

# **VDB® INGENIERÍA CIRCULAR, TRANSFORMANDO LA INGENIERÍA CIVIL PARA UN MUNDO MÁS VERDE Y CON INVERSIONES RENOVABLES**



Autor:

Maarten N. van den Berg

Socio Fundador - **VDB® Ingeniería Circular**

Email: [mvdberg@vdbingenieriacircular.cl](mailto:mvdberg@vdbingenieriacircular.cl)

Marzo 2022 – Santiago, Chile



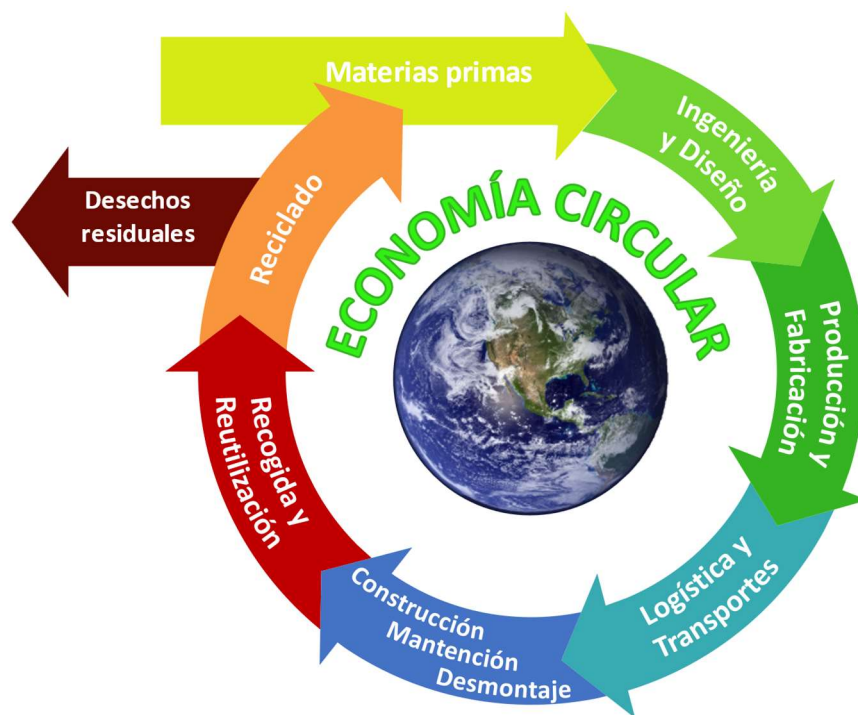
**VDB®**  
INGENIERÍA CIRCULAR

## Introducir una innovación

Una nueva gestión de Ingeniería Civil es lo que **VDB® Ingeniería Circular** ha desarrollado para atender a nivel Económico, Social y Medio Ambiental a las 3R de **Reutilización, Reciclaje y Residuos** de hormigones en la construcción. Utilizando la innovadora metodología **PPF® Precast Full Potential** (Prefabricado utilizado a su máximo potencial), es la herramienta por excelencia para hacer visible y trazable a los pasos en la nueva gestión de Ingeniería. Los profesionales que utilicen esta nueva metodología **PPF®** en el desarrollo de sus proyectos de Ingeniería Civil, pueden mostrar directamente sus aportes técnicos en la creación de un mundo mejor, más verde y con una real circularidad de las obras en hormigón armado.

## Un mundo más Verde y Circular

La Economía Circular nos está mostrando que con conocimientos y enfoques nuevos podemos realizar lo que nuestra conciencia nos confirma día a día, que nuestro entorno y el mundo entero requieren más respeto y cuidado, para que como seres humanos nos podamos considerar habitantes que cuidan su planeta. La responsabilidad personal permite dar un buen uso a estos nuevos conocimientos y nos motiva a actuar responsablemente en nuestra profesión y especialidad a aportar en este propósito. En el diseño y construcción de obras de hormigón armado, que es nuestro ámbito de interés, hemos identificado una metodología para incorporar la circularidad y eliminar los pasivos ambientales, mediante la reutilización de los elementos prefabricados y la reducción de los desechos y residuos.



Agregando tres objetivos y exigencias nuevas en el desarrollo de un proyecto específico, nos permite modificar la tradicional metodología lineal (Ingeniería, Producción, Transporte y Construcción) por una circular cerrada. Estos tres objetivos están relacionados con la **reutilización, el reciclaje y el manejo de residuos**. La sustentabilidad en la construcción está considerada cuando cambiamos el ciclo de vida de nuestras estructuras u obras en hormigón, en **ciclos de uso**. El contenido de la palabra **sustentable** lo hemos identificado en la ingeniería civil como palabra que permite reutilizar el producto varias veces generando inversiones renovables.

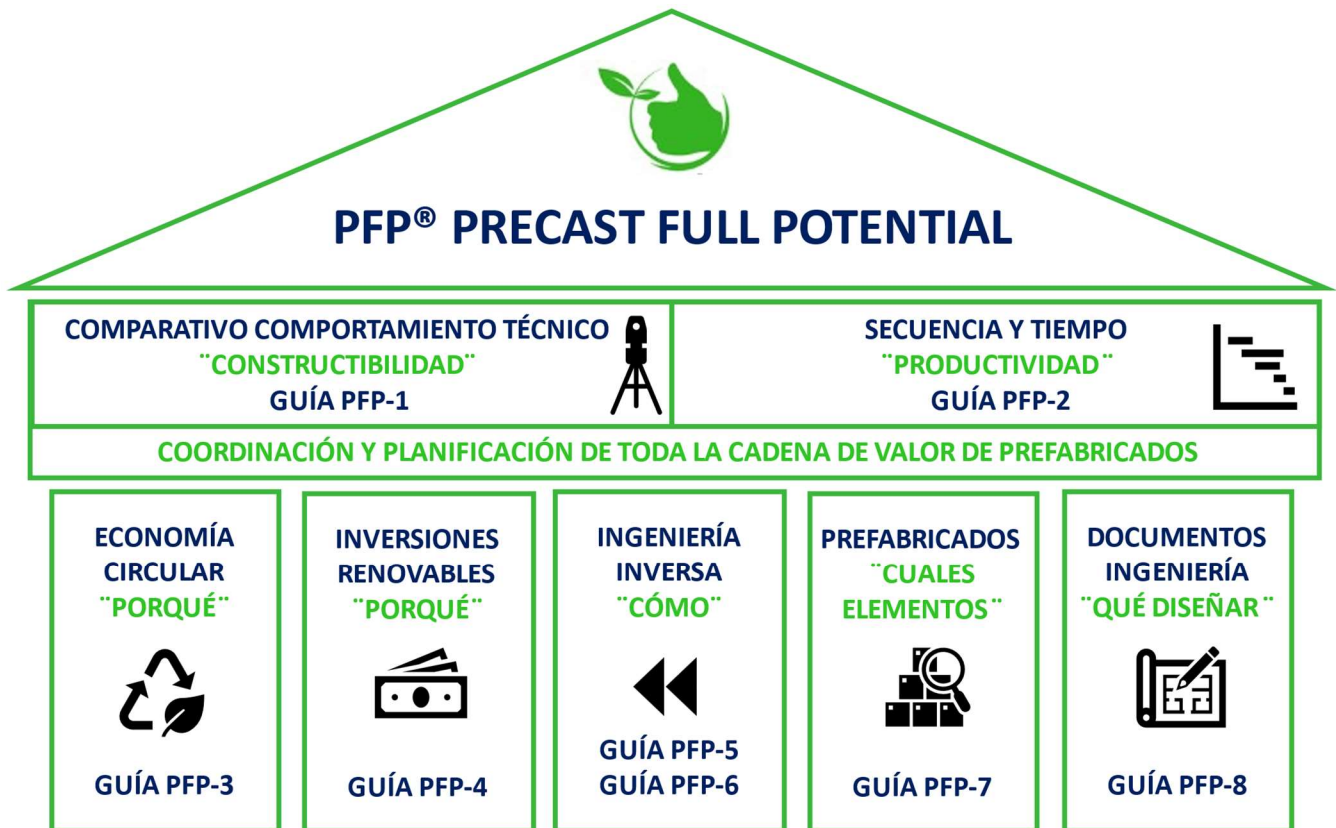
Con esta metodología los inversionistas, dueños o mandantes, podrán definir qué porcentaje de la obra total deberá concebirse incorporando los aspectos de reutilización, reciclaje y generación de residuos. Por ejemplo, si en un proyecto originalmente estaba previsto que las fundaciones en hormigón armado, ejecutadas in situ, generan un 100% de pasivos ambientales y que no se reciclan; ahora el mandante tiene esta nueva opción pidiendo que sus estructuras sean en gran parte reutilizables y reciclables, sin generar pasivos ambientales ni residuos evitables. A modo de ejemplo un inversionista o mandante puede pedir:

- **35%** de reutilización de nuevas estructuras sustentables utilizando Prefabricados Renovables para reducir pasivos ambientales.
- **55%** de reciclajes de las nuevas estructuras previstas, siendo desmontables y transportables después de su primer uso.
- **10%** de residuos inevitables que, por ahora, no pueden ser reutilizados o reciclados y que no pueden ser retirados del sitio en donde han sido instalados.

La implementación de la metodología **PFP® Precast Full Potential** en el desarrollo de proyectos con hormigón armado permite visibilizar el cumplimiento de la trazabilidad de los materiales utilizados y la circularidad del diseño con resultados concretos. Adicionalmente se generará beneficios económicos y también en el ámbito de la seguridad. Algunos de estos resultados y beneficios específicos son:

- Una coordinación y planificación de toda la cadena de valor de proveedores participantes.
- Cumplimiento y reducción de los Plazos de Ejecución de las obras civiles.
- Reducción de huella de carbono y beneficios directos en temas medio ambientales, tales como la reducción de los residuos durante la etapa de la construcción.
- Mejora de la seguridad del personal de construcción en terreno.
- Reducción de CAPEX en inversiones en obras civiles en hormigón.
- Reducción de la cantidad de personas en la ejecución misma de la obra, con un leve aumento en el personal de montaje.
- Eliminación de los gastos de mantención.

**PFP® Precast Full Potential** incorpora el conocimiento sobre cómo lograr los cambios en las definiciones de los objetivos del proyecto de Ingeniería y el qué hacer en cada etapa para lograr la circularidad en el uso del hormigón armado. La finalidad última es potenciar y masificar un proceso de migración de estructuras monolíticas de hormigón armado ejecutadas in situ a soluciones modulares desmontables con Elementos Prefabricados Renovables.



La aplicación de la metodología **PFP® Precast Full Potential** descansa sobre cinco pilares, que permiten generar la trazabilidad y la visualización de cada acción y de los resultados de su uso, la definición de cómo agregar a la Ingeniería tradicional nuevos pasos, cuáles nuevos materiales a utilizar y qué diseñar en cada documento específico. Se obtiene así una nueva gestión de la Ingeniería que permite el diseño y la ejecución de una estructura sustentable renovable. Abajo el detalle que abarca los 5 pilares.

**Pilar 1: Economía Circular** – Entrega los valores y secuencias en el tiempo del uso de estructuras, guiando al mercado de la construcción a soluciones más verdes y circulares. Los mandantes, dueños e inversionistas en infraestructuras de hormigón pueden cumplir con todos los compromisos que la circularidad de hormigón impone. Posterior con Ingeniería y diseño los consultores entregaran las estructuras montables y desmontables que los proveedores de Prefabricados realizan.

**Pilar 2: Inversiones Renovables** – Debido a que una inversión en hormigón no puede ser simplemente olvidada en el tiempo, los pasos de reúso, reciclaje y generación de nuevas materias primas deben ser parte de la evaluación económica de las inversiones en proyectos nuevos y existentes. La responsabilidad extendida del proveedor no sólo se aplica a proveedores de productos como envases de plástico, sino que también a proveedores de financiamiento. Tener objetivos verdes y circulares para los financistas puede ahora ir de la mano con la exigencia a los diseñadores de transparentar los porcentajes de cumplimiento en cada uno de sus proyectos.

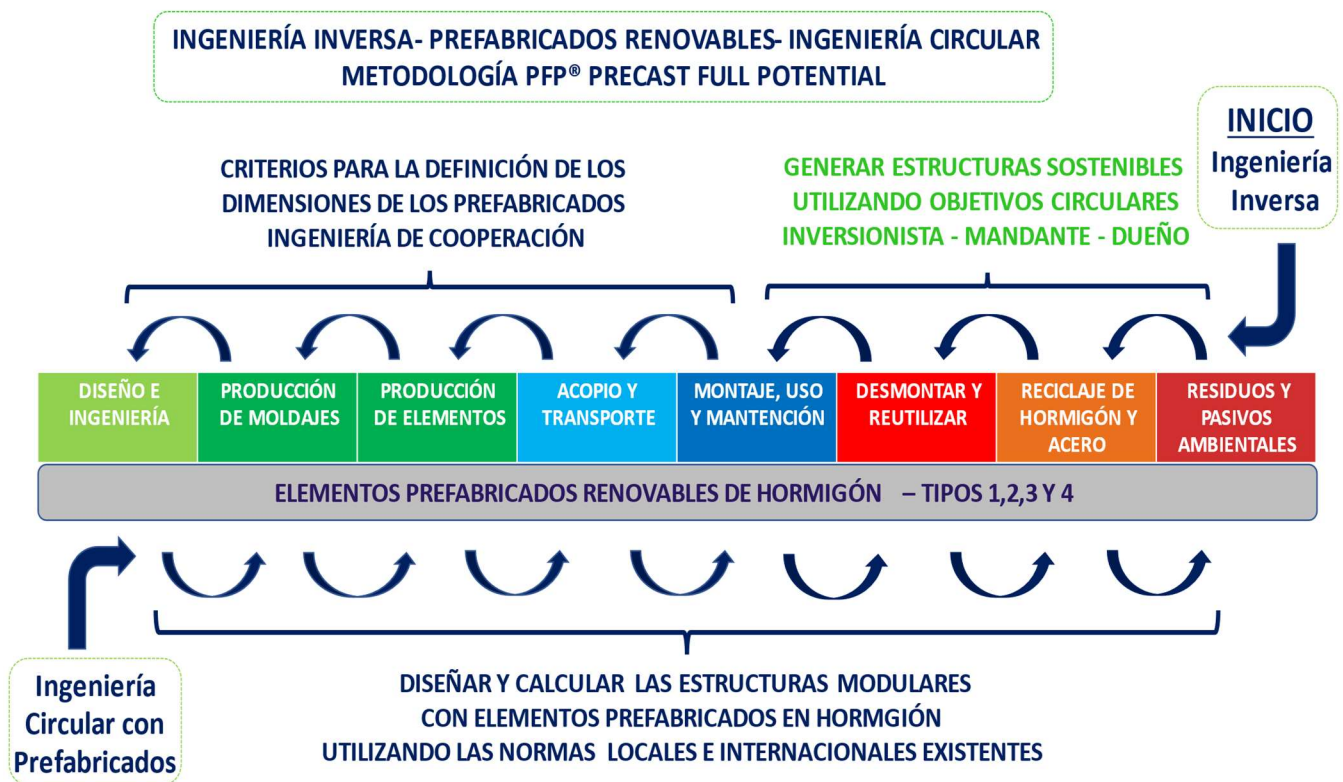
**Pilar 3: Ingeniería Inversa** – Cómo migrar estructuras tradicionalmente diseñadas monolíticas en hormigón in situ a soluciones modulares con Elementos Prefabricados reutilizables. Iniciando con el fin: se inicie con la definición de los objetivos para el porcentaje (%) de residuos/pasivos ambientales exigidos. Este porcentaje se quiere obtener al final del primer uso de la estructura. Ahora se continúe con la siguiente etapa en la economía circular definiendo en cada una de las 8 etapas los objetivos y criterios. Con estos registros en las guías PFP-5 y PFP-6 completados se puede iniciar la Ingeniería de cada estructura en hormigón, utilizando los objetivos y criterios para diseños modulares con Prefabricados. La definición de estructuras sostenibles requiere por parte de los mandantes, dueños e inversionistas la definición de objetivos circulares relacionados con los residuos, el reciclaje y el reúso. Juntamente con una Ingeniería de cooperación se definen los criterios de diseño para las dimensiones de los Prefabricados.

**Pilar 4: Prefabricados Renovables** – Los dos componentes en hormigón armado son el acero y el hormigón, ambas partes son reciclables cuando son llevadas a un centro de reciclaje. El concepto de prefabricados renovables es asegurar que los elementos utilizados de hormigón armado no sólo puedan ser montados, sino también desmontados; lo cual se logra con la incorporación de sistemas de izajes permanentes, que permitan una manipulación correcta, y juntas específicas que permiten desmontaje de elementos. Productos renovables pueden ser reutilizados o reciclados y no generar estructuras abandonadas después de su primer uso (pasivos ambientales).

**Pilar 5: Ingeniería Circular** – Contempla la realización desde etapas tempranas de un proyecto, de diseños, planos, memorias de cálculos, procedimientos de montaje y desmontaje, con criterios que permitan soluciones modulares con Elementos Prefabricados, generando la documentación completa durante la etapa de la Ingeniería Circular. Estructuras de hormigón armado con prefabricados deben ser montable y desmontable con uniones y procedimientos de ejecución nuevos, concibiendo así estructuras y elementos prefabricados con más de un ciclo de uso. Un ciclo de vida de una estructura así consiste de varios ciclos de uso antes de ser reciclada.

## Conceptos Claves en la Ingeniería Inversa

En la **Ingeniería Inversa** se logran juntar los datos de inicio y los criterios para definir desde una etapa temprana en el proyecto, lo que permite migrar a soluciones modulares con prefabricados en hormigón armado. Se logra así obtener una guía de trabajo, que permite contar con información visible y trazable, registrando en archivos digitales todo el conocimiento que se requieren para la definición de los diseños. La cooperación entre mandantes, consultores y las empresas especializadas que integran toda la cadena de proveedores de prefabricados, es fundamental. Se incorpora también un nuevo sistema de contratación prematura de expertos en los proyectos, para un aprovechamiento mayor de los beneficios en el uso de elementos Prefabricados Renovables.



Para la trazabilidad digital de datos considerada en la metodología **PFP® Precast Full Potential**, se han desarrollado 8 guías **PFP** como mencionado en la página 4. Las guías PFP-3 a PFP-8 junten los datos de cada uno de los cinco pilares sobre los que se fundamenta. Los datos de las etapas de Ingeniería de Prefactibilidad, Ingeniería de Factibilidad e Ingeniería de Detalle se registran y hacen visible así. Para el Pilar N°3 existen dos guías / formularios con los temas que interesan a la **Ingeniería Inversa**; el detalle de dicha guía es:

**PPF® Precast Full Potential**

**Criterios de Definición para Elementos Prefabricados**

<b>Ingeniería Inversa</b> <b>Guía PFP-5</b>  <u><b>Definición de Prefabricados</b></u>		<b>Ingeniería Inversa</b> <b>Guía PFP-6</b>  <u><b>Principios y Consideraciones Clave</b></u>	
<b>5.1</b>	Residuos – Pasivos Ambientales	<b>6.1</b>	Exigencias del Mandante
<b>5.2</b>	Reciclaje	<b>6.2</b>	Seguridad
<b>5.3</b>	Reúso	<b>6.3</b>	Todo lo que no se diseña no se ejecuta y no se paga a nadie
<b>5.4</b>	Montaje, Uso y Mantenición	<b>6.4</b>	Trazabilidad
<b>5.5</b>	Transporte	<b>6.5</b>	Inicio temprano con modularizar
<b>5.6</b>	Acopios	<b>6.6</b>	Constructibilidad
<b>5.7</b>	Producción de Prefabricados	<b>6.7</b>	Estandarización
<b>5.8</b>	Moldajes para Producción	<b>6.8</b>	Ciencia de Uniones
		<b>6.9</b>	Ciencia de Izajes

En la metodología **PPF® Precast Full Potential** es el pilar 3 de la **Ingeniería Inversa** el que genera la capacidad de traducir las necesidades de la **Economía Circular** y las **Inversiones Renovables** a datos y criterios que permitan desarrollar los diseños, con los criterios sustentables y técnicos, que se logran con el uso de los Elementos **Prefabricados Renovables** en la **Ingeniería Circular** traduciéndose en obras civiles modulares de más de un solo uso.

## Conceptos claves en la Ingeniería Circular

Consiste en elaborar, desde etapas tempranas del proyecto, los registros de documentos que incorporan las soluciones y conocimientos del uso de Elementos Prefabricados. La migración de estructuras monolíticas en hormigón in situ a Soluciones modulares con Prefabricados, requiere entre **2 y 4 veces más de trabajo en horas en la etapa de Ingeniería** para lograr así alimentar, a través de los registros digitales, de la información requerida a todos los proveedores de la cadena del prefabricado y generar nuevos métodos de ejecución. El uso por parte del mandante y los proveedores de herramientas como Building Information Modeling (BIM) permite registrar, conservar y actualizar los aportes en diseños, costos y tiempo (entre otros) de cada uno de los eslabones específicos de la cadena durante la ejecución de un proyecto.



La definición temprana de la incorporación de soluciones modulares con Elementos Prefabricados permite generar los documentos para la visualización del nuevo método de ejecución que requiere específicos trabajos de montaje, lo cual permite conseguir los beneficios requeridos. Visualizar digitalmente la secuencia de ejecución, con las posiciones de los acopios de materiales y las grúas de montaje a utilizar, permite modificar las plantas de obras civiles a una distribución que permita que el nuevo método de ejecución se haga realidad. Espacios funcionales para el posicionamiento de equipos no sólo permite montar y desmontar, sino que también favorece la ampliación y la realización de mantenciones a las estructuras modulares.

En obras civiles de hormigón armado, la incorporación de Prefabricados Renovables permite fortalecer los aportes de diseños modulares para la realización de una gran variedad de Soluciones Sustentables. Obras que desde el primer momento incorporan la Productividad, la Constructibilidad, la Reutilización y el Reciclaje son posibles con la **Ingeniería Circular**. La incorporación en la etapa de Ingeniería de Prefactibilidad es la clave para optimizar el uso de los Prefabricados Renovables en las obras. La generación de residuos al fin del Ciclo de Uso de la Estructuras Sustentables se puede reducir fuertemente (hasta un 80%) con el diseño ejecutado mediante la **Ingeniería Circular**.



En la **PPF-7** se registran los registros porcentuales de los diferentes usos de hormigón en los diseños de las obras civiles. Es una forma de generar trazabilidad sobre la migración de estructuras monolíticas de hormigón in situ a soluciones modulares con Prefabricados.

En total son 7 diferentes usos de hormigón los que están registrados. Tres partes sobre hormigón in situ y cuatro partes sobre las diferentes tipologías de Elementos Prefabricados Renovables. El prefabricado tiene muchas variantes, desde Productos Estándares de hormigón armado de 15kg hechos a máquina, hasta Elementos Prefabricados de hormigón armado de más de 25.000 kg de peso hechos a la medida.

En la planificación y coordinación de la producción y suministros, la división en 4 Tipos de Prefabricados facilita la trazabilidad y el cumplimiento de los objetivos de la obra.



Un ejemplo de Elementos sin uniones, Tipo 2, ha sido desarrollado por **VDB® Ingeniería Circular** para fabricar radieres de hormigón para estacionamientos de buses, camiones, camionetas y otros vehículos (Figura 1). Son losas industriales que incorporan la vigueta de tope de estacionamiento, que también funciona como solera integrada para generar el nivel de la vereda. Así, se elimina la instalación y reposición de topes con pernos en el hormigón para las viguetas de tope, ya que toda la vigueta está integrada en los mismos Elementos Prefabricados. Es un diseño sustentable para varios Ciclos de Uso de este pavimento en mercados portuarios, viales, mineros, energéticos y estaciones de venta de combustibles, por nombrar algunos. Todo es parte de una Ingeniería encaminada a satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones en nivel de sustentabilidad.



Figura 1: Losas prefabricadas para pavimentos con vigueta de tope incorporada.

Cuando estructuras monolíticas son transformados en soluciones modulares que contienen más de un Elemento Prefabricado, se debe incluir en el proceso de diseño la manera de unirlos entre sí, para generar la forma más eficiente y segura de materializar la estructura. Por ejemplo, un marco de un vano para un galpón está constituido por dos fundaciones, dos columnas, una viga superior y otros elementos estructurales secundarios que sirven para los revestimientos del techo y los muros. Los elementos Estructurales Principales son los que soportan cargas, como el peso propio de la estructura completa (fundaciones, columnas, viga, techo, etc.), sobrecarga de nieve, presión de viento, sollicitación sísmica, entre otras; mientras que los elementos secundarios solo transmiten cargas específicas a los elementos principales. De esta manera se pueden reconocer elementos Prefabricados Estructurales Principales, así como también Elementos Prefabricados Secundarios.

Elementos Prefabricados Tipo 3, con uniones “húmedas” generan en las uniones un traslape entre las barras de acero de la enfierradura, por ejemplo, entre enfierradura de las columnas y de las vigas; además, se agregan unas barras para completar una jaula de confinamiento en la zona. Posteriormente se rellena esta zona de la unión húmeda con hormigón in situ. La utilización de hormigón fresco para completar la unión genera, en la jerga técnica, el concepto de “unión húmeda”. Estos tipos de uniones se materializan en faena y al final de su primer uso el hormigón de la unión debe ser removido.

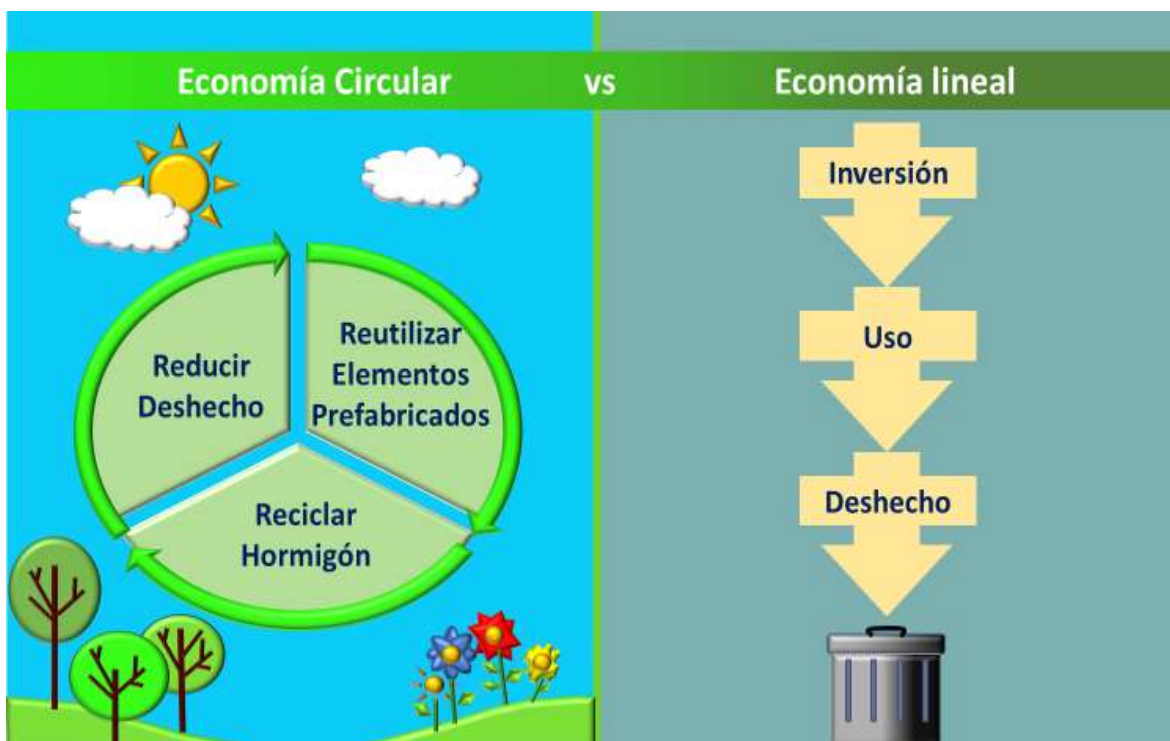
Las uniones “secas” entre Elementos Prefabricados Tipo, son aquellas que no requieren de hormigón in situ, sino que utilizan conexiones metálicas, como placas de acero con pernos. Se debe agregar material en una zona de unión, nunca se resta material en comparación a una solución tradicional. Un marco monolítico de hormigón armado fabricado in situ tiene menos peso de acero (enfierradura) y hormigón en la zona de unión que cuando se realiza una segmentación en dos columnas y una viga con uniones húmedas. Al generar una transferencia de cargas con uniones secas a los elementos prefabricados, se debe lograr que las estructuras completas con Prefabricados tienen un comportamiento apropiado. Para lograr el objetivo de una unión equivalente entre Elementos Prefabricados, se requiere agregar materiales con características específicas para funcionar correctamente. Los beneficios de utilizar Elementos Prefabricados base en aplicar un nuevo método de ejecución que permite montar y desmontar, reduciendo los plazos de ejecución y generando una construcción más segura, con menos personal en obra destinado solo para montaje en faena. Esto se logra si se incorporan correctamente los conocimientos de la técnica en el diseño y fabricación de las uniones en los Elementos Prefabricados.

Generar más montaje en terreno y menos trabajo de fabricación in situ, utilizando el método **PPF® Precast Full Potential**, permite realizar aportes positivos en los ámbitos social, económico y medio ambiental. Algunos ejemplos de estos aportes positivos son: la producción de Elementos Prefabricados en la cercanía de los proyectos, formando y utilizando personal local; menos traslados de personas a faenas a gran altura, generando menores costos para el mandante; y posibilidades de desmontar las estructuras en la gran minería, después de su primer uso, eliminando gran parte del hormigón como pasivo ambiental, cumpliendo así la ley de cierre de mina. La cadena de valor de los Prefabricados indicada en la página 8 permite hacer visible los datos del proyecto en la etapa de la Ingeniería y agregar valor en cada paso con la cooperación de los profesionales de cada empresa proveedora, logrando la entrega de las obras civiles en hormigón armado con la calidad y en el tiempo requerido por el mandante.

Hacer la transformación de la Ingeniería Civil para un mundo más verde y sostenible es posible, para lograr aquello se debe incorporar una nueva gestión de Ingeniería utilizando la metodología **PPF® Precast Full Potential**.

Los nuevos conocimientos y formas de hacer Ingeniería indicados en las 8 Guías PFP y fundada en los objetivos y criterios que generen los cinco pilares de la metodología **PPF® Precast Full Potential**, permiten reducir los pasivos ambientales de hormigón y transformar el hormigón en materias primas y los Elementos Prefabricados en piezas de varios usos.

Incorporar los valores y objetivos de la **Economía Circular** en la Ingeniería Civil de hormigones y al mismo tiempo generar **Inversiones Renovables** para así asegurar una mayor rentabilidad, es posible con las nuevas estructuras modulares Prefabricadas teniendo varios ciclos de uso.



## Glosario

**Inversiones Renovables** – Generar inversiones en obras civiles en hormigón armado que en el tiempo siguen generando valor para los inversionistas y mandantes. Esto es posible cuando en las condiciones de la inversión se estipula la necesidad por la presencia de etapas nuevas de reúso, reciclaje y generación de nuevas materias primas en **una nueva gestión de la Ingeniería Civil**. Desde etapas tempranas en los proyectos se debe generar la visualización de los valores económicos que las estructuras en hormigón mantienen después de su primer uso.

**Pasivo Ambiental** - El concepto de Pasivo Ambiental puede definirse como aquella situación ambiental como por ejemplo, una estructura de hormigón armado abandonado en un sitio que, generada por el hombre en el pasado, presente y futuro puede generar un deterioro progresivo en el tiempo, representando actualmente y/o en el futuro un riesgo al medio ambiente y la calidad de vida de las personas.

**Residuos** – La palabra residuo (con origen en el latín residuum) describe al material que pierde utilidad tras haber cumplido con su misión o de haber servido para realizar un determinado trabajo. Los desechos residuales son productos y materiales que no pueden ser reutilizados o reciclados.

**Sostenibilidad** - En la ecología, sostenibilidad o sustentabilidad describe cómo los sistemas biológicos se mantienen productivos con el transcurso del tiempo. Se refiere al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. En la construcción el material noble de hormigón armado no requiere generar residuos porque puede mantenerse en el Medio Ambiente y ser reutilizado o reciclado una y otra vez. El hormigón chancado genera nuevos áridos y las barras de acero se convierten en chatarra para ingresar en un nuevo ciclo para producir acero.

