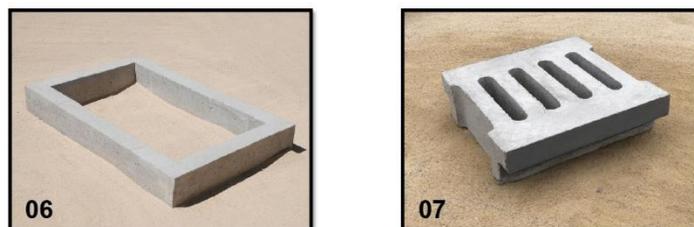
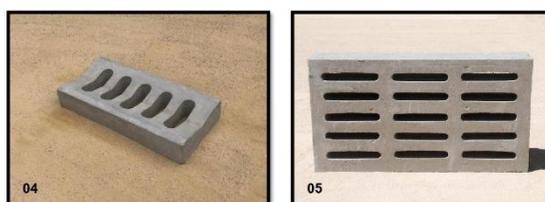
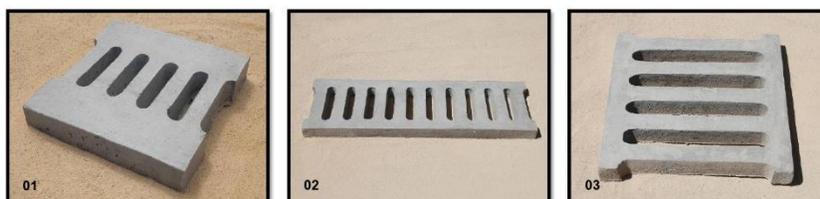
## CAÑUELAS



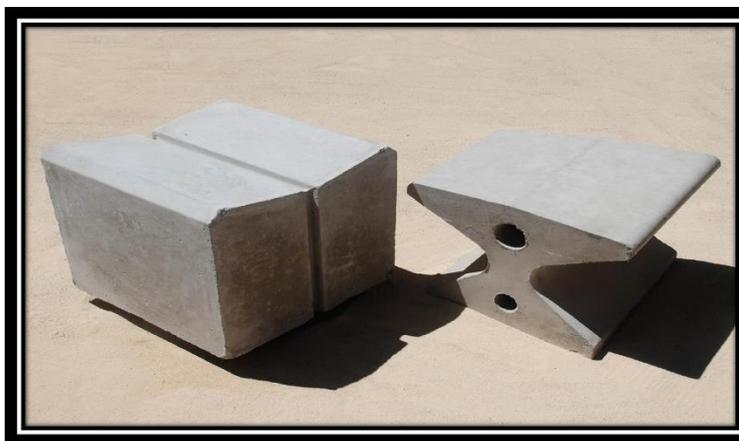
| Nº | REFERENCIA | LARGO | ANCHO | ALTO   | PESO  |
|----|------------|-------|-------|--------|-------|
| 01 | BC-120     | 80cm  | 30cm  | 22,5cm | 97Kg  |
| 02 | BC-CTB     | 100cm | 30cm  | 18cm   | 84Kg  |
| 03 | BC-CTC     | 100cm | 30cm  | 10cm   | 54Kg  |
| 04 | BC-CTD     | 100cm | 31cm  | 15cm   | 92Kg  |
| 05 | BC-CTE     | 80cm  | 40cm  | 25cm   | 115Kg |
| 06 | BC-CTF     | 80cm  | 40cm  | 25cm   | 143Kg |
| 07 | BC-CVA     | 80cm  | 60cm  | 25cm   | 182Kg |



## REJILLAS



| N° | REFERENCIA | LARGO   | ANCHO  | ESPESOR | PESO |
|----|------------|---------|--------|---------|------|
| 01 | R-40       | 40cm    | 40cm   | 6cm     | 19Kg |
| 02 | R-30       | 100cm   | 30cm   | 6cm     | 34Kg |
| 03 | R-50       | 50cm    | 50cm   | 6cm     | 24Kg |
| 04 | A-124      | 60cm    | 30cm   | 9cm     | 20Kg |
| 05 | RL-83      | 83.5cm  | 45cm   | 14cm    | 97Kg |
| 06 | MRL-83     | 102.5cm | 64.5cm | 13cm    | 77Kg |
| 07 | RS-50      | 50cm    | 50cm   | 15cm    | 72Kg |



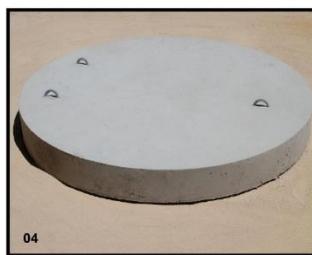
## BANCAS



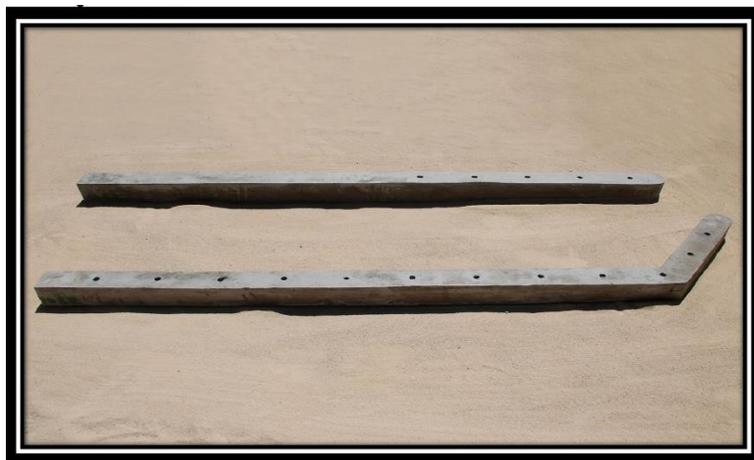
| N° | REFERENCIA | LARGO | ANCHO | ALTO | PESO  |
|----|------------|-------|-------|------|-------|
| 01 | M-31       | 180cm | 60cm  | 12cm | 226Kg |
| 02 | M-40       | 52cm  | 55cm  | 40cm | 121Kg |
| 03 | M-50       | 50cm  | 50cm  | 49cm | 121Kg |
| 04 | M-41       | 50cm  | 50cm  | 46cm | 120Kg |



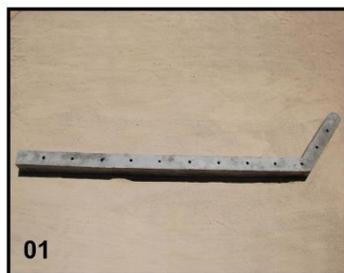
### ACUEDUCTOS



| N° | REFERENCIA | DIAMETRO | ESPEJOR | PESO    |
|----|------------|----------|---------|---------|
| 01 | TP-100     | 100cm    | 20cm    | 224 Kg  |
| 02 | TP-170     | 170cm    | 25cm    | 1200 Kg |
| 03 | AP-070     | 70cm     | 10cm    | 100 Kg  |
| 04 | PF-170     | 170cm    | 18cm    | 1030Kg  |



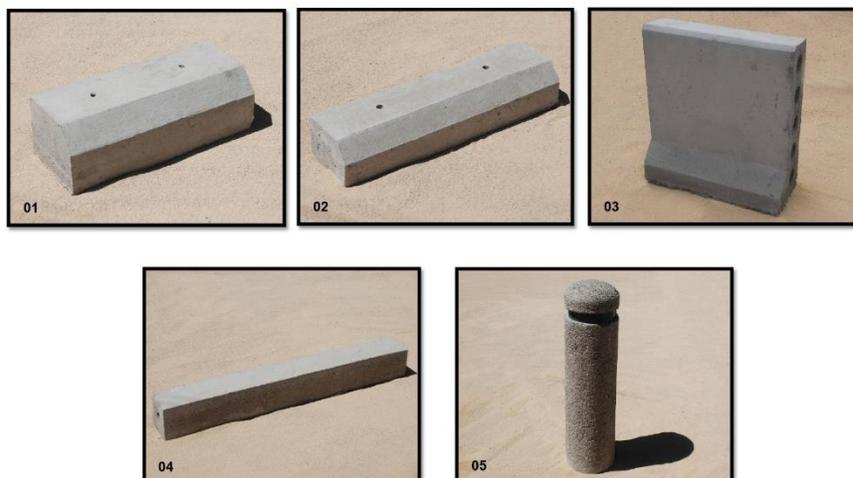
### POSTES



| N° | REFERENCIA       | ANCHO | ALTO  | PESO      |
|----|------------------|-------|-------|-----------|
| 01 | Curvo 2.5 Metros | 10cm  | 250cm | 73 Kilos  |
| 01 | Curvo 3.0 Metros | 10cm  | 300cm | 88 Kilos  |
| 02 | Recto 2.5 Metros | 12cm  | 250cm | 85 Kilos  |
| 02 | Recto 3.0 Metros | 12cm  | 300cm | 102 Kilos |



### OTROS



| N° | REF   | LARGO | ANCHO | ALTO   | PESO  |
|----|-------|-------|-------|--------|-------|
| 01 | T-50  | 50cm  | 20cm  | 50cm   | 34Kg  |
| 02 | T-60  | 60cm  | 15cm  | 60cm   | 19Kg  |
| 03 | A-170 | 80cm  | 30cm  | 80cm   | 258Gg |
| 04 | A-70  | 108cm | 12cm  | 12.5cm | 39Kg  |

| N° | REFERENCIA | ALTO | DIAMETRO | PESO |
|----|------------|------|----------|------|
| 05 | M-60       | 80cm | 23cm     | 88Kg |

- **ITC Prefabricados & Construcciones S.A.S.**

A continuación se muestra el portafolio de productos ofrecidos por la empresa ITC Prefabricados & Construcciones S.A.S.

Casas modulares:



Bancas:



Cárcamos:

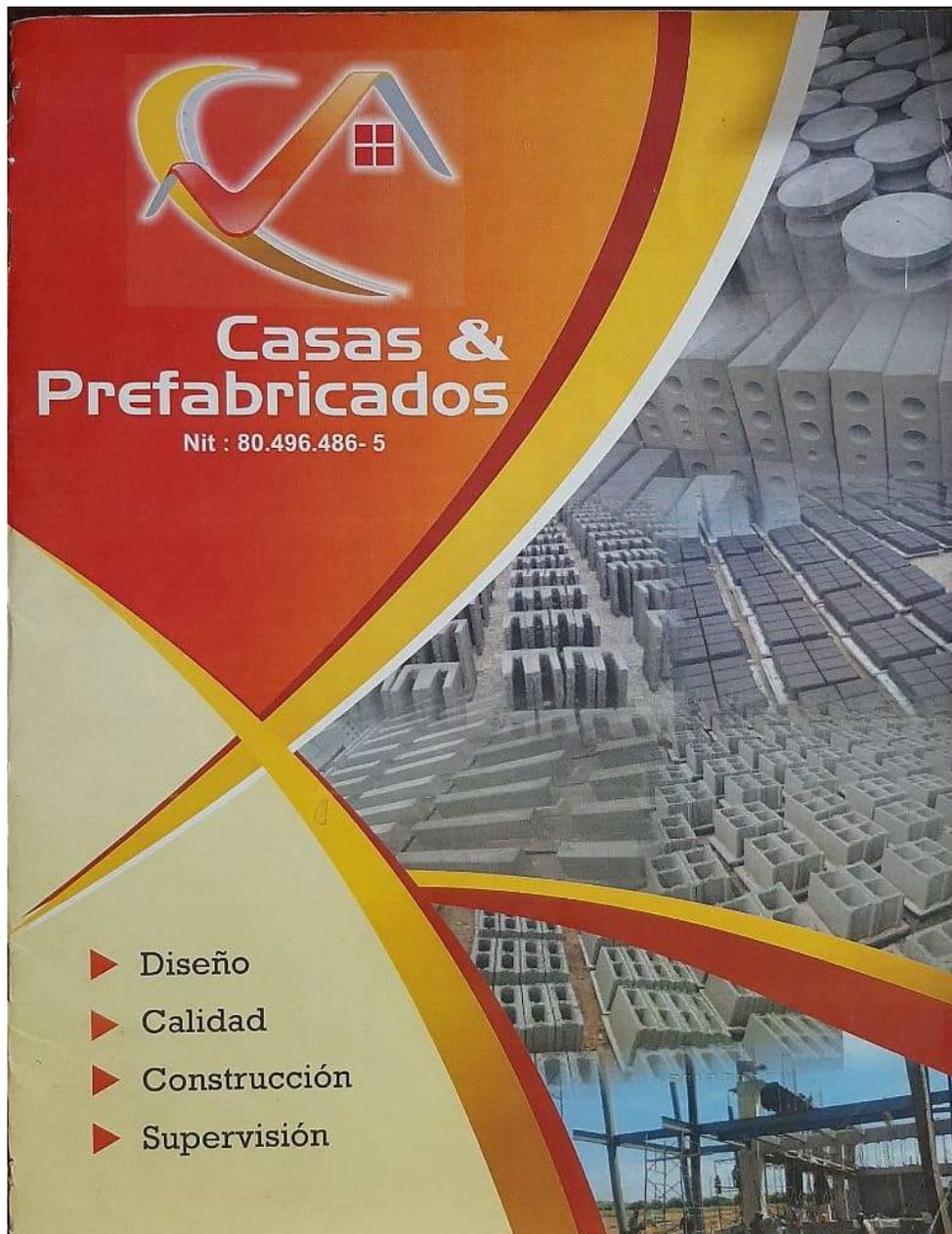


Tuberías:



- **Casas & Prefabricados CM**

A continuación se muestra el portafolio de productos ofrecidos por la empresa Casas & Prefabricados CM



Elaboramos nuestros productos  
en la misma obra.



Casas &  
Prefabricados

## Nuestros Productos

### TAPA PARA CAJA ELECTRICA

Dimensiones:  
(60x60cms)



### SILLA PARA JARDIN CON ESPALDAR RECTO

### POSTES PARA CERCA

Dimensiones:  
(200x9,8x9,8cms)



### PERGOLA

Dimensiones:  
 $\frac{7+4 \times L}{2}$

### TIPO I.D.U. SIN ESPALDAR

Dimensiones:  
(180 x 80 cms)



Elaboramos nuestros productos  
en la misma obra.

  
Casas &  
Prefabricados

## Nuestros Productos

### CALADO OJO DE BUEY

Dimensiones:  
(40x20x10cms)



### CALADO OJO REDONDO

Dimensiones:  
(40x20x10cms)



### LOSETA GRIS Y A COLOR

Dimensiones:  
(40x40x0,6cms)



### JARDINERA 4 PIEZAS

Dimensiones:  
(116x116 cms)



### BLOQUE H10

Dimensiones:  
(39x19x10cms)

Elaboramos nuestros productos  
en la misma obra.



Casas &  
Prefabricados

## Nuestros Productos

### BLOQUE H12

Dimensiones:  
(39x19x12cms)



### BLOQUE H14

Dimensiones:  
(39x19x14cms)



### BLOQUE H20

Dimensiones:  
(39x19x20cms)



### BLOQUE EN U

Dimensiones:  
(39x19x12cms)

### BLOQUE SPLIT O ABUJARDADO

Dimensiones:  
(39x17x8,5cms)



Elaboramos nuestros productos  
en la misma obra.



Casas &  
Prefabricados

## Nuestros Productos

### BLOQUE MACIZO

Dimensiones:  
(36x17x8,5cms)



### ADOQUINES

Dimensiones:  
(20X10X6cms)

### SILLA URBANA



Elaboramos nuestros productos  
en la misma obra.



Casas &  
Prefabricados

## Nuestros Productos

### BOLARDO COMUN

Dimensiones:  
(H=70 cms x 10 pug)



### BOLARDO CONICO

Dimensiones:  
(80X30X 15cms)



### BORDILLO COMÚN

Dimensiones:  
(80x30x15 cms)



### BORDILLO RAMPA

Dimensiones:  
(80x40x15x10cms)



### BORDILLO LARGO

Dimensiones:  
(100x15x10cms)

Elaboramos nuestros productos  
en la misma obra.



Casas &  
Prefabricados

## Nuestros Productos

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| BORDILLO 80X40X15               | PLACA FILTRANTE RECTANGULAR 4 PIEZAS   |
| BORDILLO 80X50X20               | PLACA FILTRANTE CUADRADA 4 PIEZAS      |
| BORDILLO 80X35X20               | CAJA ELECTRICA 30X30                   |
| BORDILLO 100X10X15              | CAJA INSPECCION 60X60                  |
| BORDILLO 40X20X15 PARA CURVAS   | TAPAS DE CAJAS                         |
| BORDILLO 50X40X20 MEDIO         | POSTE CERCA RECTO 1,50X0,095X0,095 MTS |
| BORDILLO 40X40X15 MEDIO         | POSTE CERCA RECTO 200X0,095X0,095 MTS  |
| BORDILLO RANPA                  | POSTE CERCA RECTO 2,50X0,095X0,095 MTS |
| CANALETA EN V                   | POSTE FERROCARRIL 2,70X0,10X0,10 MTS   |
| CANALETA EN U                   | POSTE MADRINA 2,70X0,15X0,15 MTS       |
| BOLARDO 66X10                   | POSTE CERCA CURVO 1,50X0,11X0,11 MTS   |
| BOLARDO CONICO 14X30X84 (83 Kg) | POSTE CERCA CURVO 2,0X0,11X0,11 MTS    |
| BLOQUE H10                      | POSTE CERCA CURVO 2,50X0,11X0,11 MTS   |
| BLOQUE H12                      | POSTE CERCA CURVO 2,70X0,10X0,10 MTS   |
| BLOQUE H14                      | VIGUETA PARA POSTE(APOYO CABLE TENSOR) |
| BLOQUE H20                      | CORBATIN REJILLA                       |
| BLOQUE SPLIT                    | PERGOLA                                |
| BLOQUE MACIZO 9                 | ADOQUIN GRIS                           |
| BLOQUE MACIZO 8,5               | ADOQUIN ROJO                           |
| BLOQUE MACIZO 8                 | ADOQUIN AMARILLO                       |
| BLOQUE EN U                     | ADOQUIN NEGRO                          |
| CALADO PERSIANA                 | SILLA PARA JARDIN EN COLORES           |
| CALADO 6 HUECOS                 | SILLA TIPO IDU ESPALDAR METALICO       |
| CALADO 2 HUECOS                 | SILLA TIPO IDU SIN ESPALDAR            |
| CALADO ESTRELLA                 | SILLA URBANA                           |
| CALADO OJO REDONDO              | LOSETA GRIS                            |
| CALADO OJO DE BUEY              | LOSETA A COLOR                         |



**CRA 40 NO 1-34 BARRIO Ma EUGENIA AGUACHICA-CESAR**  
Departamento gerencial y comercial: [prefabricadoscm@hotmail.com](mailto:prefabricadoscm@hotmail.com)  
Departamento contable y financiero: [isabelacontadora@hotmail.com](mailto:isabelacontadora@hotmail.com)  
Teléfono fijo: (5)5661846  
Celulares: [3203036720](tel:3203036720) - [3104666209](tel:3104666209)

**PLANTA PRINCIPAL:**  
Finca La esperanza, vereda El Faro,  
Via San Martín - Aguachica kilómetro 52.



**Casas &  
Prefabricados**

## Apéndice B. Listado de precios

- **El Cóndor prefabricados**

A continuación se muestra el listado de precios de los productos ofrecidos por la empresa

El Cóndor Prefabricados

| LISTA DE PRECIOS 2020 EN PLANTA |                         |              |     |      |                 |
|---------------------------------|-------------------------|--------------|-----|------|-----------------|
| REF                             | ELEMENTO                | MEDIDAS      | UND | PESO | PRECIO DE VENTA |
| <b>SARDINELES</b>               |                         |              |     |      |                 |
| BS-10MH                         | BLOQUE SARDINEL         | 20*50*80     | UN  | 134  | 30.475          |
| BS-10/2MH                       | BLOQUE SARDINEL         | 20*50*40     | UN  | 67   | 16.100          |
| BS-40                           | BLOQUE SARDINEL         | 15*40*100    | UN  | 113  | 26.795          |
| BS-45                           | BLOQUE SARDINEL RED     | 17*45*100    | UN  | 153  | 34.730          |
| BS-35                           | BLOQUE SARDINEL         | 15*35*100    | UN  | 99   | 24.840          |
| BS-100                          | BLOQUE TRANSICION       | 20*50*60     | UN  | 99   | 25.875          |
| BS-105                          | BLOQUE TRANSICION       | 27*40*80     | UN  | 109  | 27.945          |
| BS-90                           | BLOQUE TRASICION        | 20*50*80     | UN  | 134  | 32.200          |
| BS-95                           | BLOQUE TRANSICION       | 20*35*40     | UN  | 48   | 16.100          |
| <b>BORDILLOS</b>                |                         |              |     |      |                 |
| BR-80                           | BLOQUE BORDILLO         | 20*35*80     | UN  | 99   | 23.575          |
| BR-80/2                         | BLOQUE BORDILLO MEDIO   | 20*35*40     | UN  | 50   | 12.650          |
| BR-80/20                        | BLOQUE BORDILLO         | 20*20*80     | UN  | 60   | 16.675          |
| BR-81                           | BLOQUE BORDILLO         | 15*35*80     | UN  | 96   | 23.575          |
| BR-82                           | BLOQUE BORDILLO         | 15*30*100    | UN  | 81   | 23.000          |
| BR-20                           | BLOQUE BORDILLO         | 10*20*100    | UN  | 40   | 14.375          |
| BR-30                           | BLOQUE BORDILLO         | 10*30*80     | UN  | 49   | 15.640          |
| BR-85                           | BLOQUE BAJO RAMPRA      | 20*35*80     | UN  | 93   | 23.575          |
| BR-86                           | BLOQUE ALTO RAMPRA      | 20*35*80     | UN  | 96   | 23.920          |
| <b>CAÑUELAS</b>                 |                         |              |     |      |                 |
| BC-120                          | BLOQUE CAÑUELA          | 22,5*30*80   | UN  | 97   | 23.575          |
| BC-CTB                          | BLOQUE CAÑUELA          | 18*30*100/10 | UN  | 84   | 23.575          |
| BC-CTC                          | BLOQUE CAÑUELA          | 10*30*100/2  | UN  | 54   | 17.250          |
| BC-CTD                          | BLOQUE CAÑUELA          | 15*31*100/3  | UN  | 92   | 23.575          |
| BC-CTE                          | BLOQUE CAÑUELA          | 40*25*80/15  | UN  | 115  | 273.700         |
| BC-CTF                          | BLOQUE CAÑUELA          | 40*25*80/10  | UN  | 143  | 33.120          |
| BC-CVA                          | BLOQUE CAÑUELA          | 60*25*80     | UN  | 182  | 53.705          |
| BT-50                           | BLOQUE TOPELLANTA       | 15*20*50     | UN  | 34   | 14.950          |
| BT-60                           | BLOQUE TOPELLANTA       | 15*15*60     | UN  | 19   | 13.800          |
| BC-70                           | BLOQUE CONTENEDOR       | 12*13,5*108  | UN  | 39   | 14.950          |
| <b>BLOQUES</b>                  |                         |              |     |      |                 |
| BA-14                           | BLOQUE ABUJARDADO       | 14*19*39     | UN  | 14   | 3.910           |
| BA-19                           | BLOQUE ABUJARDADO       | 19*19*39     | UN  | 18   | 4.945           |
| BA-19M                          | BLOQUE ABUJARDADO MEDIO | 19*19*19     | UN  | 9    | 2.530           |
| BL-9                            | BLOQUE LISO             | 9*19*39      | UN  | 10   | 2.530           |
| BL-12                           | BLOQUE LISO             | 12*19*39     | UN  | 11   | 2.760           |
| BL-12M                          | BLOQUE LISO             | 12*19*19     | UN  | 5,5  | 1.495           |
| BL-14                           | BLOQUE LISO             | 14*19*39     | UN  | 12,4 | 2.990           |
| BL-14M                          | BLOQUE LISO             | 14*19*39     | UN  | 6,2  | 1.610           |
| BL-19                           | BLOQUE LISO             | 19*19*39     | UN  | 14,0 | 3.910           |
| BL-19M                          | BLOQUE ,LISO            | 19*19*19     | UN  | 7,0  | 1.955           |
| B-ETB                           | BLOQUE CURVO ETB        | 10*29*46     | UN  | 21,0 | 5.750           |
| BG-8                            | BLOQUE GRAMOQUIN        | 29*44*8      | UN  | 18,0 | 5.290           |

Fuente: El Cóndor Prefabricados (2020). Catálogo de productos y listado de precios.

## LISTA DE PRECIOS 2020 EN PLANTA

| <b>LOSETAS PRECIO DE VENTA MAS IVA</b>   | <b>MEDIDAS</b> | <b>UND</b> | <b>PESO</b> | <b>PRECIO DE VENTA</b> |
|--|----------------|------------|-------------|------------------------|
| <b>LOSETA 40*40*6</b>                    |                |            |             |                        |
| GRIS                                     | 40*40*6        | UND        | 20          | 5.980                  |
| ROJO                                     | 40*40*6        | UND        | 20          | 7.015                  |
| AMARILLO                                 | 40*40*6        | UND        | 20          | 7.015                  |
| NEGRO                                    | 40*40*6        | UND        | 20          | 6.900                  |
| VERDE                                    | 40*40*6        | UND        | 20          | 9.890                  |
| CAFÉ                                     | 40*40*6        | UND        | 20          | 7.935                  |
| BEIGE                                    | 40*40*6        | UND        | 20          | 6.900                  |
| <b>LOSETA 20*20*6</b>                    |                |            |             |                        |
| GRIS                                     | 20*20*6        | UND        | 5           | 1.610                  |
| ROJO                                     | 20*20*6        | UND        | 5           | 1.955                  |
| AMARILLO                                 | 20*20*6        | UND        | 5           | 1.955                  |
| NEGRO                                    | 20*20*6        | UND        | 5           | 1.955                  |
| VERDE                                    | 20*20*6        | UND        | 5           | 2.300                  |
| CAFÉ                                     | 20*20*6        | UND        | 5           | 2.070                  |
| BEIGE                                    | 20*20*6        | UND        | 5           | 1.955                  |
| BLANCO                                   | 20*20*6        | UND        | 5           | 2.300                  |
| <b>ADOQUIN 10*20*6 LISO Y DEMARCADOR</b> |                |            |             |                        |
| GRIS                                     | 10*20*6        | UND        | 2,5         | 828                    |
| ROJO                                     | 10*20*6        | UND        | 2,5         | 943                    |
| AMARILLO                                 | 10*20*6        | UND        | 2,5         | 943                    |
| NEGRO                                    | 10*20*6        | UND        | 2,5         | 920                    |
| VERDE                                    | 10*20*6        | UND        | 2,5         | 1.380                  |
| CAFÉ                                     | 10*20*6        | UND        | 2,5         | 1.070                  |
| BEIGE                                    | 10*20*6        | UND        | 2,5         | 920                    |
| BLANCO                                   | 10*20*6        | UND        | 2,5         | 1.265                  |
| <b>ADOQUIN 10*20*8</b>                   |                |            |             |                        |
| GRIS                                     | 10*20*8        | UND        | 3,5         | 966                    |
| ROJO                                     | 10*20*8        | UND        | 3,5         | 1.081                  |
| AMARILLO                                 | 10*20*8        | UND        | 3,5         | 1.081                  |
| NEGRO                                    | 10*20*8        | UND        | 3,5         | 1.047                  |
| VERDE                                    | 10*20*8        | UND        | 3,5         | 1.610                  |
| CAFÉ                                     | 10*20*8        | UND        | 3,5         | 1.265                  |
| BEIGE                                    | 10*20*8        | UND        | 3,5         | 1.058                  |
| BLANCO                                   | 10*20*8        | UND        | 3,5         | 1.380                  |

| <b>REFERENCIAS</b> |            |
|--------------------|------------|
| A-50               | LISA       |
| A-55               | TOPEROL    |
| A-56               | GUIA       |
| A-113              | TRIATICA   |
| A-114              | CUADRATICA |
| A-116              | BARRAS     |

|      |            |
|------|------------|
| A-20 | LISA       |
| A-57 | TOPEROL    |
| A-58 | GUIA       |
| A-59 | CUADRATICA |

|         |            |
|---------|------------|
| BA-25/6 | PEATONAL   |
| BA-26   | DEMARCADOR |

|         |      |
|---------|------|
| BA-25/8 | LISO |
|---------|------|

Fuente: El Cóndor Prefabricados (2020). Catálogo de productos y listado de precios.

**LISTA DE PRECIOS 2020 EN PLANTA  
PRECIO DE VENTA MAS IVA**

| REF                      | ELEMENTO            | MEDIDAS       |    | PESO     | PRECIO MINIMO DE VENTA |
|--------------------------|---------------------|---------------|----|----------|------------------------|
| <b>REJILLAS</b>          |                     |               |    |          |                        |
| R-40                     | REJILLA PEATONAL*   | 40*40*6       | UN | 19,0     | 16.100,0               |
| R-30                     | REJILLA PEATONAL*   | 30*100*6      | UN | 34,0     | 37.950,0               |
| R-50                     | REJILLA PEATONAL*   | 50*50*6       | UN | 24,0     | 26.450,0               |
| A-124                    | REJILLA             | 30*60*10      | UN | 28,0     | 33.350,0               |
| RL-83                    | REJILLA LATERAL     | 83.5*14*45    | UN | 97,0     | 103.500,0              |
| MRL-83                   | MARCO R. SUMIDERO*  | 64.5*102.5*13 | UN | 77,0     | 52.900,0               |
| RS-50                    | REJILLA SUMIDERO*   | 50*50*15      | UN | 72,0     | 113.850,0              |
| PL 45                    | PLACA PARQUEADERO   | 80*45*8       | UN | 71,0     | 25.300,0               |
| <b>BANCAS</b>            |                     |               |    |          |                        |
| M-60                     | BOLARDO             | 80*23         | UN | 88,00    | 58.650,0               |
| M-31                     | BANCA SIN ESPALDAR* | 180*50*12     | UN | 226,00   | 208.150,0              |
| M-40                     | BANCA MODULAR*      | 45*35*50      | UN | 121,00   | 71.300,0               |
| M-50                     | BANCA CUBO          | 50*50*46      | UN | 182,00   | 103.500,0              |
| M-40                     | BANCA BOLARDO       | 50*50*46      | UN | 182,00   | 103.500,0              |
| A-170                    | BARRERA             | 20*80*80      | UN | 258,00   | 80.500,0               |
| <b>TAPAS</b>             |                     |               |    |          |                        |
| AP-0.70                  | TAPA ARO POZO*      | 10*70         | UN | 100,00   | 115.000,0              |
| TP-170                   | TAPA POZO*          | 25*170        | UN | 1.200,00 | 614.100,0              |
| TP-100                   | TAPA POZO*          | 20*100        | UN | 224,00   | 211.600,0              |
| PF-170                   | PLACA FONDO         | 18*170        | UN | 1.030,00 | 552.000,0              |
| <b>POSTES PARA CERCA</b> |                     |               |    |          |                        |
| PC 2,5                   | POSTE CURVO         | 10*10*250     | UN | 73       | 32.200,0               |
| PC 3,0                   | POSTE CURVO         | 10*10*300     | UN | 88       | 36.800,0               |
| PR 2,5                   | POSTE RECTO         | 12*12*250     | UN | 85       | 34.500,0               |
| PR 3,0                   | POSTE RECTO         | 12*12*300     | UN | 102      | 39.100,0               |

Fuente: El Cóndor Prefabricados (2020). Catálogo de productos y listado de precios.

- **La Fama**

A continuación se muestra el listado de precios de los productos ofrecidos por la empresa

La Fama.

| <b>Producto</b>  | <b>Precio</b>                |
|--|------------------------------|
| Anillos de concreto prefabricado de $\phi=36''$<br>para alcantarillado | \$190.000                    |
| Anillos de concreto prefabricado de $\phi=24''$<br>para alcantarillado | \$75.000                     |
| Anillos de concreto prefabricado de $\phi=16''$<br>para alcantarillado | \$55.000                     |
| Anillos de concreto prefabricado de $\phi=12''$<br>para alcantarillado | \$45.000                     |
| Anillo de concreto prefabricado de $\phi=36''$<br>para pozo            | \$90.000                     |
| Bebederos  | \$130.000                    |
| Postes   | Entre \$22.000 y<br>\$25.000 |

Fuente: La Fama, 2020.

- **Emprefacon S.A.S.**

A continuación se muestra el listado de precios de los productos ofrecidos por la empresa Emprefacon S.A.S.

|  <b>LISTA DE PRECIOS</b> |                |
|---|----------------|
| DESCRIPCIÓN   | VALOR UNITARIO |
| Bordillo (0.20mx0.50mx0.80m)  | 35,000         |
| Bordillo (0.20mx0.35mx0.80m)  | 30,000         |
| Tubo de 36" (0.10mx1m)  | 180,000+IVA    |
| Tubo De 26" (0.07mx1m)  | 130,000+IVA    |
| Poste para cerca (0.10mx0.10mx2m)   | 16,000         |
| Poste para cerca (0.10mx0.10mx2.50m)  | 20,000         |
| Poste para cerca (0.10mx0.10mx3m)   | 25,000         |

Fuente: Emprefacon S.A.S, 2020.

- **Ingeniero Jerson Osorio Peñaranda**

A continuación se muestra el listado de precios de los productos ofrecidos por el Ingeniero Jerson Osorio Peñaranda.

| DESCRIPCION  | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR PARCIAL |
|--|--------|----------|----------------|---------------|
| Suministro de loseta cuadratica prefabricada en formato de 40 X 40 X 6 color gris natural. | M2     | 1        | 33000          | \$ 33.000     |
| Suministro de loseta prefabricada en formato de 40 X 40 X 6 color amarillo, rojo y verde   | M2     | 1        | 34500          | \$ 34.500     |
| Suministro de loseta lisa prefabricada en formato de 20 X 20 X 6 color gris natural.       | M2     | 1        | 33000          | \$ 33.000     |
| Suministro de loseta prefabricada en formato de 20 X 20 X 6 color amarillo, rojo y verde   | M2     | 1        | 34500          | \$ 34.500     |
| Suministro de adoquín prensado en formato de 20 X 10 X 6 color gris natural.               | M2     | 1        | 35000          | \$ 35.000     |
| Suministro de adoquín prensado en formato de 20 X 10 X 6 color amarillo, rojo y verde      | M2     | 1        | 38000          | \$ 38.000     |

Fuente: Jerson Osorio Peñaranda, 2020.

### Apéndice C. Proceso de fabricación de un elemento estructural prefabricado

En el siguiente registro fotográfico se presenta el proceso llevado a cabo para fabricar elementos prefabricados en concreto en forma semi industrial

ializada (Meneses, 2007).

Se debe contar con una superficie nivelada y libre de residuos que permita la colocación de los de los distintos elementos, como se puede observar en la figura 80 (Meneses, 2007).



*Figura 80.* Superficie para la colocación del concreto

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.

Se debe encofrar el elemento y realizar el armado del acero de acuerdo a los diseños establecidos, como se muestra en la figura 81.



*Figura 81.* Armado del acero del elemento prefabricado

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.

Armado el acero, se procede a realizar la colocación del concreto, ya sea empleando camiones tipo Mixer, como el mostrado en la figura 82, o mediante mezclas manuales y vaciadas con carretilla, como se ilustra en la figura 83 (Meneses, 2007).



*Figura 82.* Vaciado del concreto con camión mixer

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.



*Figura 83.* Vaciado del concreto con carretillas

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.

Mientras se realiza el vaciado del concreto se emplea un vibrador para retirar las partículas de aire embolsadas en la mezcla, como se muestra en la figura 84 (Meneses, 2007).



*Figura 84.* Vibrado del concreto

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.

Cuando termina el vaciado del concreto y su vibración se procede a realizar las terminaciones del elemento empleando reglas metálicas, como se observa en la figura 85.



*Figura 85.* Acabado de la superficie del concreto

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.

En este caso, los elementos son curados esparciendo agua sobre su superficie. Cuando se presentado el fraguado total del elemento este es desencofrado y transportado al sitio de acopio donde será conservado hasta su transporte a la obra, como se observa en la figura 86.



*Figura 86.* Acopio de los elementos prefabricados

Fuente: Meneses (2007). Recomendaciones para obras prefabricadas semi industrializadas: en muros, tabiques y losas. Experiencia establecimiento penitenciario Puerto Montt, Anexo A.