

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

## EVALUACION TECNICO ECONOMICA DEL USO DE ARMADURAS PREFABRICADAS EN CHILE.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CATHERINE ANDREA ACEVEDO DIAZ

PROFESOR GUÍA:  
AUGUSTO HOLMBERG FUENZALIDA.

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
DAVID CAMPUSANO BROWN.  
ALFONSO LARRAIN VIAL.

SANTIAGO DE CHILE

ENERO 2009

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.  
POR: CATHERINE ACEVEDO DÍAZ.  
FECHA: 29/12/2008  
PROF. GUÍA: Sr. AUGUSTO HOLMBERG.

## **“EVALUACION TECNICO ECONOMICA DEL USO DE ARMADURAS PREFABRICADAS EN CHILE”**

La armadura prefabricada nace como una alternativa a la armadura convencional o in situ. Este nuevo tipo de armadura se produce en una fábrica por métodos de producción industrial, lista para ser transportada a la obra y ser colocada en los moldajes para su hormigonado. Sin embargo, su utilización en Chile aún es incipiente debido a la escasa información acerca de los beneficios, ventajas y mejoras en la productividad que se logran con este nuevo sistema.

El presente trabajo de título tiene como objetivo principal realizar una evaluación general de la armadura prefabricada en el ámbito de la construcción, analizando sus aspectos técnicos y económicos, estableciendo las condiciones de diseño, fabricación, transporte, definición de detallamientos constructivos, viabilidad económica, modificación en la secuencia constructiva, entre otras.

Para llevar a cabo este estudio, se efectuó una revisión bibliográfica relacionada con el uso de la armadura prefabricada; además se realizaron visitas a oficinas de cálculos, donde se revisaron planos de proyectos que utilizaron este tipo de armadura y se hicieron entrevistas a ingenieros estructurales y constructores para tener una visión completa y real sobre el uso de la armadura prefabricada en Chile. En el trabajo se incluye una descripción de la armadura, estableciendo sus diferencias con la armadura in situ, sus ventajas y desventajas, casos viables y consideraciones técnicas y constructivas para su utilización. También se dan recomendaciones prácticas para la disposición de la armadura prefabricada en vigas, muros y columnas.

Este estudio permite concluir que el uso de la armadura prefabricada resulta ser una alternativa viable para proyectos de hormigón armado, presentando mejoras en la planificación, reducción de la mano de obra, disminución en los tiempos de grúa, entre otros. El costo directo asociado en la utilización de la armadura es mayor entre un 8% y 15%, pero puede llegar a ser una opción viable económicamente si se considera los otros beneficios asociados a su uso, siendo el principal, la reducción de tiempos en su instalación en un 50% en comparación con la convencional, lo que trae una disminución del plazo total de la construcción.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Al finalizar esta memoria, me gustaría agradecer a mi familia por haber estado siempre a mi lado, sobre todo a mi madre Marina y a mi padre Joel por haberme formado de la manera que soy; a mis hermanos Felipe y Camila por comprenderme y a Orlando por ser mi apoyo incondicional y estar a mi lado.

Agradezco a mi profesor guía, Augusto Holmberg, por haberme dado la oportunidad de realizar este tema de memoria, que es muy interesante y que mezcla el área estructural y de construcción, que tanto me agradan. Además agradezco a todas las personas que me ayudaron a resolver los problemas que me fueron apareciendo, sobre todo a Angel Figueroa, Javier Fernández, Claudio Vergara, David Campusano y Alfonso Larraín, por haberme dado su tiempo y dedicación.

También agradecer a mis amigos de la universidad, con los cuales compartir estos 6 años de carrera, Marlenne, Millaray, Lili, Cristián y Víctor, sin ellos mi vida universitaria hubiera sido muy diferente, gracias por apoyarme en los momentos difíciles y ser tan buenos amigos.

Finalmente agradecerle a Dios, por haber acabado esta etapa y no haber tenido ningún problema durante mi estadía en la universidad.

A todos ellos muchas gracias.

## INDICE

<b>1.- INTRODUCCION.....</b>	<b>6</b>
<b>2.- DESCRIPCION Y UTILIZACION DE LA ARMADURA PREFABRICADA.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 ¿Qué es la armadura prefabricada? .....</b>	<b>8</b>
2.1.1 Tipos de armaduras. ....	9
2.1.2 Equipos y maquinarias para la fabricación de la armadura.....	9
2.1.3 Consideraciones para la armadura.....	10
<b>2.2 Diferencias entre la armadura prefabricada y la in situ.....</b>	<b>11</b>
2.2.1 Secuencia constructiva. ....	11
2.2.2 Forma de trabajo. ....	11
2.2.3 Uso de la grúa. ....	12
2.2.4 Detallamientos constructivos. ....	12
2.2.5 Tiempos y rendimientos. ....	13
2.2.6 Costos.....	15
<b>2.3 ¿Por qué se utiliza esta armadura? .....</b>	<b>18</b>
2.3.1 Reduce los tiempos de construcción. ....	18
2.3.2 Mayores rendimientos. ....	18
2.3.3 Reducción de los tiempos de la grúa.....	18
2.3.4 Espacio reducido.....	19
2.3.5 La armadura deja de estar en la ruta crítica. ....	19
2.3.6 Seguridad.....	19
2.3.7 Independiente a las condiciones meteorológicas. ....	20
2.3.8 Evita costos de la no-calidad por patologías en las estructuras.....	20
<b>2.4 ¿Cómo es la asignación de trabajos al utilizar la armadura prefabricada? .....</b>	<b>20</b>
2.4.1 Oficina de cálculo. ....	21
2.4.2 Suministrador de acero. ....	21
2.4.3 Constructora.....	21
<b>2.5 Desventajas y problemas de la armadura prefabricada .....</b>	<b>21</b>
2.5.1 Transporte.....	21
2.5.2 Mala coordinación y supervisión.....	23
2.5.3 Falta de experiencia. ....	23
2.5.4 Mayor cantidad de material utilizado. ....	23
<b>2.6 Casos viables. ....</b>	<b>23</b>
2.6.1 Minería. ....	23
2.6.2 Edificios altos. ....	24
2.6.3 Construcciones en series. ....	24
<b>2.7 Consideraciones en la utilización de la armadura a nivel mundial. ....</b>	<b>24</b>
2.7.1 Costo de la mano de obra. ....	25
2.7.2 Sistemas de Calidad. ....	25
2.7.3 Armadura prefabricada soldada. ....	27
2.7.4 Ejemplos del uso de la armadura prefabricada.....	27
2.7.5 Armado con armadura prefabricada soldada.....	30
<b>3.- CONSIDERACIONES TECNICAS Y CONSTRUCTIVAS PARA EL USO DE LA ARMADURA PREFABRICADA. ....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Consideraciones Técnicas.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Consideraciones Constructivas.....</b>	<b>36</b>
3.2.1 Armadura prefabricada desde el punto de vista del desarrollo de la obra.....	36
3.2.2 Modificación de la secuencia constructiva en el uso de la armadura prefabricada. ...	38

<b>4.- PROPOSICIONES DE DETALLAMIENTOS CONSTRUCTIVOS.....</b>	<b>42</b>
<b>Caso M1: Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros.....</b>	<b>43</b>
<b>Caso M2: Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros en “L”.....</b>	<b>45</b>
<b>Caso M3: Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros en “T”.....</b>	<b>48</b>
<b>Caso M4: Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros en cruz.....</b>	<b>50</b>
<b>Caso M-C: Disposición de la armadura vertical prefabricada en muros y columnas. ...</b>	<b>52</b>
<b>Caso VM1: Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga con muro en un mismo plano. Caso de viga y muro de igual espesor. ....</b>	<b>55</b>
<b>Caso VM2: Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga con muro en un mismo plano. Caso de viga de menor espesor que el muro. ....</b>	<b>57</b>
<b>Caso VM3: Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro perpendicular de viga con la parte central de un muro. ....</b>	<b>60</b>
<b>Caso VC1: Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga columna interior con viga de menor tamaño que la columna. ....</b>	<b>62</b>
<b>Caso VC2: Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga columna exterior.....</b>	<b>64</b>
<b>Caso VC3: Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga columna de esquina. ....</b>	<b>66</b>
<b>5.- EVALUACION ECONOMICA DEL USO DE LA ARMADURA PREFABRICADA.....</b>	<b>68</b>
<b>5.1 Análisis económico desde el punto de vista estructural. ....</b>	<b>69</b>
<b>5.2 Análisis económico desde el punto de vista constructivo. ....</b>	<b>70</b>
5.2.1 Costos y tiempos de la armadura. ....	70
5.2.2 Planificación de los trabajos. ....	76
5.2.3 Beneficios constructivos adicionales. ....	77
<b>5.3 Análisis económico desde el punto de vista del mandante.....</b>	<b>77</b>
<b>6.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>83</b>

## 1.- INTRODUCCION

En la actualidad la industria de la construcción ha evolucionado cambiando sus estándares de exigencias, todo esto se traduce en la introducción de nuevos sistemas constructivos que permiten la reducción de los plazos de construcción, mejorar la calidad y reducir los costos en las obras.

Tradicionalmente, las armaduras se han fabricado, armado e instalado en las obras "barra a barra"; este procedimiento es una actividad "artesanal", ya que depende principalmente de la mano de obra.

La armadura prefabricada representa un método alternativo a la armadura in situ, que se produce en una fábrica por métodos de producción industrial, lista para ser transportada a la obra y ser ensamblada, no siendo necesario trabajarla en terreno. Los elementos más comunes son: vigas, muros, pilares, fundaciones, losas y pilotes.

La armadura prefabricada en Chile, se utiliza principalmente por razones de disminución en los tiempos de construcción y espacio reducido en las obras. Sin embargo, su utilización aun es un tema incipiente debido principalmente a los costos asociados, actualmente la armadura cortada y doblada industrialmente cuenta entre un 20% y 30% del mercado nacional, esperándose para el 2010 un 50%. Adicionalmente, se tienen que tomar algunas consideraciones desde el punto de vista técnico y constructivo para asegurar una correcta instalación en obra, tales como una mejor coordinación entre la oficina de cálculo, la constructora y la empresa que entrega la armadura y las limitaciones en el transporte.

El principal objetivo de este trabajo es analizar y evaluar los antecedentes disponibles respecto al uso de la armadura prefabricada, estudiando los aspectos técnicos y económicos. Para ello se realizó un extenso estudio del estado del arte, para obtener una visión respecto a su utilización. Además, se realizaron entrevistas con ingenieros estructurales, profesionales de empresas constructoras y empresas de servicio de enfierraduras, quienes dieron su opinión acerca de la utilización en Chile de la armadura prefabricada.

En el capítulo 2 se describe la armadura prefabricada, mostrando las diferencias que tiene con la armadura in situ, explicando sus ventajas y desventajas, analizando los casos viables para su utilización. Además se dan algunas consideraciones en la utilización de la armadura en otros países.

En el capítulo 3 se analizan los aspectos técnicos y constructivos que se deben tener en cuenta al utilizar la armadura prefabricada en una obra.

En el capítulo 4 se muestran las propuestas de detallamientos para el uso de la armadura prefabricada, entregando una descripción y recomendaciones para cada situación, tomando en cuenta la constructibilidad y la práctica nacional.

En el capítulo 5 se analiza económicamente el uso de la armadura desde el punto de vista estructural, constructivo y del mandante, para conocer las condiciones que justifican el uso de ésta.

Finalmente, en el capítulo 6 se realizan los comentarios y conclusiones acerca del tema.

## 2.- DESCRIPCION Y UTILIZACION DE LA ARMADURA PREFABRICADA.

El hormigón armado, un material imprescindible en la construcción, está compuesto por hormigón y las armaduras o barras de acero de refuerzo, combinados de tal forma que constituya un elemento sólido. La adherencia entre ambos materiales permite que las tracciones sean absorbidas por el acero y las compresiones por el hormigón, razón por la cual, la armadura es de suma importancia en el comportamiento del hormigón armado.

Tradicionalmente las armaduras se han montado en obra “barra a barra”. Con este procedimiento la armadura constituye una actividad crítica para la obra, por diferentes razones: personal, materiales, equipos, condiciones climáticas, etc.; el costo de la obra gruesa no sobrepasa el 15% o 20% del costo total del edificio, pero representa aproximadamente un 50% del tiempo de su construcción[1]. Por estas razones se tiene que hacer un análisis de los métodos de ejecución de las armaduras, para que ésta deje de estar en la ruta crítica, ya que es una actividad fundamental en la obra gruesa.

Por todo esto, en Chile se está implementando una nueva innovación constructiva, debido al crecimiento del sector de la construcción que ha generado fuertes incentivos para la introducción de nuevos sistemas que permitan aumentar la productividad, reducir costos y mejorar la calidad de los proyectos.

### 2.1 ¿Qué es la armadura prefabricada?

Es aquella armadura que partiendo de productos simples, como son las barras de acero y alambres, se produce en una fábrica por métodos de producción industrial, lista para ser transportada a la obra y ser colocada en los moldajes para su hormigonado.



Figura N° 1: Viga prefabricada [10].





Figura N° 2: Muro prefabricado [8].

Las operaciones para confeccionar la armadura son las siguientes:

- Enderezado.
- Corte.
- Colocación y elección de diámetro.
- Fijación de cruces (atado).
- Doblado y armado.
- Instalación

#### 2.1.1 Tipos de armaduras.

Las armaduras se pueden distinguir en dos categorías:

1. Armaduras sobre plano: Se elaboran en base a los planos suministrados por una obra.
2. Armaduras por catálogo: Se fabrican en forma industrializada una serie de armaduras con formas, tamaños, disposiciones de barras y diámetros determinados, existiendo un catálogo con la serie de productos fabricados.

En Chile su comercialización se reduce a mallas soldadas, pilares electrosoldados y cadenas electrosoldadas, no sobrepasando un diámetro mayor a 9,2 mm [11], por lo cual se limita su utilización para obras que necesiten mayores requerimientos.

#### 2.1.2 Equipos y maquinarias para la fabricación de la armadura.

Para la prefabricación de estas armaduras se utilizan los siguientes equipos y maquinarias:

- Máquina y carro automático de medición y corte.
- Máquina automática para el enderezado y corte del acero suministrado en rollos.
- Estribadora automática direccional para la fabricación de estribos. (figura N° 3)
- Centro de doblado de barras, automático y computarizado.
- Recogedor de barras rectas, conectable a la cortadora automática o máquina de enderezado.
- Centro de embalaje y emisión de tarjetas de identificación del producto terminado.

Por lo general estas máquinas tienen una alta productividad y son sumamente precisas. A continuación se muestra una máquina estribadora (figura N° 3), que dobla las barras para hacer estribos.



Figura N° 3: Estribadora automática

### 2.1.3 Consideraciones para la armadura.

La prefabricación de armaduras requiere tener en cuenta los siguientes aspectos[1]:

- a) Estandarizar los elementos semejantes, de forma que se repitan lo máximo posible.
- b) Utilizar longitudes que sean fracción simple de la barra 12 m de manera que el despunte sea mínimo.
- c) Permitir el montaje fácil en obra, por lo cual a veces es mejor fabricar los elementos sin los sobrelargos de los empalmes, o llevar los elementos no totalmente acabados con una especie de cuantía mínima en sectores que son complicados, por ejemplo, si se tiene una viga para ensamblar entre dos pilares, al empalmar las barras positivas no se tiene problema alguno, porque siempre se empalman cerca de los apoyos, pero las barras negativas hay que empalmarlas arriba, que es el lugar más inconveniente para hacerlo, por lo cual se lleva la viga con una cuantía mínima en la parte superior y todas las barras de supe, que toman el momento negativo, se ponen en obra, así la viga se instala con todos sus estribos y las barras superiores pueden ser una guía.
- d) Utilizar los mayores diámetros posibles, reduciendo barras.
- e) Hay que tomar en cuenta el costo asociado al transporte, ya que si se quiere llevar los elementos acabados el valor de este se encarece por el envío, pues se está transportando un mayor volumen de espacio.



Figura N° 4: Transporte de armadura prefabricada [18].

## **2.2 Diferencias entre la armadura prefabricada y la in situ.**

A continuación se presentan las principales diferencias entre el método tradicional y el sistema industrializado.

### **2.2.1 Secuencia constructiva.**

El método in situ tiene una secuencia tradicional, es decir, el ciclo constructivo que se realiza está limitado por la construcción de la losa y después los muros, esto se efectúa piso a piso.

El sistema prefabricado tiene una secuencia constructiva más eficiente, ya que permite simultaneidad de tareas, esto depende de la logística y del tipo de obra, se pueden mencionar, por ejemplo, instalar y hormigonar muros prefabricados, que conforman el núcleo del edificio, y después las losas, ya que éstas tienen un tiempo mayor de elaboración e instalación, por lo cual se pueden estar haciendo muros y losas al mismo tiempo, pero en pisos diferentes; también se puede prefabricar las columnas con arranques para las vigas, al mismo tiempo que se construyen in situ las fundaciones, después se instalan las columnas y se empalman las vigas; todo esto se explicará más detalladamente en el capítulo 3.

### **2.2.2 Forma de trabajo.**

Para el método tradicional en obra, la fabricación, armado e instalación se realiza de una forma artesanal, ya que la efectúan los enfierradores cortando, doblando y amarrando barra a barra, siendo una labor que toma bastante tiempo, además se realiza en el mismo lugar de la instalación y puede estar sujeta a errores en su proceso, por ser realizada por personas.

Con el método de prefabricación, el corte y doblado se realiza con máquinas industrializadas que son sumamente precisas, y el armado se puede realizar en la fábrica, dejando la armadura lista para ser instalada o ser armada en la obra, esto depende de las necesidades del cliente. Con este método la mano de obra disminuye, ya que no se tiene que contratar a un personal calificado para el corte, doblado y armado.

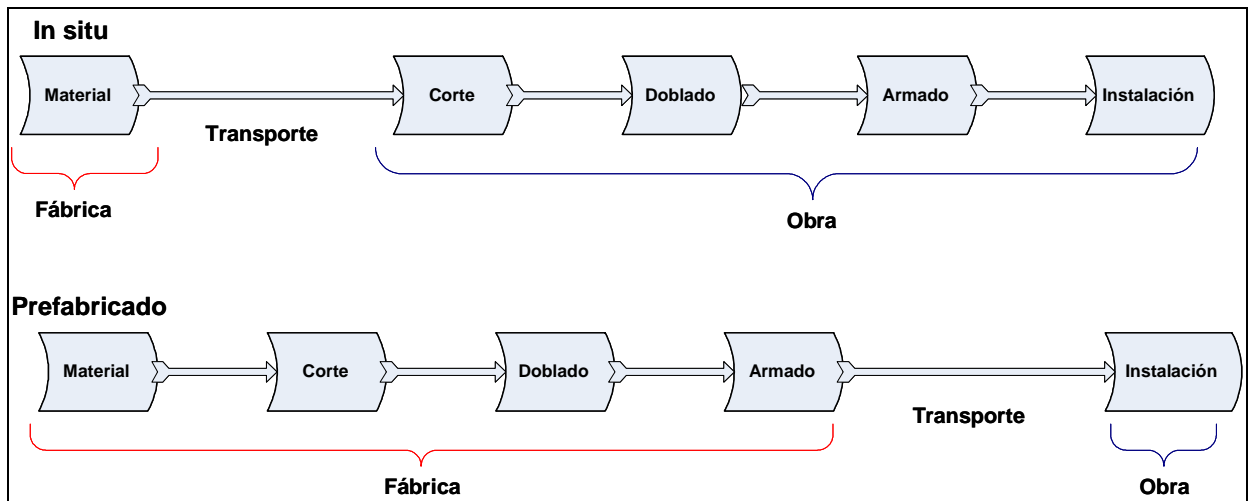


Figura N° 5: Diagrama de actividades de cada armadura.

### 2.2.3 Uso de la grúa.

Al utilizar la armadura in situ las barras son llevadas por la grúa una por una, lo que es una labor bastante ineficiente y demorosa si se tienen muchas barras y una sola grúa, al contrario en el sistema prefabricado la grúa lleva los canastillos listos para ser instalados, ahorrando significativamente tiempo en el uso de la grúa.

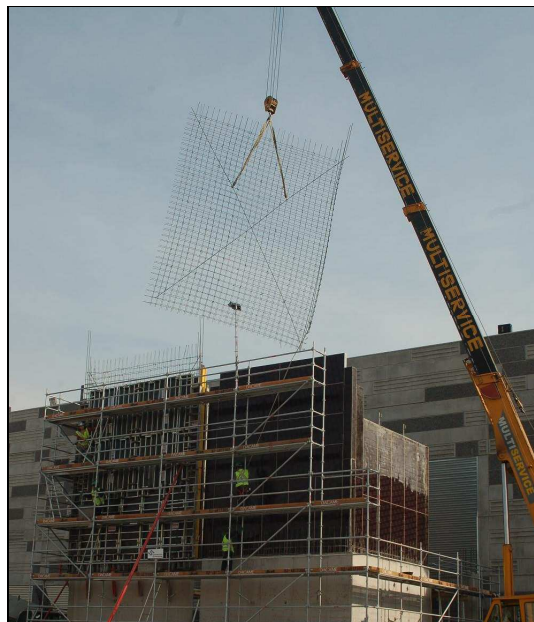


Figura N° 6: Elevación de un muro prefabricado.

#### 2.2.4 Detallamientos constructivos.

Los detallamientos constructivos afectan de forma importante tanto a la calidad del proyecto como a su ejecución, incluso van más allá, influyendo considerablemente en el mantenimiento y la durabilidad de las construcciones.

La mayoría de los detallamientos para las armaduras in situ, están determinados por el ACI 318 y manuales de cálculos, pero para la armadura prefabricada se tienen ciertos detallamientos que no están del todo establecidos, ya que se tienen que ensamblar las unidades de montajes completas, por lo cual se tiene que tener sumo cuidado con los empalmes para que no hayan problemas de congestión con la armadura entre los elementos.

En el capítulo 4 se proponen algunos detallamientos constructivos para la armadura prefabricada, centrándose en vigas, muros, columna, viga – muro, viga – columna.

#### 2.2.5 Tiempos y rendimientos.

Al hacer una comparación entre los tiempos de fabricación y armado de la armadura se observa una gran diferencia, ya que la armadura convencional se tiene que preparar en obra completamente, es decir, arreglar el material, cortar y doblar las barras, armar los elementos e instalarlos, además se tienen que considerar los tiempos muertos de utilización de equipamientos y medios de obra (moldajes, grúas y otros); en cambio para la prefabricada sólo se tiene que armar (si el armado se realiza in situ) e instalar, esto se traduce en un 50% en ahorro de tiempo en armado, si se está utilizando la armadura lista para ser instalada.

A continuación se muestran los rendimientos para cada tipo de armado, se ha separado la fabricación de la armadura del armado e instalación, ya que la fabricación es efectuada por procesos industriales, pero el armado e instalación se realiza de forma parecida para ambas metodologías. En el armado e instalación está incluida la colocación de las amarras, separadores y soportes y el transporte del material a una distancia máxima de 40 m, y no considera el uso de grúa para el movimiento de las barras o armaduras previamente armadas [2].

Tabla 1: Rendimientos teóricos para la elaboración de la armadura in situ [2].

Item	Descripción de la actividad	ton/HD	HH/ton
1.	Preparación del material		
1.1	Enderezado con tirfor manual para barras en rollos de 6 a 12 mm		
1.1.1	Acero A44-28H	0,70	12,9
1.1.2	Acero A63-42H	0,60	15,0
1.2	Enderezado con huinche eléctrico para barras en rollos de 6 a 12 mm	0,78	11,5
1.3	Enderezado de barras rectas 6 a 36 mm	0,96	9,4
1.4	Limpieza del acero	1,00	9,0
2.	Corte y doblado de las barras:		
2.1	6 y 8 mm Acero A44-28H y A63-42H	0,20	45,0
2.2	10 Y 12 mm Acero A44-28H	0,25	36,0
2.3	16 y 18 mm Acero A44-28H	0,43	20,9
2.4	22 y 25 mm Acero A44-28H.	0,75	12,0
2.5	28, 32 y 36 mm Acero A44-28H	0,92	0,2
2.6	10 Y 12 mm Acero A63-42H	0,22	40,9
2.7	16 y 18 mm Acero A63-42H	0,34	26,5
2.8	22 y 25 mm Acero A63-42H	0,52	17,3
2.9	28, 32 y 36 mm Acero A63-42H	0,63	14,3

Estos rendimientos se obtuvieron de la experiencia de varios profesionales consultados y de los resultados y análisis de algunas obras ejecutadas en la región Metropolitana.

Tabla 2: Rendimientos para fabricación de armadura prefabricada [2].

Descripción	Unidad	Producción
Capacidad instalada (equipos y maquinarias)	ton/hora	3,6 a 5,8
Plantel promedio de operarios	HH/ton	3,1
Soporte técnico	HH/ton	0,9 a 1,2

Estos rendimientos están relacionados en forma directa con los equipos y maquinarias disponibles y con la capacidad de producción que tenga la planta industrial.

Las siguientes tablas muestra un ejemplo práctico en donde se comparan los rendimientos entre la fabricación tradicional y la industrial, analizando 3 edificios habitacionales reales con un total de 816 toneladas de armadura y caracterizados según la calidad y porcentajes de diámetros de acero utilizado, las hipótesis realizadas se encuentran en Anexo A.

Tabla 3: Distribución de armaduras por edificio [2].

Descripción	Unidad	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3
Acero A44-28H	ton.	267,8	-	121,8
Acero A63-42H	ton.	-	314,1	81,3
Total armaduras	ton.	267,8	345,1	203,1

Tabla 4: Resumen de rendimientos en la fabricación de armaduras de edificios [2].

Tipo de fabricación	Actividad	Diámetros [mm]	Peso [ton]	Rendimiento [HH/ton]
<b>Tradicional</b>	Enderezado con tirfor manual ( A44-28H)	8, 10 y 12	122,0	12,9
	Enderezado con huinche eléctrico (A63-42H)	8, 10 y 12	107,7	11,5
	Enderezado barras rectas = 3%	8 a 32	24,5	9,4
	Limpieza de Acero = 2%	8 a 32	16,3	9,0
	Subtotal Preparación del Material	8 a 32	270,5	11,8
	Subtotal Corte y Doblado	8 a 32	816,0	32,1
	<b>Total Mano de Obra Fabricación Tradicional</b>		<b>8 a 32</b>	<b>816,0</b>
<b>Industrial</b>	<b>Total Mano de Obra Fabricación Industrial</b>	<b>8 a 32</b>	<b>816,0</b>	<b>3,1</b>

A continuación se muestran los rendimientos para el armado e instalación de la armadura.

Tabla 5: Rendimientos teóricos para el armado e instalación de la armadura [2].

Item	Descripción Actividad	ton/HD	HH/ton
1.1	6 y 8 mm	0,13	69,2
1.2	10 y 12 mm	0,2	45
1.3	16 y 18 mm	0,31	29
1.4	22 y 25 mm	0,54	16,7
1.5	28, 32 y 36 mm	0,65	13,8

En resumen, se observa que la armadura prefabricada tiene mayores rendimientos que la armadura in situ, un caso real es el de la tabla 4, donde se deduce que la armadura prefabricada representa una productividad significativamente mayor que la realizada en obra, del orden de 12 veces mayor, referida a las mismas ton/hora producidas.

## 2.2.6 Costos.

El costo de la obra gruesa no sobrepasa el 15% o 20% del costo total del edificio y el costo de la armadura representa un tercio del valor por cada m<sup>3</sup> de hormigón armado colocado [3].

En la figura siguiente se indica como se distribuyen los costos de la armadura in situ.

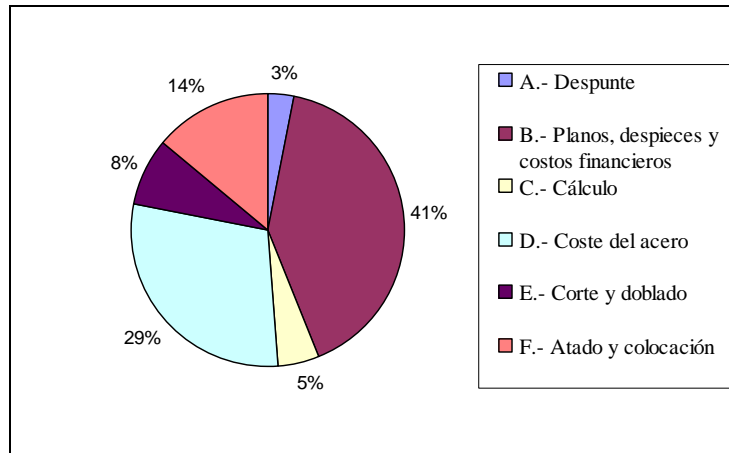


Figura N° 7: Distribución de costo de la armadura [1].

La única manera de reducir los costos es actuar sobre los que no son propios del material de fabricación, ya que si se consigue disminuir ligeramente el volumen del acero esto aumenta otros costos, porque se produce un armado de la estructura más complejo.

Por lo cual, la manera para lograr disminuir los costos de la armadura es industrializando el corte, doblado y atado, y que su demanda aumente, ya que al aumentar su uso los costos indirectos disminuyen.

Otro punto a considerar son las pérdidas metálicas, ya que en el método tradicional éstas se encuentran entre un 5% y un 7% del valor total [9], dependiendo del tipo de obra, pero al utilizar el sistema industrializado las pérdidas metálicas son nulas.

A continuación se muestra un gráfico de la evolución del corte y doblado industrial.

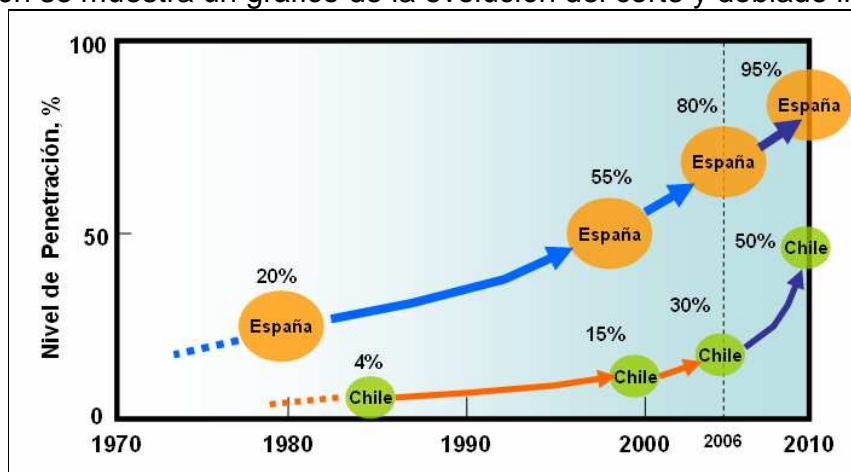


Figura N° 8: Evolución estimada del corte y doblado industrial [9].



Al analizar el gráfico se observa que el sistema de corte y doblado industrial va en aumento, por lo cual esto puede significar que la armadura prefabricada aumente su demanda también, ya que el mercado de la construcción está evolucionando en sus sistemas constructivos.

Finalmente hay que considerar un concepto que aún no se está manejando en Chile, el nivel de racionalización de la armadura; este trata fundamentalmente, que es necesario realizar el mayor número de operaciones posibles en taller y trasladar a obra el material en el grado de elaboración más avanzado que se pueda, pero tomando en cuenta los problemas del transporte, pues fundamentalmente se está transportando un mayor volumen de “aire” [5] entre las armaduras.

Básicamente la racionalización se basa en la industrialización de todos los procesos que intervienen en la armadura, algunas consideraciones para poder lograr esto son las siguientes [5]:

- Estandarizar y racionalizar los proyectos estructurales, utilizando esquemas de armado estándar.
- Racionalizar e industrializar los procesos de elaboración de armaduras, usando máquinas automáticas y sistemas industriales de clasificación y armado.
- Capacitar al personal que trabaja con la armadura con los nuevos procedimientos técnicos.
- Emplear empalmes mecánicos, manguitos y piezas especiales de acoplamiento, que permiten utilizar barras con menores longitudes y realizar empalmes directamente, sin considerar la longitud de traslape.
- Utilizar armaduras estándar industrializadas, ya que permiten armados más rápidos.

A continuación se muestra un gráfico cualitativo de cómo varían los costos a medida que se racionaliza el armado.

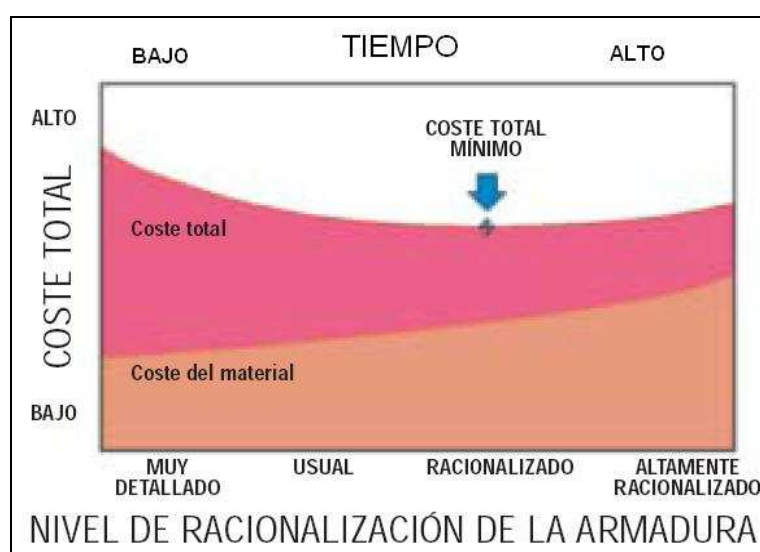


Figura Nº 9: Nivel de racionalización de la armadura [1].

En la figura N° 9 se puede observar que la armadura prefabricada conduce a una cantidad superior de acero, en comparación con la armadura usual, pero conduce finalmente a un costo total menor de armaduras y a una disminución del plazo de construcción.

En el capítulo 5 se realiza una comparación cualitativa y cuantitativa entre los dos tipos de armaduras, además se analiza desde el punto de vista estructural, constructivo y del mandante el uso de la armadura prefabricada,

### **2.3 ¿Por qué se utiliza esta armadura?**

A continuación se detallan las razones del por qué se utiliza la armadura prefabricada.

#### **2.3.1 Reduce los tiempos de construcción.**

Las fases de la armadura tradicional son: el enderezado, el cortado, el doblado, el armado y la instalación, todas estas etapas tienen un tiempo asociado, pero al utilizar la armadura prefabricada sólo se tienen las fases de armado (si se produce en la obra) y de instalación, por lo cual el ciclo de la armadura disminuye sustancialmente, ya que se eliminan etapas del ciclo; además esta armadura permite la simultaneidad de tareas y disminución de los tiempos muertos, dependiendo de la secuencia constructiva que se utilice, este concepto se explica mejor en el capítulo 3, un ejemplo concreto es la construcción de la Torre Agbar en Barcelona, en donde se redujo el ciclo de ejecución de muro por planta de 12 a 6 días [8].

#### **2.3.2 Mayores rendimientos.**

Como se vio en el punto 2.2.5, al utilizar un sistema de prefabricación los rendimientos aumentan, ya que se tienen procesos industriales que son más rápidos y precisos que el método manual, un ejemplo real es la construcción de la Torre Agbar, en donde el rendimiento medio de colocación mejoro de 840 Hr/Planta a 650 Hr/Planta, lo que significa una disminución de casi un 30% en el tiempo de colocación de la armadura de la planta [8].

#### **2.3.3 Reducción de los tiempos de la grúa.**

Al llevar los elementos estructurales listos a la obra, el uso de la grúa es mucho más eficiente, ya que se llevan los canastillos listos para ser colocados en los moldajes a diferencia del método tradicional que se llevan las barras una a una, un ejemplo de esto, es la construcción de la Torre Agbar, en donde se redujo un 70% del tiempo en la utilización de la grúa [8].



Figura N° 10: Canastillo elevado por una grúa [8]

#### 2.3.4 Espacio reducido.

Actualmente hay ciertos sectores que tienen una alta demanda en el ámbito de la construcción, por lo cual la edificación en estos lugares está limitada por el espacio, esto implica que al tener varias actividades conjuntas en la obra el lugar se congestiona, por lo tanto una solución a este problema es utilizar la armadura prefabricada, ya que resuelve estas dificultades reduciendo los espacios de la fabricación de la armadura, ya que sólo se tiene que armar e instalar, además se disminuyen los espacios de acopio, pues se puede tener un programa en la obra, para que cuando llegue la armadura, ésta se coloque inmediatamente para no tener un stock en la obra.

#### 2.3.5 La armadura deja de estar en la ruta crítica.

La armadura casi siempre ha estado en la ruta crítica de la obra, ya que depende mucho del personal, materiales, equipos, condiciones climáticas, etc.; además cualquier retraso en las actividades críticas encarecen no sólo las partidas a las que afecta, sino al conjunto de actividades que forma parte del ciclo constructivo.

Al utilizar la armadura industrializada, la armadura deja de estar en la ruta crítica, ya que en el programa de obra se fijan las fechas de entregas con el proveedor, por lo cual se deja de tener la incertidumbre que se tenía con el método convencional.

#### 2.3.6 Seguridad.

La seguridad es un tema muy importante en la construcción y la armadura prefabricada ayuda a mejorarla por las siguientes razones:

- Al disminuir los recursos humanos en la obra se reduce el riesgo de tener un accidente en las actividades relacionadas con el corte, el doblado y armado de piezas in situ.

- El trabajo en planta industrial facilita el control de riesgos y permite la implementación de sistemas de prevención de riesgos laborales.
- Al traer los elementos armados se disminuye la mano de obra trabajando en altura, ya que la mayor parte de los trabajos son realizados a nivel de suelo.
- Se reducen los riesgos en la elevación de materiales con la grúa.

### 2.3.7 Independiente a las condiciones meteorológicas.

Uno de los problemas en la ruta crítica es que se desconocen los días de lluvia, por lo cual la mano de obra deja de trabajar, cuando no se tienen las condiciones necesarias para garantizarles su seguridad; al contratar la armadura prefabricada se tiene que las fechas de entregas no están afectadas por las condiciones meteorológicas, esto implica un programa de trabajo más exacto, esencial en los proyectos actuales que están estrechamente ligados con las fechas de entregas programadas.

### 2.3.8 Evita costos de la no-calidad por patologías en las estructuras.

La ley de Sitter establece que un peso invertido en el diseño, para corregir un posible daño de una estructura, se convierte en cinco pesos si la corrección se hace en fase de proyecto, en veinticinco si se hace en construcción, y en ciento veinticinco pesos si se hace en la explotación, por lo cual es muy importante poder visualizar los problemas antes de la explotación [12].

La experiencia documentada en las patologías de daños en edificación, revela que un 40% a un 50% de éstas son atribuibles a la fase de proyecto, por lo tanto, hay que cuidar en la fase de proyecto los aspectos que parezcan referidos a los métodos de ejecución de la estructura [12], en este caso, la armadura prefabricada tiene mejores estándares de calidad que la armadura in situ, ya que es revisada tanto en fábrica como en obra.

En la fase de construcción, un 50% de las patologías del hormigón proceden de fallas en los armados; por lo tanto, hay que mantener estrictas revisiones en el armado y en la colocación de las armaduras en el interior de los moldajes, para cuidar los recubrimientos y mantener los empalmes; al utilizar la armadura prefabricada se asegura la disposición de las barras, las formas y los atados, ya que tienen un sistema de calidad de fábrica y además es verificada en obra, aspectos que la elaboración por método tradicional no puede garantizar y tienen que ser verificados exhaustivamente en la construcción.

## 2.4 ¿Cómo es la asignación de trabajos al utilizar la armadura prefabricada?

La elaboración y montaje de la armadura prefabricada es un conjunto de diferentes trabajos, por lo cual para poder utilizar esta armadura debe existir una determinada

asignación de tareas y una estrecha comunicación entre la oficina de cálculo, la constructora y el suministrador de la armadura; las actividades que abarcan estos trabajos son las siguientes [5]:

#### 2.4.1 Oficina de cálculo.

- Estudio de los planos del proyecto.
- Adoptar, en función de las resistencias de proyecto y otros datos, los diámetros de doblado y los empalmes de armaduras, para la confección de la armadura prefabricada.
- Tomar algunas decisiones con referencia a la disposición de empalmes y otros detalles.
- Preparación de planos de obra.
- Realización de los planos de despiece.

#### 2.4.2 Suministrador de acero.

- Recepción del material.
- Clasificación y almacenamiento.
- Elaboración de la armadura.
- Armado de elementos.
- Etiquetado.
- Traslado a la obra.
- Empalme y montaje definitivo.

#### 2.4.3 Constructora.

- Verificación de los certificados de garantía del acero.
- Revisión de las tolerancias de corte y doblado.
- Inspección del atado.
- Verificación de las tolerancias de montaje.
- Revisión final del montaje.

### **2.5 Desventajas y problemas de la armadura prefabricada**

A continuación se lista una serie de desventajas y problemas que puede presentar la armadura prefabricada.

#### 2.5.1 Transporte

Al utilizar la armadura prefabricada se debe tener en cuenta las limitaciones de dimensiones por parte del transporte, esto se traduce, en que se tienen camiones con tamaños y cargas limitadas, en Chile las dimensiones de los camiones máximas son 12 m de largo, 2.4 m de ancho y una carga máxima de 28 ton, si se requieren utilizar elementos con mayores dimensiones necesariamente se tendrá que realizar una serie de traslados.



Figura N° 11: Transporte de armadura prefabricada [26].

Además, al transportar elementos terminados también se está trasladando “aire” entre ellos (ver figura N°4) y esto encarece considerablemente el valor asociado al transporte de la armadura; una solución para este problema es adoptar un armado que pueda realizarse en dos o más mitades con armaduras prefabricadas para que sea económico de transportar, aunque requiera un montaje final en la obra. A continuación se dan dos ejemplos de armados.

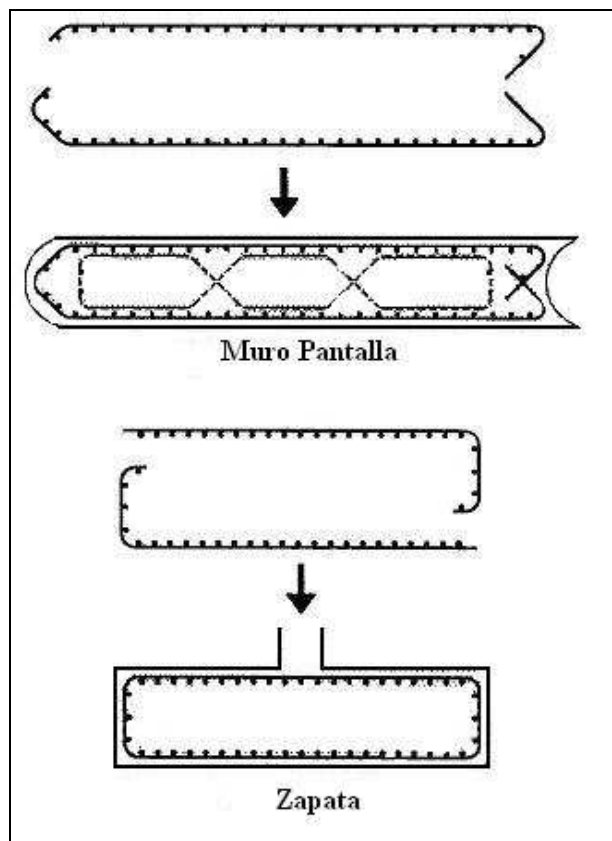


Figura N° 12: Racionalización de elementos prefabricados en función del transporte [1].

### 2.5.2 Mala coordinación y supervisión.

Un problema que se puede presentar, al utilizar la armadura prefabricada es que los canastillos que llegan a la obra no estén acorde al diseño de los planos, esto puede ocurrir por dos razones:

- Fallas en el envío de las revisiones en los planos.

En toda obra se tienen modificaciones en algunos planos, por lo cual, al cambiar estos planos se debe dar aviso al suministrador de acero con una holgura de tiempo, para que se alcancen a realizar los cambios y se envíen las piezas correctas, cuando no sucede esto, a la obra llegan los elementos con revisiones anteriores; todo esto se debe a la mala coordinación entre las partes involucradas.

- Falta de revisión.

Al utilizar la armadura prefabricada, está pasa por dos supervisiones, la de fábrica y la de obra, pero puede darse el caso que el elemento no haya sido bien chequeado por ninguna de las dos partes, se despache para su colocación y al momento de colocar el elemento se verifique que está mal confeccionado.

### 2.5.3 Falta de experiencia.

Al utilizar un nuevo sistema constructivo existe cierto periodo de “marcha blanca” por la falta de experiencia, por lo cual en ese periodo pueden existir problemas de coordinación y mal armado, hasta que la mano de obra se adecue al nuevo sistema.

### 2.5.4 Mayor cantidad de material utilizado.

Al emplear la armadura prefabricada se utiliza mayor cantidad de acero asociado a:

- Mayor utilización de material en la fabricación.

Las unidades de montajes se diseñan por piso, por lo cual se utilizan fierros más cortos y con esto mayor material para hacer los empalmes, ya que se están empalmando el 100% de las barras en el mismo lugar, por lo cual el ACI 318 se exige que este empalme sea más largo, siendo considerado un empalme por traslapo clase B, es decir, se utiliza  $1.3 l_d$  [13].

- Material adicional para rigidizar los canastillos.

Al levantar los elementos terminados con la grúa, estos tienen que ir con refuerzos para que los canastillos se mantengan firmes y no sufran deformaciones por el movimiento.

## 2.6 Casos viables.

La utilización de esta armadura se usa en varios sectores de la construcción, pero los principales son los siguientes:

### 2.6.1 Minería.

Actualmente, la armadura prefabricada en la minería es de uso habitual, ya que al ser este un sector intensivo en el uso de capital, el tiempo de construcción es primordial;

además las construcciones son de grandes magnitudes por lo cual es muy complicado elaborar la armadura en obra y sólo se arman in situ.

### 2.6.2 Edificios altos.

En los edificios de gran altura se utiliza esta armadura, ya que al ser construcciones con un alto capital; el tiempo y la seguridad son factores predominantes, dado que la falencia de estos pueden influir en mayores costos en la construcción; además si el edificio se construye con un núcleo central con hormigón, se pueden lograr altos rendimientos al utilizar la armadura prefabricada para construir los muros del núcleo.

### 2.6.3 Construcciones en serie.

Al tener construcciones en serie en donde se tiene elementos repetitivos, por ejemplo casas y puentes, estos elementos se pueden proyectar con armadura prefabricada, ya que al llegar a la obra los canastillos, estos se instalan inmediatamente, utilizando menos mano de obra y obteniendo mayor rapidez.

## 2.7 Consideraciones en la utilización de la armadura a nivel mundial.

Actualmente el uso de la armadura prefabricada en países desarrollados es de uso habitual, debido a su mayor nivel económico y tecnológico, se estima que más del 90% del abastecimiento total es suministrado por talleres de fabricación de armaduras y el resto es proporcionado por barracas de fierros o distribuidoras de materiales de construcción [2], a continuación se muestra una tabla con la distribución del acero que pasa por las plantas industrializadas en algunos países de Europa.

Tabla 6: Distribución del acero por plantas industrializadas en Europa [2].

<b>Distribución del acero</b>	<b>Alemania</b>	<b>España</b>	<b>Francia</b>	<b>Italia</b>	<b>Promedio</b>
Sólo corte y doblado	25%	15%	15%	25%	20%
Corte, doblado y pre-armado	35%	35%	40%	30%	35%
Instalado en obra (servicio completo)	40%	50%	45%	45%	45%

Algunos aspectos importantes del uso de la armadura prefabricada que se destacan en otros países y que hacen que la armadura prefabricada sea más viable, se detallan a continuación.



### 2.7.1 Costo de la mano de obra.

Una de las principales ventajas de la armadura prefabricada es que se reduce la mano de obra, esto es esencial para los países desarrollados, ya que la mano de obra es cara y escasa, por lo cual cualquier sustitución de trabajo en obra por trabajo en fábrica es provechosa desde el punto de vista económico, de tiempos y de calidad.

Un ejemplo de la evolución del costo de la mano de obra en la construcción es lo que ocurrió en España, en los años 60, donde el valor de la armadura era un 15% para la elaboración y montaje, y un 85% para el material. Actualmente las cifras son un 60% para la elaboración y montaje y un 40% para el material, esto es similar para otros países desarrollados. En casos de armados especiales el costo puede llegar a ser un 80% y 20% respectivamente [1].

### 2.7.2 Sistemas de Calidad.

Los controles de calidad para la armadura prefabricada son más estrictos que en Chile, teniendo normas que controlan los materiales y la producción de la armadura, en España se tienen las siguientes:

#### 1.- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)

Es el marco reglamentario, donde se establecen las exigencias que deben cumplir las estructuras de hormigón para satisfacer los requisitos de seguridad estructural y seguridad en caso de incendio [28].

En relación al acero, esta Instrucción establece una serie de certificados, ensayos y controles obligatorios, algunos de ellos son los siguientes [27]:

- Requisitos mínimos que debe cumplir una barra corrugada.
- Certificación en el acero suministrado.
- Control de calidad de los aceros al recibir el material.
- Elaboración de armadura y colocación de las armaduras pasivas (artículo 66)

#### 2.- UNE 36831:1997.

Es una norma española para armaduras pasivas de acero para hormigón estructural, donde se establecen las condiciones de corte, doblado y colocación de barras y mallas, tolerancias y formas preferentes de armado [1].

#### 3.- UNE 36832:1997

Es una norma española con especificaciones para la ejecución de uniones soldadas de barras para hormigón estructural [1].

Un resumen de las actividades para el control de producción que se realizan en las fábricas se muestra a continuación.

Tabla 7: Resumen de una pauta de control de producción [1].

<b>Etapas del proceso</b>	<b>Actividad de control</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Recepción de materias primas</b>	Comprobación de certificados y documentación	Todas las partidas
	Identificación del material	Todas las partidas
	Registro de trazabilidad	Todas las partidas
	Ensayos en material certificados	Cada tres meses
	Ensayos en material no certificado	Todas las partidas
<b>Materiales transformados intermedios</b>	Calificación de maquinaria	Al comienzo y si existen cambios de procesos
	Calificación de soldaduras	Al comienzo y si existen cambios de procesos
	Control de enderezado	Una vez al día por máquina
	Control de corte	Dos comprobaciones al día por máquina
	Control de doblado	Dos comprobaciones al día por máquina
	Control de soldadura	Dos ensayos cada 20.000 uniones
<b>Producto Final</b>	Tolerancias y diámetros	Cuatro veces al día
	Formas, geometrías y puntos de soldadura	Cuatro veces al día

Algunos requisitos que debe cumplir el sistema de calidad son los siguientes [1]:

- 1.- Tener identificadas todas las etapas del proceso, con un responsable a cargo.
- 2.- Poseer un sistema de verificación del control interno, capaz de identificar las no conformidades con la etapa en la que se producen.
- 3.- Establecer acciones para corregir las no conformidades.
- 4.- Verificar que las acciones correctoras se apliquen.
- 5.- Producir el aprendizaje interno correspondiente.
- 6.- Tener un programa que registre todas las actividades, identifique las materias primas, máquinas y equipos empleados, mantenimiento, no conformidades y acciones correctoras con su seguimiento.

Este sistema tiene que permitir la trazabilidad de la armadura, pudiendo identificar el material, las máquinas y equipos utilizados, ante cualquier no conformidad.

Además existe la certificación de las armaduras prefabricadas, donde un tercero, certifica que el mencionado producto cumple con los requisitos de la norma. Esta certificación no garantiza la calidad de partidas individuales, por ende no puede entenderse como un sistema que evite los controles de recepción en obra, aunque permite disminuirlos.

La certificación debe verificar que el fabricante disponga de la organización, medios humanos y las instalaciones necesarias para producir las armaduras con la calidad adecuada; que se utiliza materia prima certificada y que existe un sistema de calidad para garantizar los elementos fabricados. Para cumplir esto es necesario implementar

un sistema de inspección y control externo, que permita auditar y vigilar el sistema de calidad y verificar en forma estadística la producción.

### 2.7.3 Armadura prefabricada soldada.

Una característica importante de la armadura prefabricada en otros países, es el empleo de uniones soldadas, tanto resistentes como de atado.

Fundamentalmente la soldadura resistente se usa como un sistema de anclaje mecánico, lo que permite anclajes más cortos y más económicos que la solución de anclaje por adherencia [1].

Un ejemplo de soldadura de atado es la electrosoldadura automática de uniones no resistentes, que asegura una fijación confiable en las armaduras durante el transporte y montaje y sus uniones tienen una resistencia no inferior al 30% de la capacidad de la barra. Las soldaduras estructurales consiguen una resistencia en la unión, superior al 50% de la capacidad de la barra longitudinal que concurre al nudo y se transforma en una unión que permite la reducción de longitud de anclaje de hasta un 30% [14].

En Chile no es posible utilizar las uniones soldadas porque el acero es alto en carbono, por lo cual el proceso sería mucho más complicado, costoso, necesitaría un control especial y en general no se recomienda para el acero A63.

### 2.7.4 Ejemplos del uso de la armadura prefabricada.

A continuación se analiza una construcción que ha utilizado armadura prefabricada y algunos elementos constructivos elaborados con esta armadura, además se hace una comparación en tiempos y mano de obra con la armadura in situ.

#### 1.- Condominio en Tiong Bahru, Singapore [17].

Este proyecto consta de 2 edificios y 36 pisos. Los beneficios que se obtuvieron al utilizar la armadura prefabricada fueron:

- Disminución del ciclo constructivo por piso de 12 días a 8 días.
- Reducción de los enfierradores en obra de 25 a 15 trabajadores.
- Reducción en la duración total de la construcción de aproximadamente 2 meses.

#### 2.- Columna Circular prefabricada [18].

Esta columna tiene un peso de 2,5 ton, una altura de 8,5 m y un diámetro de 1,3 m.



Figura N° 13: Columna Circular prefabricada [18]

Esta columna fue instalada por 3 trabajadores en 15 minutos, si se hubiese utilizado el armado convencional se hubiera instalado en 8 horas con 3 enfierradores.

### 3.- Columna prefabricada [18].

El tamaño de la columna es de 525 x 1000 mm, con un peso de 1,3 ton y una altura de 7 m.



Figura N° 14: Columna prefabricadas [18].

La instalación de cada columna tomo 15 minutos con 3 enfierradores, con el método convencional hubiera durado 5 horas con 3 trabajadores.

### 4.- Viga prefabricada [18].

Las dimensiones de la viga son: 400 x 700 mm y su peso es de 1,03 ton.



Figura N° 15: Vigas prefabricadas [18].

La instalación de 20 m de vigas fue realizada en 6 horas por 6 trabajadores, con el sistema in situ tomaría 3 días y 10 enfierradores en armar e instalar.

#### 5.- Losa prefabricada [18].

La losa esta compuesta por paneles de 8,2 x 2,6 m y un peso aproximadamente de 100 kg.

Convencionalmente la instalación tomaría 3 días con 15 trabajadores para atar los 6,5 ton de acero, pero con la armadura prefabricada tomó 9 horas con 10 enfierradores.

#### 6.- Fundaciones prefabricadas [18].

Las dimensiones de la fundación es de 1500 x 2400 mm, con un peso de 1,2 ton.



Figura N° 16: Fundación prefabricadas [18].

La instalación duró 15 minutos con 3 trabajadores, con el método convencional hubiera durado 1 día con 3 enfierradores.

#### 2.7.5 Armado con armadura prefabricada soldada.

El armado con armadura prefabricada presenta varias diferencias frente a la armadura in situ, esta diferencia se hace mucho mayor si la armadura prefabricada es soldable, ya que se reducen longitudes de anclajes y se evita la realización de codos de doblado.

A continuación se presenta una serie de esquemas de armado [1], haciendo una comparación entre la armadura in situ y la prefabricada soldada.

Para poder entender los esquemas se debe conocer la representación de las mallas electrosoldadas (figura N° 17).

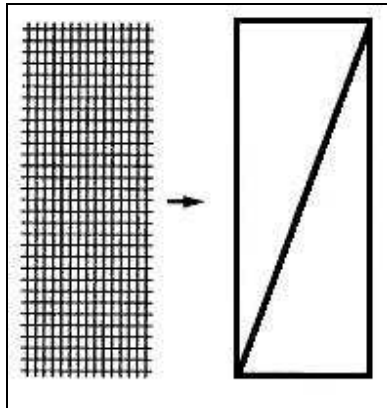
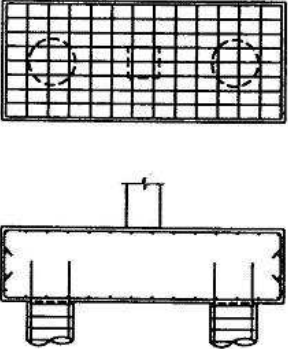
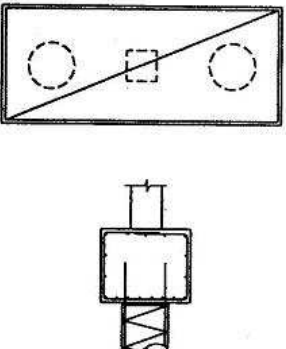
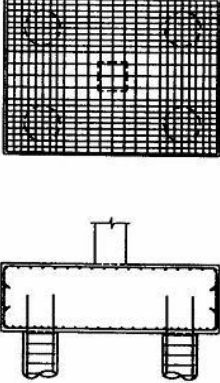
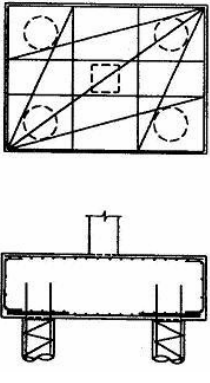
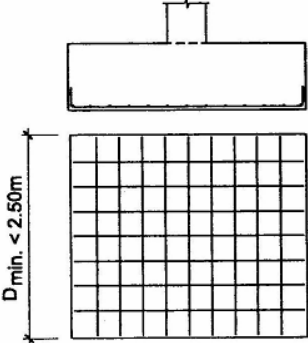
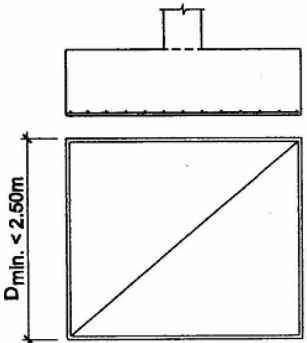
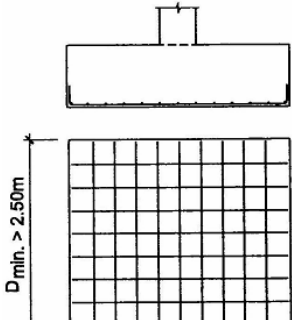
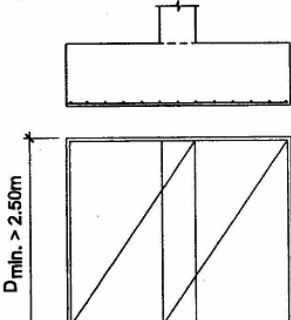
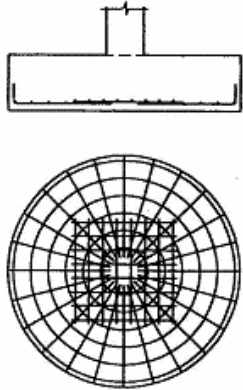
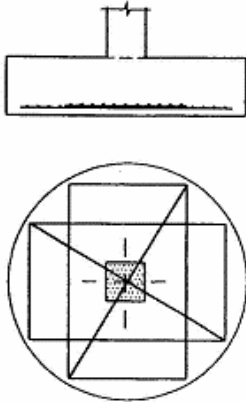
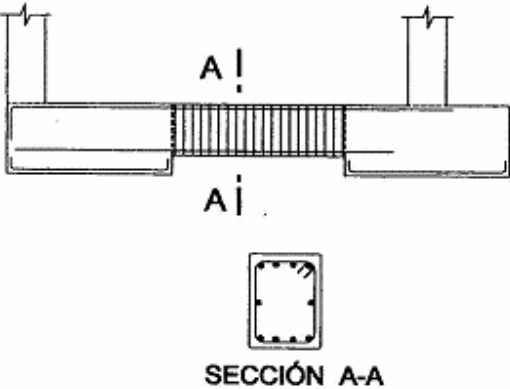
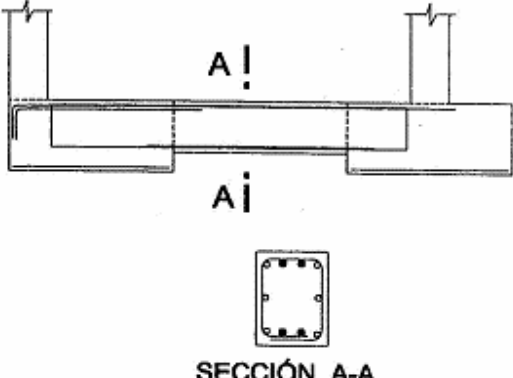
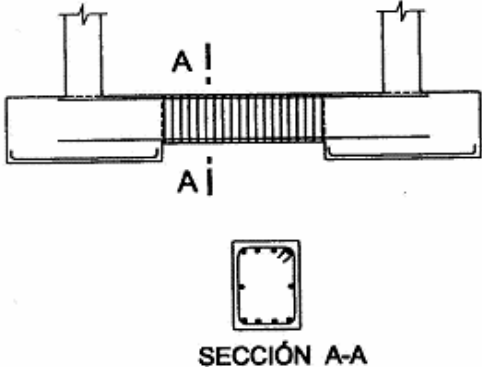
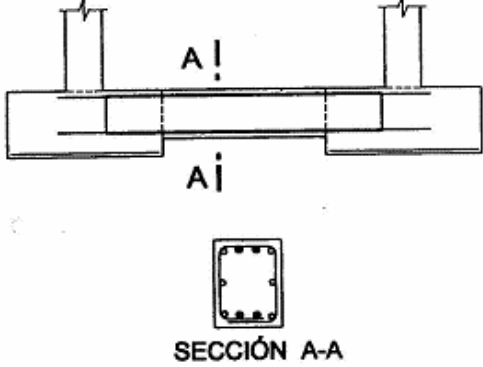
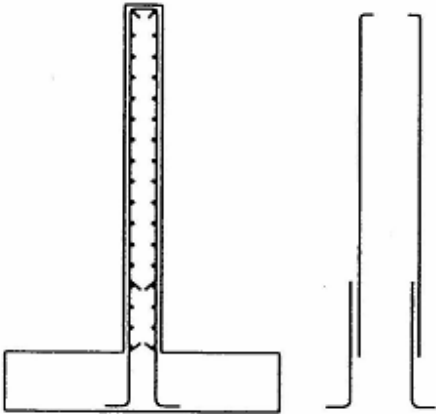
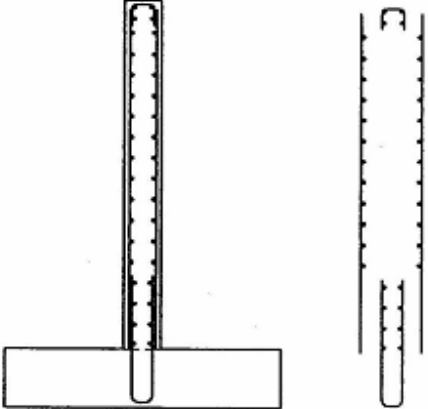


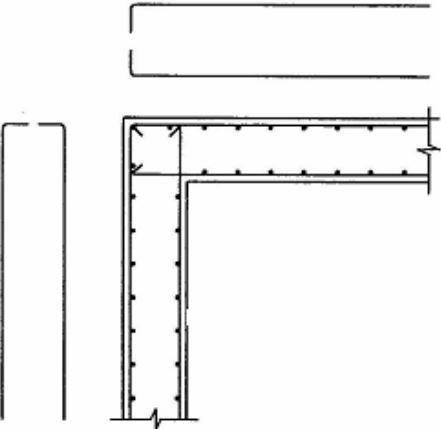
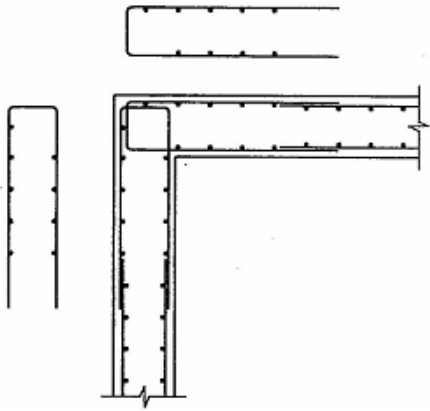

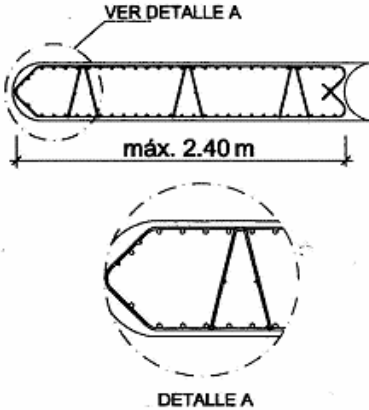
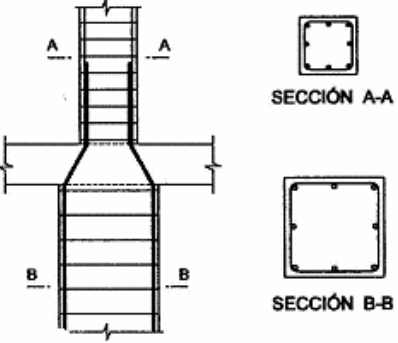
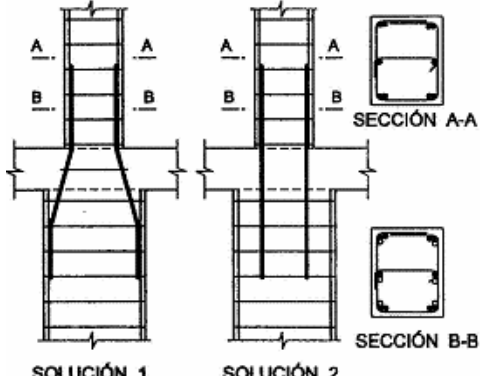
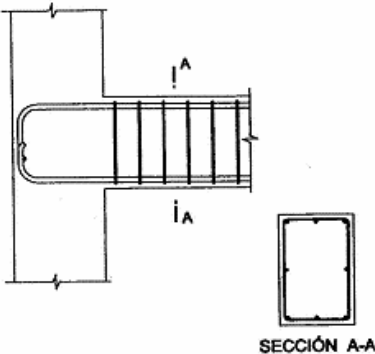
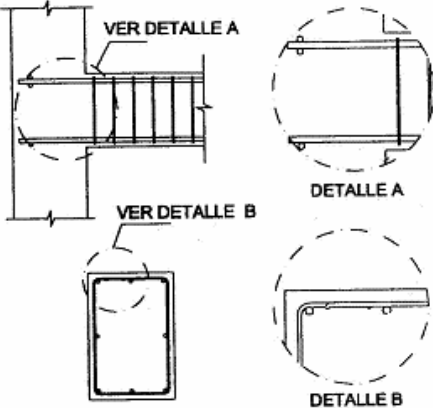
Figura N° 17: Representación malla electrosoldada [1]

Figura N° 18: Comparación entre el armado in situ y el prefabricado[1].

Armado in situ	Armado prefabricado
	
	
<p data-bbox="432 1149 655 1171">Dimensión mínima &lt; 2.50m</p> 	<p data-bbox="1066 1155 1289 1178">Dimensión mínima &lt; 2.50m</p> 
<p data-bbox="440 1568 655 1590">Dimensión mínima &gt; 2.50m</p> 	<p data-bbox="1058 1574 1289 1597">Dimensión mínima &gt; 2.50m</p> 

Armado in situ	Armado prefabricado
	
 <p style="text-align: center;">SECCIÓN A-A</p>	 <p style="text-align: center;">SECCIÓN A-A</p>
 <p style="text-align: center;">SECCIÓN A-A</p>	 <p style="text-align: center;">SECCIÓN A-A</p>
	



Armado in situ	Armado prefabricado
	
	<p>VER DETALLE A</p>  <p>máx. 2.40 m</p> <p>DETALLE A</p>
 <p>SECCIÓN A-A</p> <p>SECCIÓN B-B</p>	 <p>SOLUCIÓN 1</p> <p>SOLUCIÓN 2</p> <p>SECCIÓN A-A</p> <p>SECCIÓN B-B</p>
 <p>SECCIÓN A-A</p>	<p>VER DETALLE A</p>  <p>VER DETALLE B</p> <p>DETALLE A</p> <p>DETALLE B</p>

### 3.- CONSIDERACIONES TECNICAS Y CONSTRUCTIVAS PARA EL USO DE LA ARMADURA PREFABRICADA.

El presente capítulo tiene por objetivo realizar un análisis de los aspectos técnicos y constructivos más importantes que se tiene que tener en consideración al utilizar la armadura prefabricada. Esta revisión se basa en experiencias reales del uso de la armadura prefabricada en algunas construcciones y oficinas de cálculo del país.

#### 3.1 Consideraciones Técnicas.

Desde del punto de vista técnico se pueden identificar algunos aspectos que son importantes para hacer más factible el uso de la armadura prefabricada. A continuación se señalan estos aspectos técnicos [1] y [3].

Para emplear la armadura prefabricada se deben considerar los detallamientos constructivos propios de esta armadura, mostrados en el capítulo 4, para diseñar correctamente los esquemas de armado que hacen posible su utilización.

Una consideración importante es emplear el número mínimo de barras, del mayor diámetro posible, sin dejar de lado las condiciones de anclaje, solape, fisuración, separación de barras y recubrimientos; con esto se hace más simple el armado de los elementos al utilizar una menor cantidad de barras; se abaratan costos en el corte, doblado y armado; y se puede lograr disminuir la congestión de armadura en los elementos, facilitando el vaciado y vibrado del hormigón.

Hay que tener cuidado con la relación de ancho de columnas y ancho de vigas en los nudos, ya que si son iguales pueden cruzarse las barras en el nudo y ocasionar un problema al momento de la construcción, también hay que fijarse en la disposición y diámetros de las barras para que no haya una intersección entre ellas.

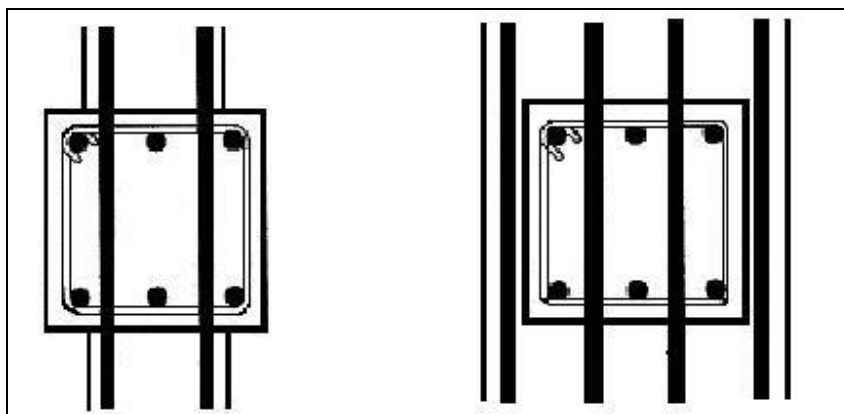


Figura Nº 19: Planta de vigas [1].

Si se tienen columnas con número impar de barras longitudinales, hay que tener precaución de no disponer barras en el plano medio de las vigas (figura N° 19), ya que podrían intersectarse las barras y ocasionar un problema constructivo.

Al diseñar la armadura prefabricada se tiene que tener presente las intersecciones entre los elementos, ya que si no se deja el espacio suficiente se pueden tener problemas de congestamiento de armadura al colocar los empalmes por traslapeo y también tener problemas con el vaciado y vibrado del hormigón; por lo cual hay que dimensionar los anchos adecuadamente y analizar la disposición de las barras, para cuidar la separación entre ellas.

En construcciones en que se utilizan elevadas cuantías de acero o la geometría de la estructura torna muy difícil la disposición de empalmes por traslapeo debido a la excesiva congestión de armadura, se tienen que considerar la utilización de empalmes mecánicos, ya que permiten disminuir la congestión al unir concéntricamente las barras de refuerzo (conector roscado) o disminuir la longitud de anclaje (anclaje terminator).

Para su utilización se debe hacer un estudio de la documentación técnica del tipo de conector ha utilizar, tomando en cuenta sus dimensiones geométricas y el espacio necesario alrededor de las barras para introducir las herramientas para la ejecución; además se debe considerar el costo asociado a este tipo de empalme.

Un elemento de conexión alternativo que sirve, en caso de las uniones de muros y de losas con muros, para dar continuidad a las armaduras sin tener que perforar los moldajes, ni picar el hormigón para sacar las armaduras, es el armabox (figura N° 20), que está constituido por una canaleta de plástico, en la cual van insertadas las armaduras elaboradas; está se fija al moldaje y se le coloca una especie de tapa antes del hormigonado, al desmoldar se retira la tapa que ha impedido que hormigón entre en contacto con las barras y se enderezan las armaduras, dejando los arranques completamente limpios de lechada [3].



Figura N° 20: Armabox [19]

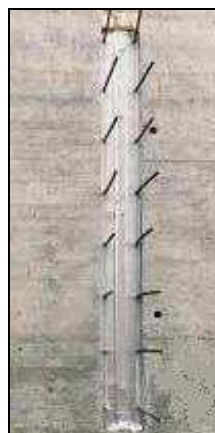


Figura N° 21: Arranques utilizando Armabox [19].

Este elemento se coloca rápidamente y tiene una fácil extracción del soporte, por lo cual es una buena alternativa para reducir los tiempos de anclaje en la obra.

### **3.2 Consideraciones Constructivas.**

Al hacer el análisis constructivo del uso de la armadura prefabricada se pueden identificar dos enfoques distintos, uno general, relacionado con el funcionamiento de la obra y uno más específico relacionado directamente con la modificación en la secuencia constructiva.

#### **3.2.1 Armadura prefabricada desde el punto de vista del desarrollo de la obra.**

Al utilizar la armadura prefabricada se tiene que analizar ciertos aspectos constructivos, ya que puede afectar el normal funcionamiento de algunas de las actividades de la obra, como su planificación o actividades de supervisión.

El uso de armadura prefabricada no es una condición que pueda alterar demasiado el desarrollo normal de una obra, ya que es una alternativa a la armadura in situ, por lo que otras actividades no debieran ser afectadas por su instalación.

La instalación de la armadura prefabricada debe realizarse de la misma manera que la armadura tradicional, aunque el trabajo en obra para esta armadura disminuye considerablemente en comparación con la in situ, ya que sólo se tiene que transportar la armadura con la grúa y atar las barras adicionales (de empalmes o de refuerzos).

El uso de la armadura prefabricada requiere un correcto chequeo antes de su instalación para evitar problemas en la obra; comprobar que los canastillos estén rígidos, es decir, con barras extras para mantener la forma de la estructura, ya que al momento de levantar los elementos con la grúa estos podrían deformarse y también verificar la capacidad de levante de la grúa para no exceder el límite permitido.

Con respecto a la planificación de la obra, ésta se cumple con menos inconvenientes, ya que no se depende de los enfierradores, materiales, maquinarias; los tiempos de colocación de la armadura son menores y los costos asociados a ésta son un poco mayores, pero se tiene una menor mano de obra trabajando lo que implica una menor administración de personal, esto es de gran ayuda cuando se tienen muchas personas trabajando en una obra, ya que se pueden tener problemas en la administración de los servicios básicos (baños, casino, lockers, etc.).

Otro punto a ser tomado en cuenta son las limitaciones del transporte, ya que no se pueden exceder las dimensiones ni peso máximo del camión, por lo cual se deben restringir el tamaño de las unidades de montajes; además si se realiza una buena planificación, la armadura puede ser utilizada inmediatamente no siendo necesario el almacenamiento o acopiándola por poco tiempo, esto es fundamental cuando se tienen obras con problemas de espacio, en donde no se cuentan con lugares para poder almacenar el material.

Si se utilizan conectores mecánicos, se deben tomar las consideraciones respectivas para tener un desarrollo óptimo, un ejemplo es si se utilizan conectores roscados se requiere una preparación especial de las barras de refuerzos, que consiste en la fabricación del hilo en sus extremos [21].

Una forma industrializada de realizar el atado de las armaduras es utilizar la máquina enfierradora Max, cuyo labor consiste en ajustar automáticamente el uso del alambre por amarra según el ancho de la enfierradura, apretar, torcer y cortarlo, sólo puede trabajar con barras entre 10 mm y 16 mm. [20].



Figura N° 22: Utilización máquina enfierradora automática

Los beneficios que entrega esta máquina son los siguientes [20]:

- Capaz de atar rápidamente.
- Disminuye la mano de obra en el atado de la armadura,
- Máquina liviana y compacta.
- No requiere mano de obra capacitada.

Esta máquina puede ser una opción para las empresas suministradoras de armadura prefabricada, ya que aumentaría su rendimiento en el amarre de la armadura; pero se tendría que hacer un estudio para validar la viabilidad económica de la máquina, ya que el costo de los repuestos de los alambres son bastante caros.

Para poder utilizar esta armadura se necesita un cambio en la coordinación entre la oficina de cálculo, la constructora y el proveedor de acero, ya que cuando se tienen revisiones en los planos de la estructura se necesita informar a tiempo de estos cambios al suministrador de acero, para que no se despachen canastillos equivocados; por lo cual se necesita una estrecha relación entre la oficina de cálculo y la suministradora de acero y es la constructora que tiene que hacer este papel, para tener informado al suministrador de acero ante cualquier cambio.

### 3.2.2 Modificación de la secuencia constructiva en el uso de la armadura prefabricada.

Al utilizar la armadura convencional se tiene una secuencia constructiva tradicional fija, en donde el ciclo constructivo que se realiza está limitado por la construcción de la losa y después los muros, siendo una tarea repetitiva en todos los pisos.

Esta secuencia constructiva puede cambiar al utilizar la armadura industrializada, dependiendo de la planificación y del tipo de proyecto; esta es más eficiente que la convencional, puesto que permite simultaneidad de tareas y con esto menores tiempos de construcción total de la obra. A continuación se analizarán dos construcciones que han utilizado la armadura prefabricada en Chile y han modificado su secuencia constructiva.

#### 1.- Edificio de gran altura.

Cuando se tiene un proyecto de un edificio de gran altura, con un diseño del núcleo central con hormigón, la armadura prefabricada es una buena herramienta para aumentar los rendimientos del ciclo constructivo de la obra, ya que se puede utilizar la armadura prefabricada para construir los muros del núcleo.

El cambio en la secuencia constructiva es más eficiente, porque primero se instalan y se hormigonan los muros prefabricados del núcleo del edificio y después se colocan las losas, con esto se disminuyen el tiempo del ciclo constructivo, ya que las losas tienen un tiempo mayor de confección e instalación que los muros, por lo cual se elabora el núcleo instalando los muros y unos pisos más abajo se van instalando las losas; todos los elementos estructurales se diseñan por piso.



Figura N° 23: Edificio de gran altura con núcleo central.

Para poder usar esta secuencia constructiva se necesita utilizar un sistema de moldaje de muros autotrepante, ya que al no tener losa como base se necesita una plataforma en donde trabajar y ubicar el material.

El sistema autotrepante (ver figura N° 23) funciona a través de gatos hidráulicos de 100 kN de capacidad, que permite mover los moldajes a una velocidad de 200 mm por minuto guiados por rieles hasta la siguiente posición de vaciado, por lo cual no requiere de la grúa para subir los moldajes [25]; además cuenta con tres plataformas de trabajo, una superior para las labores de hormigonado, una central para realizar las tareas propias del encofrado, instalación de la armadura y colocación de empalmes y finalmente una inferior donde se maneja el sistema hidráulico [6].

Además hay que señalar que para la instalación de las losas se deben dejar arranques en los muros del núcleo, para hacer el empalme con la losa.



Figura N° 24: Muro con arranques para la unión con la losa.

2.- Construcción de un Pipe Rack para una planta de hidrógeno.

Esta obra es una construcción para el montaje industrial de un sistema de cañerías, por lo cual su diseño sólo se basa en columnas y vigas, no utilizando losas. Esta construcción consta de 4 niveles y una altura de 10 m.

Antes de utilizar esta secuencia constructiva se hizo un estudio para comparar el sistema tradicional y el sistema con armadura prefabricada, los resultados obtenidos en los tiempos de construcción fueron 5 meses y 2,5 meses respectivamente (ver figura N° 25).

		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
<b>Sistema Tradicional</b>	Construcción fundaciones	■				
	Construcción columnas 1º a 4º etapa		■			
	Construcción vigas 1º a 4º nivel			■		
	Remates y entrega para montaje de cañerías y equipos				■	
<b>Sistema Prefabricado</b>	Construcción fundaciones	■				
	Prefabricación columnas 1º a 4º etapa	■				
	Montaje columnas y remate hormigón		■			
	Construcción vigas 1º a 4º nivel		■			
	Remates y entrega para montaje de cañerías y equipos			■		

Figura N° 25: Programa comparativo entre los sistemas constructivos.

El proyecto consistió en realizar la construcción de las zapatas y vigas de fundación in situ y al mismo tiempo prefabricar las columnas con arranques para las vigas en los 4 niveles, después se transportan las columnas con grúas de gran capacidad y se aploman (ver figura N° 26).





Figura N° 26: Columna prefabricada.

Posteriormente, se tejen las vigas superiores, mientras se hormigona la parte inferior de las columnas y finalmente se moldean y concretan las vigas superiores in situ, varios niveles al mismo tiempo, finalizando el proceso de construcción.

Al utilizar esta secuencia constructiva se tiene una reducción del tiempo de construcción de un 50%, lo que es un gran beneficio cuando se tienen proyectos industriales en donde el tiempo es un factor predominante para el diseño.

#### **4.- PROPOSICIONES DE DETALLAMIENTOS CONSTRUCTIVOS.**

Al utilizar la armadura prefabricada los detallamientos constructivos cambian, ya que se tienen que unir las unidades de montaje completas, por lo cual se debe tener sumo cuidado con los empalmes para que no hayan problemas de congestión con la armadura entre los elementos y además considerar que los empalmes se realizan por piso, teniendo una mayor longitud.

En este capítulo, se analiza la disposición de la armadura prefabricada en los elementos estructurales de hormigón armado, en donde se designan los casos M a las recomendaciones respecto a muros y encuentros de muros, los casos VM a los encuentros de vigas con muros y casos VC a las recomendaciones para los encuentros de viga columna.

Dentro de los detalles seleccionados se encuentran:

- Muros (Casos M):
  - Unión de muros
  - Encuentro de muros en "L", "T" y en cruz.
  - Ensamble vertical de muro.
- Columna (Caso C):
  - Ensamble vertical de columna.
- Encuentro de viga con muro (Casos VM):
  - Encuentro de viga con muro en el mismo plano cuando la viga tiene espesor igual y menor que el muro.
  - Encuentro perpendicular de viga con muro.
- Encuentro de viga con columna (Casos VC):
  - Encuentros de viga con columna interior, exterior y esquina.

Para cada detallamiento se hace una descripción general, identificando los aspectos relevantes a considerar y dando algunas recomendaciones para la disposición de la armadura.

## **Caso M1: Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros.**

### **Descripción general:**

Al utilizar la armadura prefabricada, está permite dividir un muro en varias unidades de montajes, dependiendo de la dimensión del elemento.

Para poder realizar la unión entre los muros se debe considerar que la armadura horizontal trabaja al corte, por lo cual está se debe anclar mediante ganchos, para transmitir la totalidad de los esfuerzos y producir una continuidad en el muro. En el dibujo correspondiente a éste caso, se presenta la alternativa para la unión de las unidades de montaje.

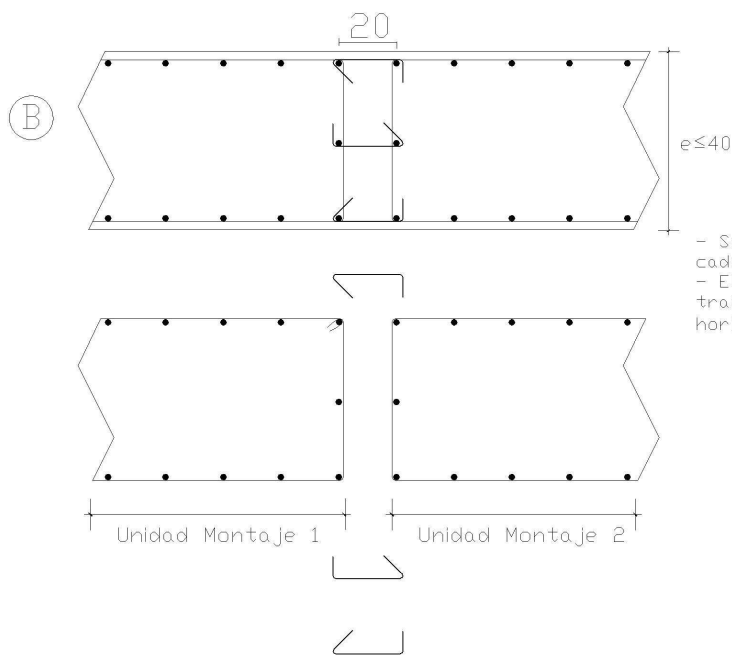
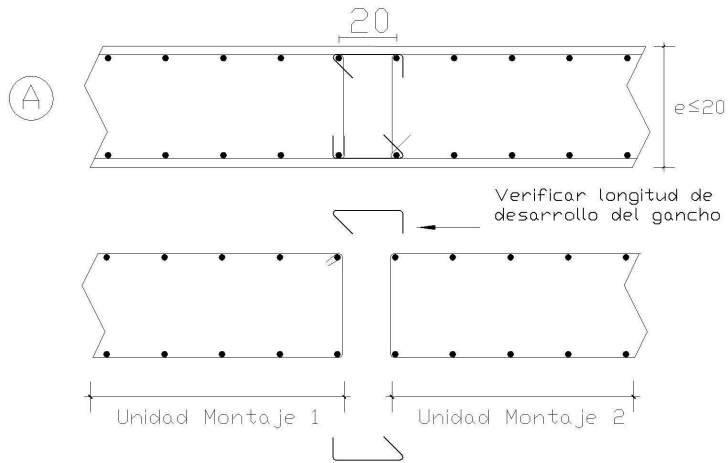
Este tipo de detallamiento se puede utilizar en estructuras de hormigón armado que tengan muros de una longitud considerable, para al menos utilizar dos unidades de montajes por muro; además proyectos en donde el tiempo es un factor importante, ya que al utilizar este tipo de muro, el tiempo de instalación disminuye considerablemente, ya que sólo se tiene que subir el muro y colocar las trabas correspondientes, para posteriormente colocar el moldaje y hormigonar.

### **Comentarios al respecto:**

- Dependiendo del espesor del muro, se pueden colocar armaduras verticales complementarias espaciadas aproximadamente a 20 cm, para que exista una mejor transmisión de esfuerzos. En cada línea de armadura vertical se deben colocar una traba.
- El espaciamiento entre las unidades de montajes se debe considerar igual a 20 cm y el diámetro de las trabas debe ser igual a la malla horizontal con un máximo de  $\phi 16$ , si la malla horizontal tiene un diámetro mayor a  $\phi 16$ , se tienen que colocar dos trabas, las cuales en conjunto tengan un área mayor o igual al diámetro de la malla horizontal.
- Tener en cuenta las limitaciones del transporte y carga de la grúa para elegir las dimensiones de los muros.

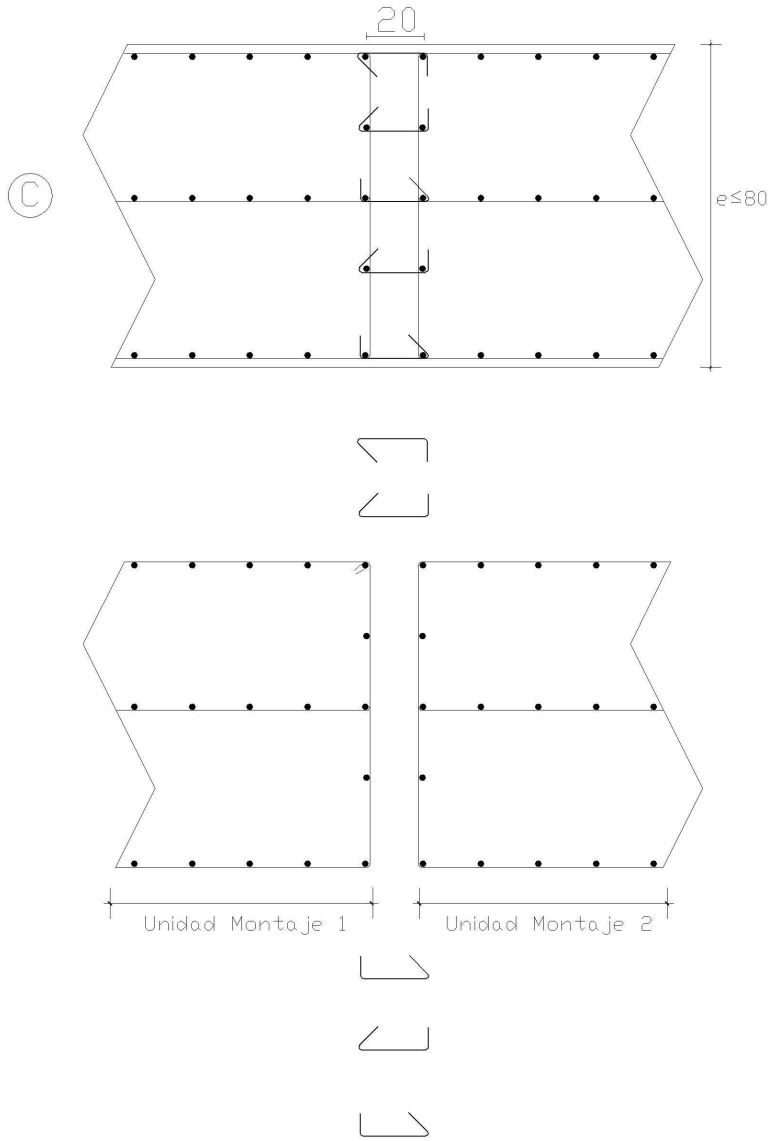
# CASO M1

## Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros



- Se deberá colocar una traba por cada línea de armadura vertical.
- El diametro y separación de las trabas debera ser igual a la malla horizontal, con diametro máximo  $\phi 16$ .

CASO M1	Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros
---------	---



## **Caso M2: Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros en “L”.**

### **Descripción general:**

Al utilizar la armadura prefabricada, está permite hacer el encuentro de muros en “L” de dos maneras, la primera es llevar la intersección de muros armada de fábrica lista para ser instalada, y la otra es utilizar dos unidades de montajes, donde el anclaje de las barras horizontales de ambos muros se realiza en el mismo sector entregando un buen confinamiento a las barras verticales ubicadas en el encuentro.

Cada alternativa dependerá del diseño del proyecto, ya que al utilizar un muro en “L” armado se tiene un mayor peso y volumen al transportarlo, pero un menor tiempo al instalarlo, y al llevar dos unidades de montajes se tiene un menor peso y volumen, pero su tiempo de instalación es mayor.

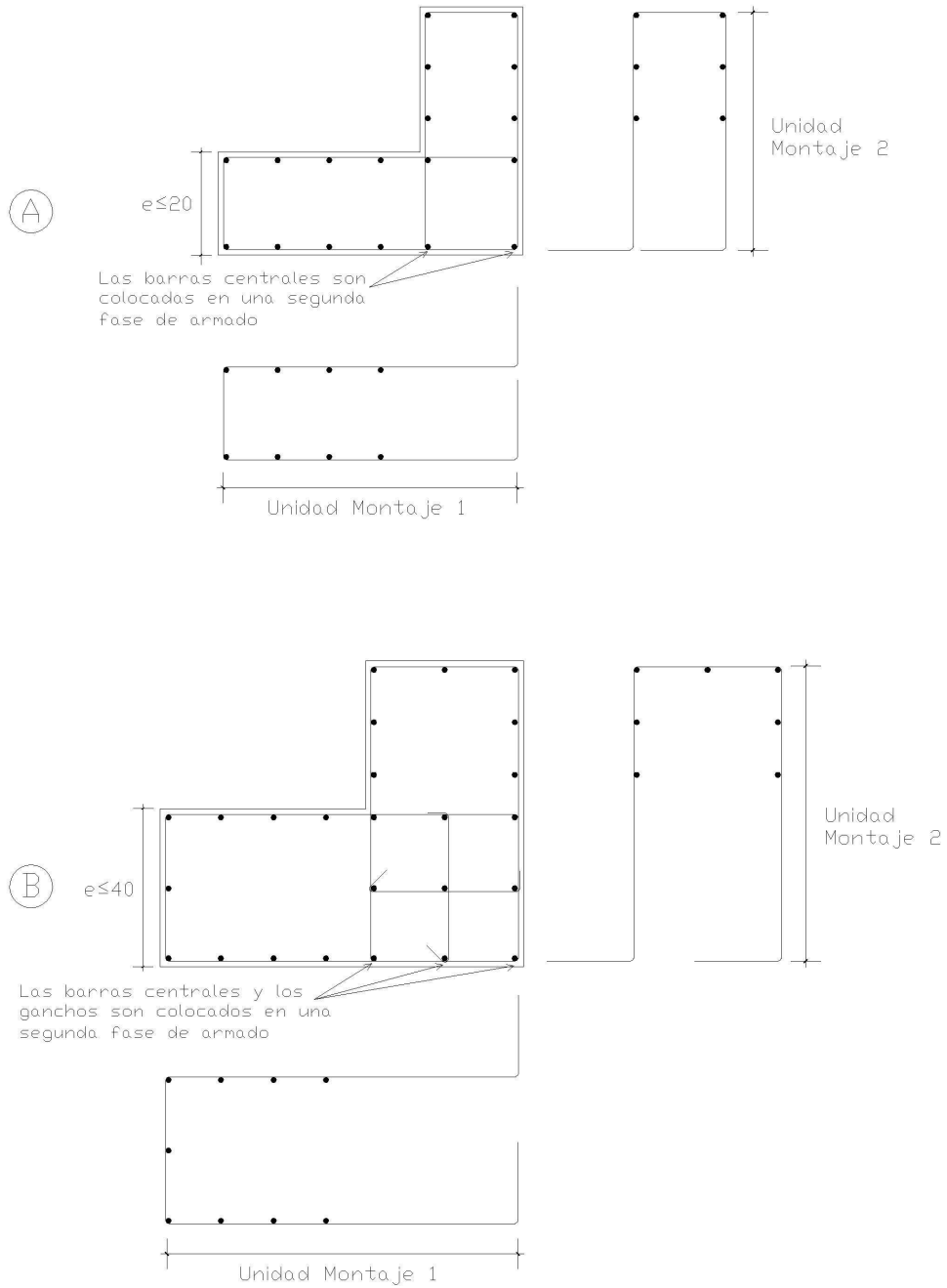
Este tipo de detallamiento se puede utilizar en estructuras de hormigón armado que tengan muros en “L” y muros de una longitud considerable, para utilizar al menos dos unidades de montajes en uno de los muros, usando la unión descrita en el caso M1; además proyectos en donde el tiempo es un factor importante, ya que al utilizar este tipo de muro, el tiempo de instalación disminuye considerablemente, ya que sólo se tiene que subir el muro y amarrar los anclajes si es el caso del encuentro con dos unidades de montaje, para su posterior unión con otros muros y finalmente colocar el moldaje y hormigonar.

### **Comentarios al respecto:**

- Al diseñar el encuentro de muros en “L”, se deben considerar muros de pequeña longitud, para facilitar el transporte e instalación.
- Dependiendo del espesor del muro, se pueden colocar armaduras verticales complementarias en el encuentro de los muros para un mejor anclaje mediante trabas.
- Tener en cuenta las limitaciones del transporte y carga de la grúa para elegir las dimensiones de los muros.

## CASO M2

## Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros en "L"



### **Caso M3: Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros en “T”.**

#### **Descripción general:**

Al utilizar la armadura prefabricada, está permite hacer el encuentro de muros en “T” de dos maneras, la primera es llevar el encuentro de muros armado de fábrica lista para ser instalada, y la otra es utilizar dos unidades de montajes, donde el anclaje de las barras horizontales de un muro se ancla a la otra unidad de montaje.

Cada alternativa dependerá del diseño del proyecto, ya que al utilizar un muro en “T” armado se tiene un mayor peso y volumen al transportarlo, pero un menor tiempo al instalarlo, y al llevar dos unidades de montajes se tiene un menor peso y volumen, pero su tiempo de instalación es mayor.

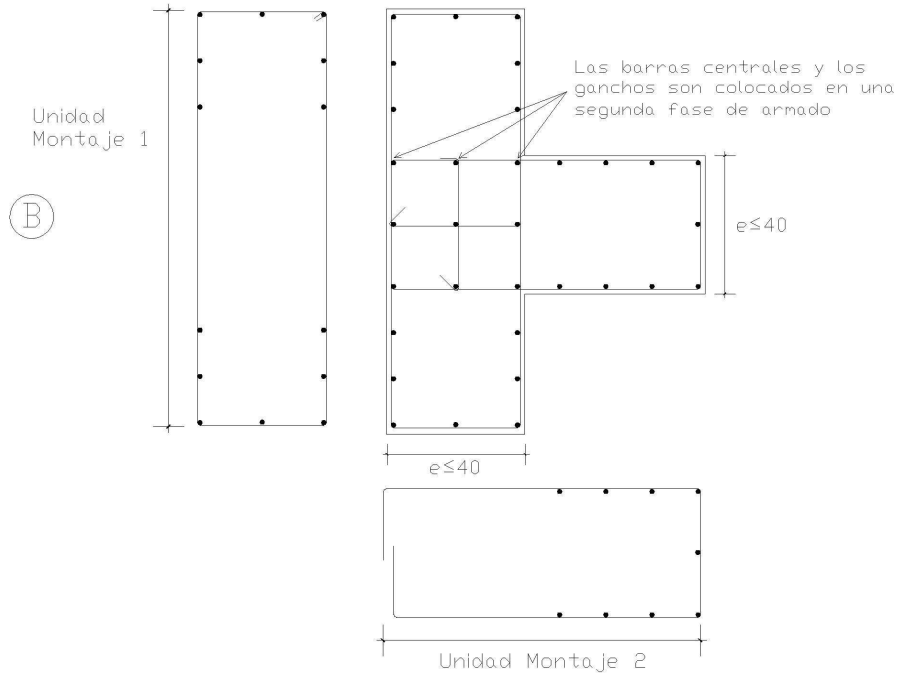
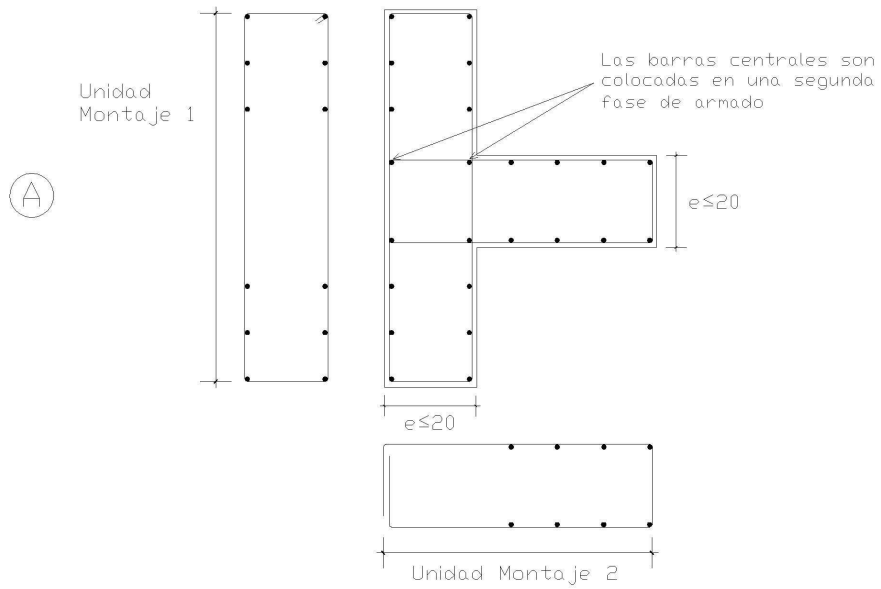
Este tipo de detallamiento se puede utilizar en estructuras de hormigón armado que tengan muros en “T” y muros de una longitud considerable, para utilizar al menos dos unidades de montajes un uno de los muros, usando la unión descrita en el caso M1; además proyectos en donde el tiempo es un factor importante, ya que al utilizar este tipo de muro, el tiempo de instalación disminuye considerablemente, ya que sólo se tiene que subir el muro y amarrar los anclajes si es el caso del encuentro con dos unidades de montaje, para su posterior unión con otros muros y finalmente colocar el moldaje y hormigonar.

#### **Comentarios al respecto:**

- Al diseñar el encuentro de muros en “T”, se deben considerar muros de pequeña longitud, para facilitar el transporte e instalación.
- Dependiendo del espesor del muro, se pueden colocar armaduras verticales complementarias en el encuentro de los muros para un mejor anclaje mediante trabas.
- Tener en cuenta las limitaciones del transporte y carga de la grúa para elegir las dimensiones de los muros.



CASO M3	Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros en "T"
---------	--



## **Caso M4: Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros en cruz.**

### **Descripción general:**

Al utilizar la armadura prefabricada para este tipo de unión, hay que considerar que la armadura horizontal debe atravesar el encuentro en forma continua, por lo cual la mejor opción, es llevar el encuentro de muros armado de fábrica lista para ser instalada, ya que si se materializa en tres unidades de montaje se tiene una excesiva congestión de acero o si se realiza con un encuentro en "T" y una unidad de montaje la instalación sería poco óptima, ya que convendría traer el encuentro de muros listo.

Al utilizar esta alternativa, se tiene un mayor peso y volumen al transportarlo, pero el tiempo de instalación es mucho menor.

Este tipo de detallamiento se puede utilizar en estructuras de hormigón armado que tengan muros en cruz y muros de una longitud considerable, para utilizar al menos dos unidades de montajes un uno de los muros, usando la unión descrita en el caso M1; además proyectos en donde el tiempo es un factor importante, ya que al utilizar este tipo de muro, el tiempo de instalación disminuye considerablemente, ya que sólo se tiene que subir el muro, para su posterior unión con otros muros y finalmente colocar el moldaje y hormigonar.

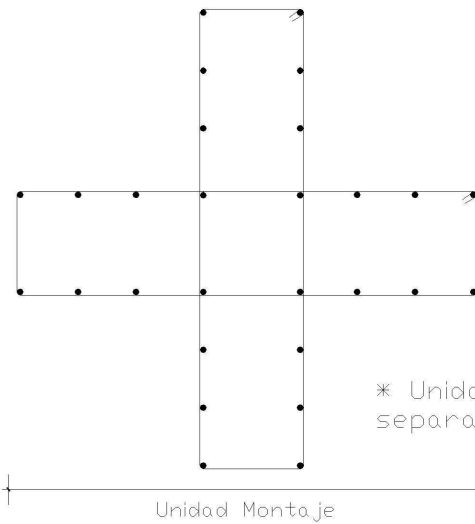
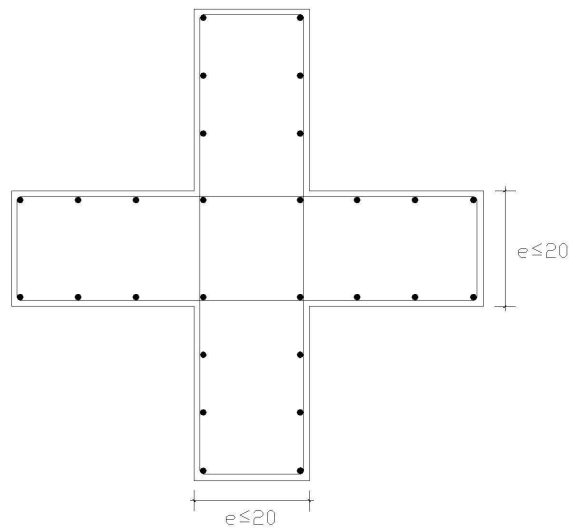
### **Comentarios al respecto:**

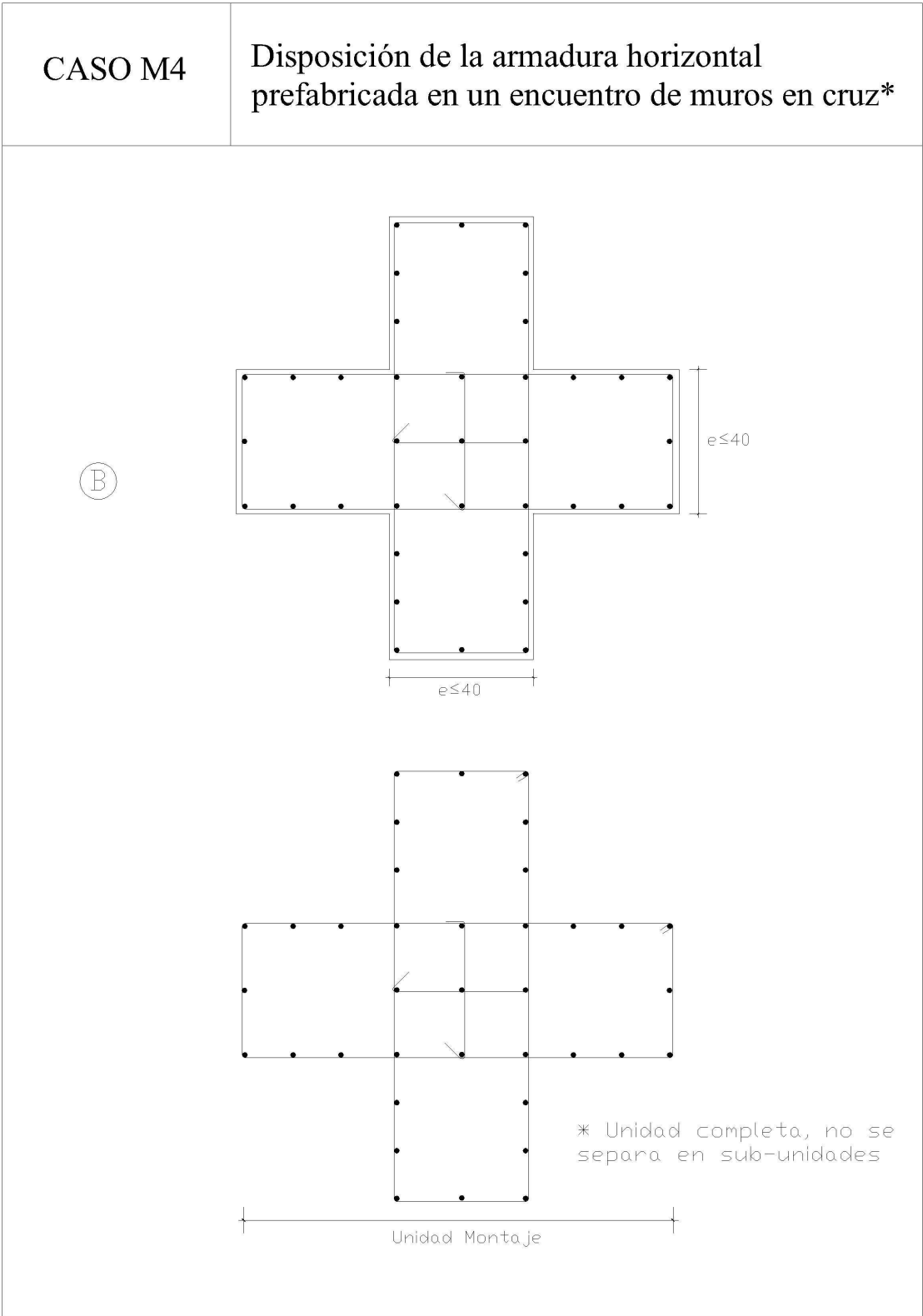
- Al diseñar el encuentro de muros en cruz, se deben considerar muros de pequeña longitud, para facilitar el transporte e instalación.
- Dependiendo del espesor del muro, se pueden colocar armaduras verticales complementarias en el encuentro de los muros para un mejor anclaje mediante trabas.
- Tener en cuenta las limitaciones del transporte y carga de la grúa para elegir las dimensiones de los muros.

CASO M4

Disposición de la armadura horizontal prefabricada en un encuentro de muros en cruz\*

Ⓐ





## **Caso M-C: Disposición de la armadura vertical prefabricada en muros y columnas.**

### **Descripción general:**

Una de las características de la armadura prefabricada es que el diseño de los elementos se realiza por piso, por lo cual en las armaduras verticales de muros y columnas se tienen empalmes por traslapeo clase B (1.3 I<sub>d</sub>), ya que se están empalmando el 100% de las barras en el mismo lugar.

Para poder realizar la unión vertical entre los muros o columnas, se tiene que considerar en la parte superior de la armadura un pequeño dobléz (cuello botella), de tal manera que encaje con la unidad de montaje superior. En el dibujo correspondiente a éste caso, se presenta la alternativa para el ensamblaje de la armadura vertical.

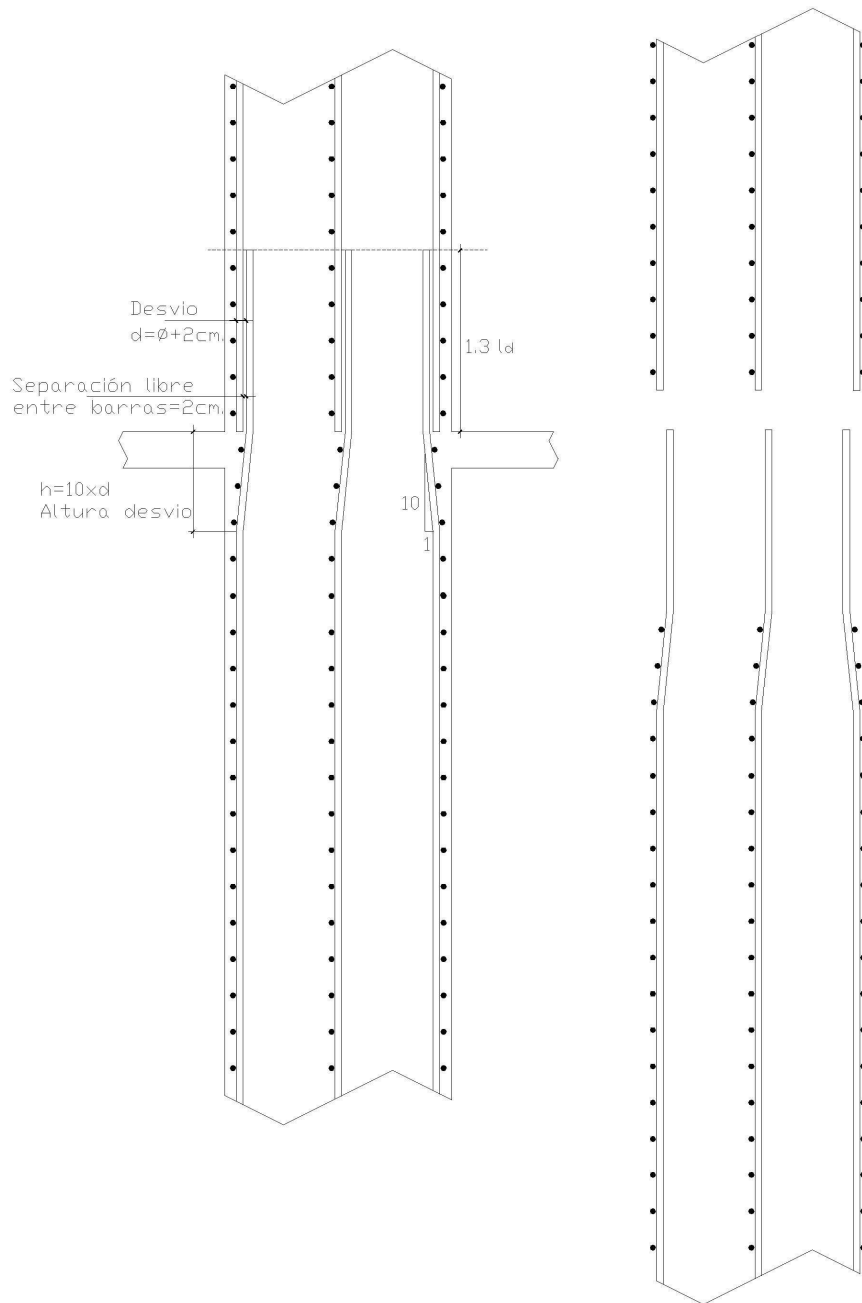
Este tipo de detallamiento se puede utilizar para cualquier estructura de hormigón armado en altura; además proyectos en donde el tiempo es un factor importante, ya que al utilizar este tipo de muro, el tiempo de instalación disminuye considerablemente, ya que sólo se tiene que subir la unidad de montaje, para su moldaje y hormigonado y después ensamblar el muro siguiente, siendo un trabajo cíclico.

### **Comentarios al respecto:**

- El espaciamiento entre las barras al ensamblar debe ser igual a 2 cm.
- Al realizar la unión vertical, se debe considerar colocar los arranques para anexar las losas, si corresponde.
- Si existe un cambio de espesor en los muros entre un piso y otro, sólo se debe realizar un desvío con una mayor pendiente.
- Tener en cuenta las limitaciones del transporte y carga de la grúa para elegir las dimensiones de los muros.

CASO M-C

Disposición de la armadura vertical prefabricada en muros y columnas



## **Caso VM1: Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga con muro en un mismo plano. Caso de viga y muro de igual espesor.**

### **Descripción general:**

Al utilizar la armadura prefabricada para este tipo de unión, no se tiene ninguna diferencia con la unión in situ, ya que la viga prearmada se ensambla al muro anclando las barras longitudinales de la viga en él para asegurar que se produzca el empotramiento entre ambos.

Si se tiene el caso de un muro pequeño, en donde la longitud de desarrollo de la viga no se logra; para este caso no se puede utilizar armadura prefabricada, ya que no se puede ensamblar la viga con los ganchos, pues se tendrían problemas de instalación al topar las barras.

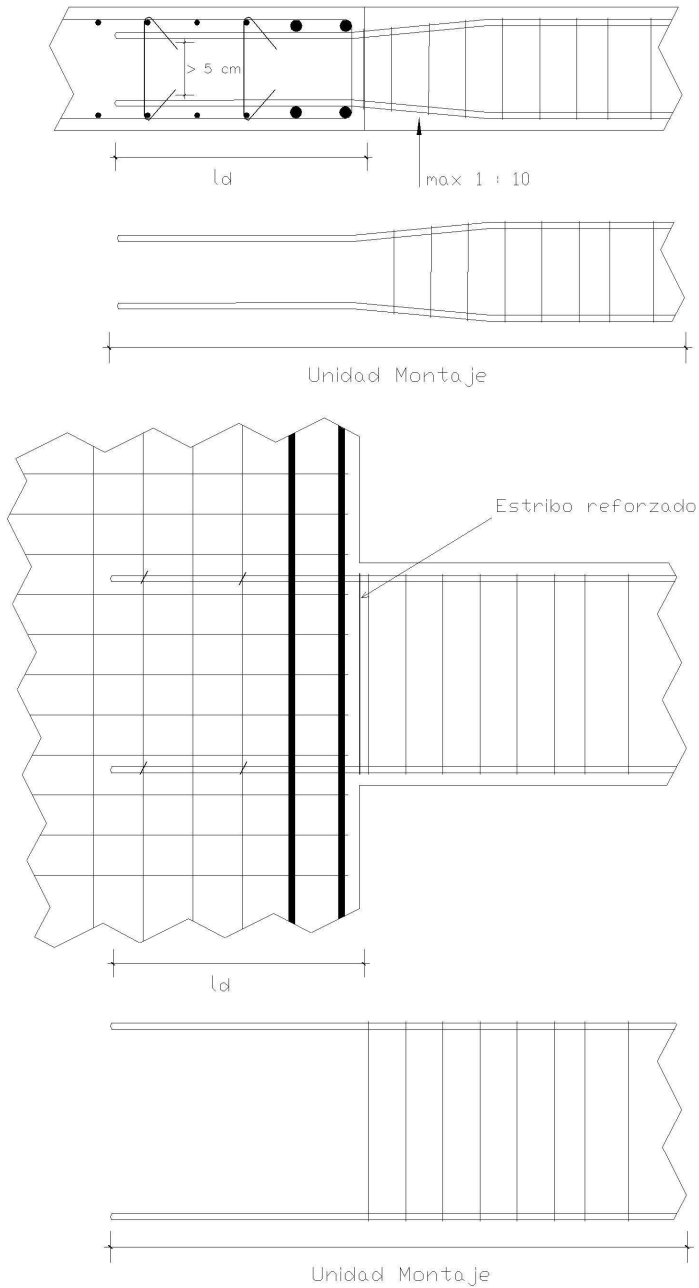
Este tipo de detallamiento se puede utilizar en estructuras de hormigón armado que tengan muros con una longitud suficiente que permitan la longitud de desarrollo de la viga, además proyectos en donde el tiempo es un factor importante, ya que al utilizar este tipo de elementos, el tiempo de instalación disminuye considerablemente, ya que sólo se tiene que subir el muro y la viga, para su ensamblaje.

### **Comentarios al respecto:**

- Al diseñar el muro, hay que considerar su longitud, para lograr el correcto anclaje de la viga.
- Tener en cuenta las limitaciones del transporte y carga de la grúa para elegir las dimensiones de los elementos.
- Considerar un espacio mínimo de 5 cm entre las barras longitudinales de la viga entrando en el muro, para no tener problemas al vibrar el hormigón.

CASO VM1

Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga con muro en un mismo plano. Caso de viga y muro de igual espesor.



Planta

Elevación



## **Caso VM2: Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga con muro en un mismo plano. Caso de viga de menor espesor que el muro.**

### **Descripción general:**

Al utilizar la armadura prefabricada para este tipo de unión, se tienen dos casos, dependiendo del largo del muro.

Cuando se tiene un muro, donde la longitud de desarrollo de la viga se alcanza, no se tiene ninguna diferencia con la unión in situ, ya que la viga prearmada se ensambla al muro anclando las barras longitudinales de la viga en él para asegurar que se produzca el empotramiento entre ambos.

Si se tiene el caso de un muro pequeño, en donde la longitud de desarrollo de la viga no se logra; se tienen que utilizar barras complementarias con ganchos para el anclaje, éstas se anexan a la viga al momento de instalarla, con esto no se tienen problemas con topes de barras y es un método bastante rápido y sencillo, ya que se instala la viga inmediatamente, colocando las barras de anclaje.

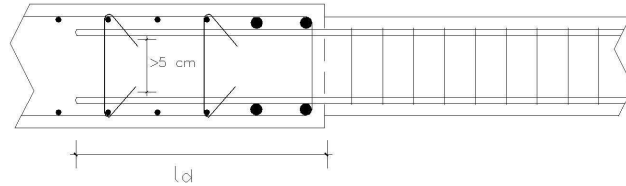
Este tipo de detallamiento se puede utilizar en estructuras de hormigón armado que tengan muros y vigas, además proyectos en donde el tiempo es un factor importante, ya que al utilizar este tipo de elementos, el tiempo de instalación disminuye considerablemente, ya que sólo se tiene que subir el muro y la viga, para su ensamblaje, colocando las barras de anclaje si corresponde.

### **Comentarios al respecto:**

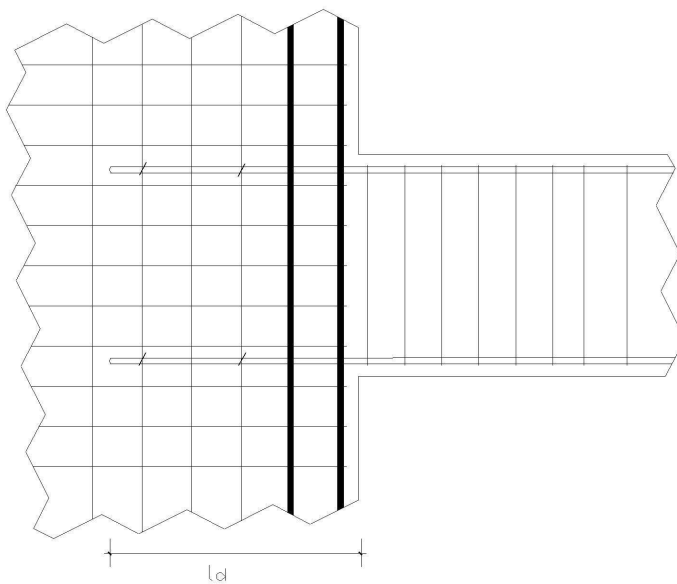
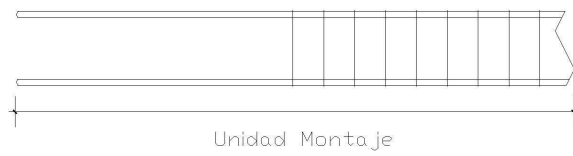
- Al diseñar el muro, hay que considerar su longitud, para lograr el correcto anclaje de la viga.
- Tener en cuenta las limitaciones del transporte y carga de la grúa para elegir las dimensiones de los elementos.
- Considerar un espacio mínimo de 5 cm entre las barras longitudinales de la viga entrando en el muro, para no tener problemas al vibrar el hormigón.

CASO VM2-1

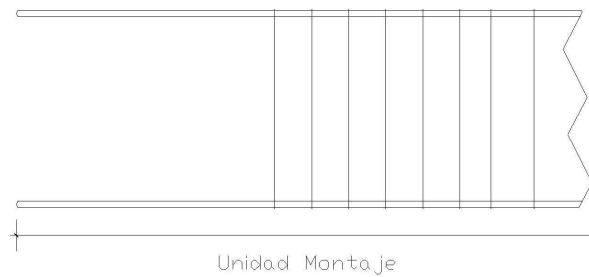
Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga con muro en un mismo plano. Caso de viga de menor espesor que el muro.



Planta

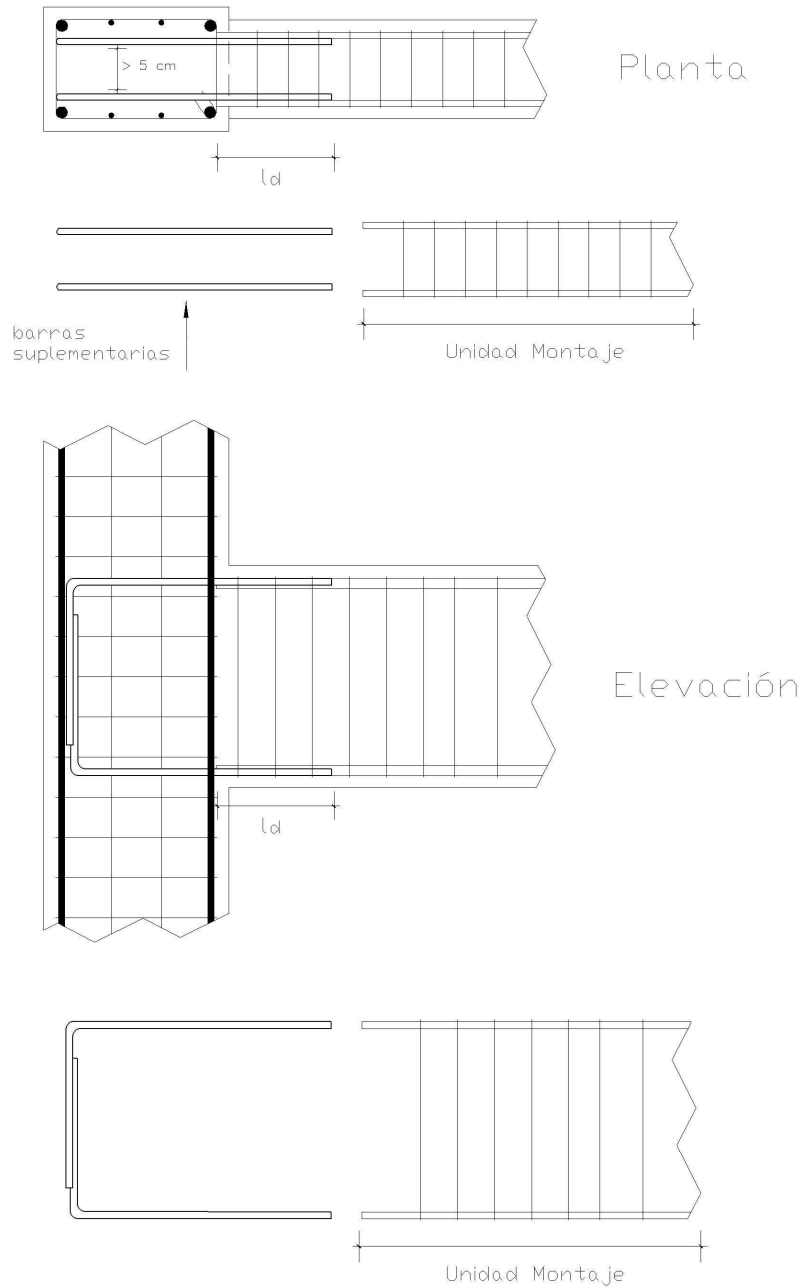


Elevación



CASO VM2-2

Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga con muro en un mismo plano. Caso de viga de menor espesor que el muro.



### **Caso VM3: Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro perpendicular de viga con la parte central de un muro.**

#### **Descripción general:**

Al utilizar la armadura prefabricada para este tipo de unión, se tienen que considerar que el largo de anclaje de las barras longitudinales de la viga es bastante reducido, restringiéndose sólo al espesor del muro.

Para este caso se tienen que utilizar barras complementarias con ganchos para el anclaje, éstas se anexan a la viga al momento de instalarla, con esto no se tienen problemas con topes de barras y es un método bastante rápido y sencillo, ya que se instala la viga inmediatamente, colocando las barras de anclaje.

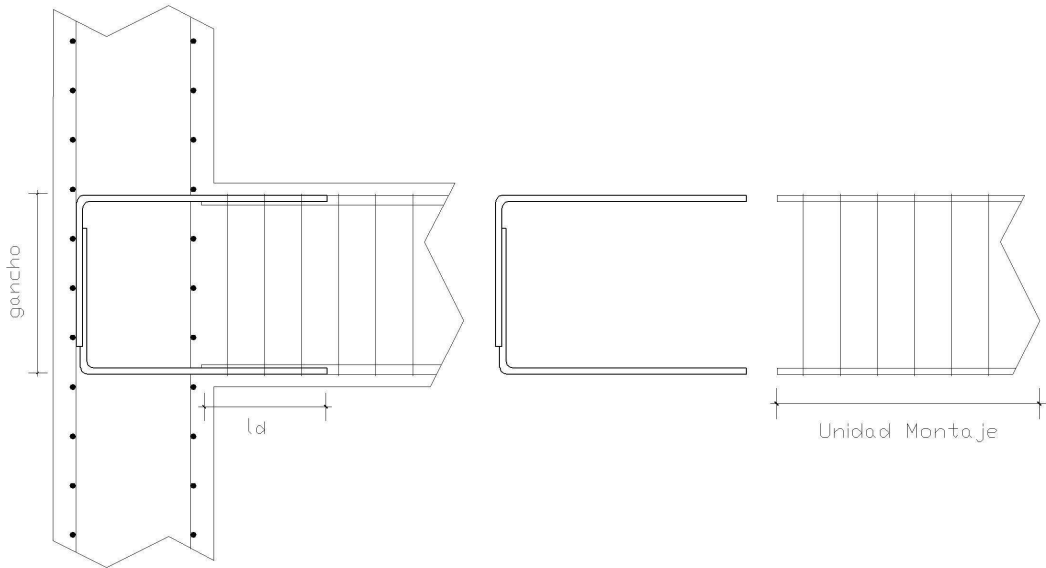
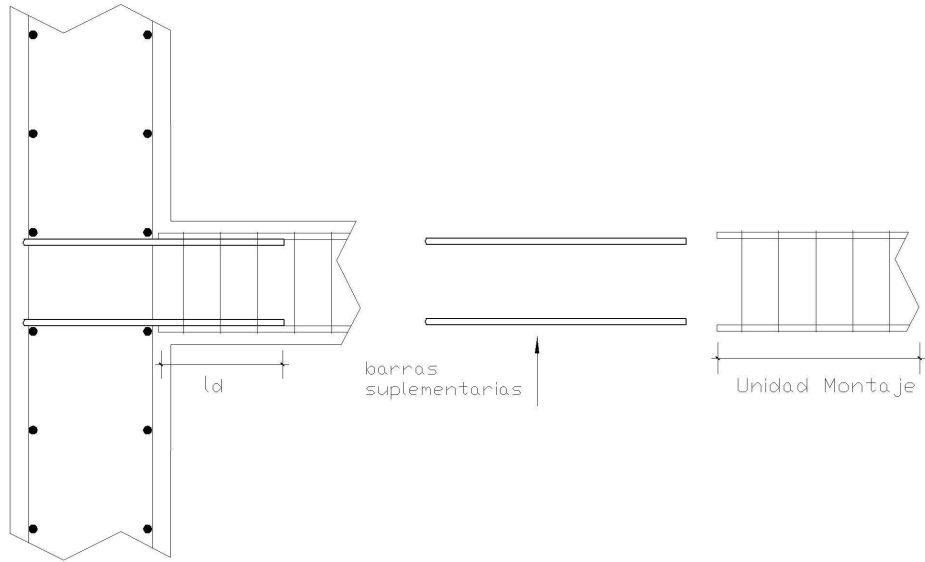
Este tipo de detallamiento se puede utilizar en estructuras de hormigón armado que tengan muros y vigas, además proyectos en donde el tiempo es un factor importante, ya que al utilizar este tipo de elementos, el tiempo de instalación disminuye considerablemente, ya que sólo se tiene que subir el muro y la viga, para su ensamblaje, colocando las barras de anclaje.

#### **Comentarios al respecto:**

- Tener en cuenta las limitaciones del transporte y carga de la grúa para elegir las dimensiones de los elementos.
- Considerar un espacio mínimo de 5 cm entre las barras longitudinales de la viga entrando en el muro, para no tener problemas al vibrar el hormigón.

CASO VM3

Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro perpendicular de viga con la parte central de un muro.



## **Caso VC1: Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga columna interior con viga de menor tamaño que la columna.**

### **Descripción general:**

Cuando se realiza este encuentro, se tienen cuatro vigas que concurren a una misma columna. Al utilizar la armadura prefabricada para este tipo de unión, se tienen que considerar cinco unidades de montaje, donde las vigas son ancladas mediante barras complementarias. Estas barras se anexan a la viga al momento de instalarla, con esto no se tienen problemas con topes de barras y es un método bastante rápido y sencillo, ya que se instala la viga inmediatamente, colocando las barras de anclaje.

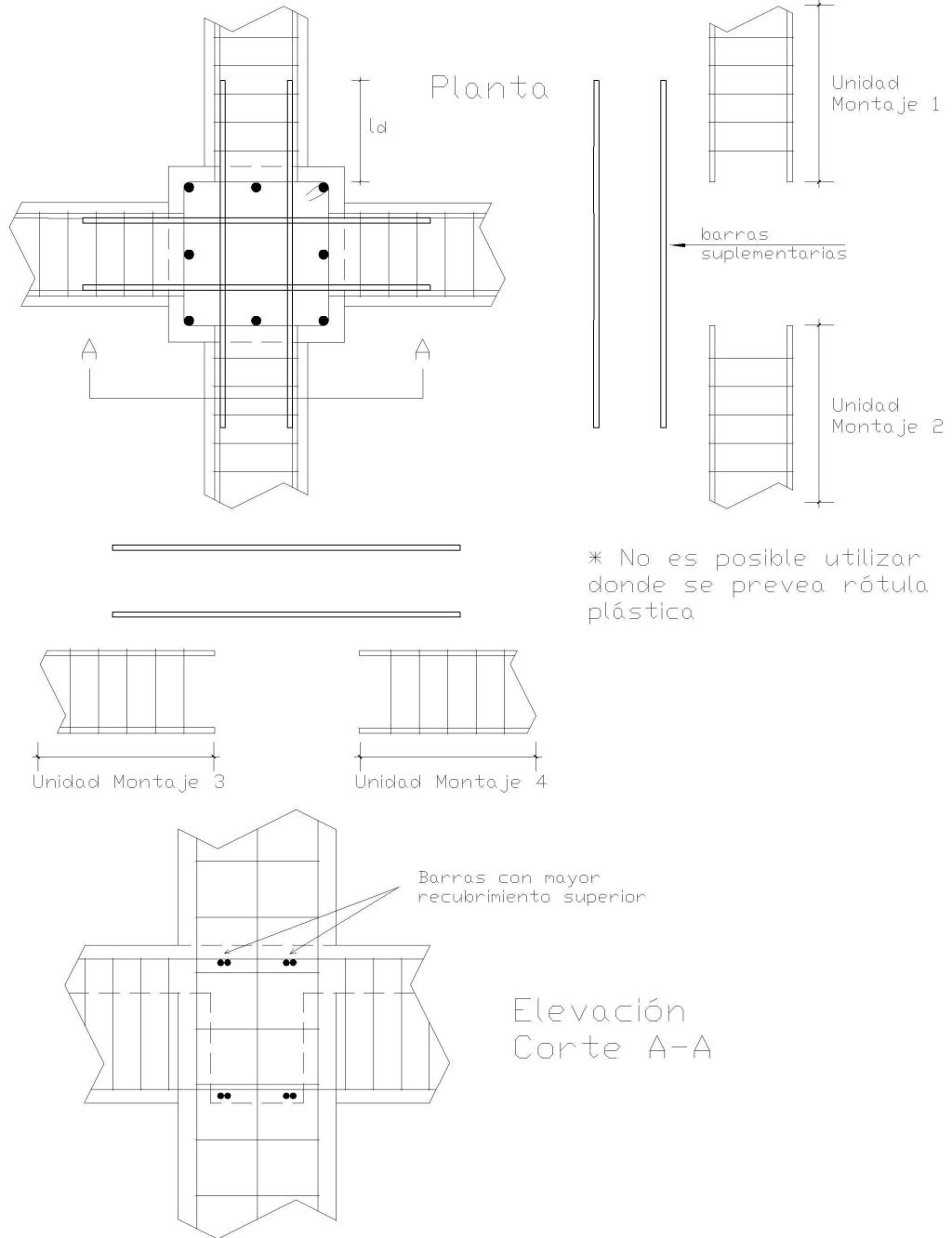
Este tipo de detallamiento se puede utilizar en estructuras de hormigón armado que tengan columnas y vigas, además proyectos en donde el tiempo es un factor importante, ya que al utilizar este tipo de elementos, el tiempo de instalación disminuye considerablemente, ya que sólo se tiene que subir el muro y las vigas, para su ensamblaje, colocando las barras de anclaje.

### **Comentarios al respecto:**

- Tener en cuenta las limitaciones del transporte y carga de la grúa para elegir las dimensiones de los elementos.
- Para que no existan problemas en el paso de las barras complementarias longitudinales, se tiene que dar un mayor recubriendo superior a una de las vigas y también se pueden dar diferentes alturas a las vigas que se cruzan perpendicularmente

CASO VC1

Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga columna interior con viga de menor tamaño que la columna\*



## **Caso VC2: Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga columna exterior.**

### **Descripción general:**

Cuando se realiza este encuentro, se tienen tres vigas perpendicularmente que concurren a una misma columna. Al utilizar la armadura prefabricada para este tipo de unión, se tienen que considerar cuatro unidades de montaje, donde las vigas son ancladas mediante barras complementarias, unas rectas y otras con ganchos. Estas barras se anexan a la viga al momento de instalarla, con esto no se tienen problemas con topes de barras y es un método bastante rápido y sencillo, ya que se instala la viga inmediatamente, colocando las barras de anclaje.

Este tipo de detallamiento se puede utilizar en estructuras de hormigón armado que tengan columnas y vigas, además proyectos en donde el tiempo es un factor importante, ya que al utilizar este tipo de elementos, el tiempo de instalación disminuye considerablemente, ya que sólo se tiene que subir el muro y las vigas, para su ensamblaje, colocando las barras de anclaje.

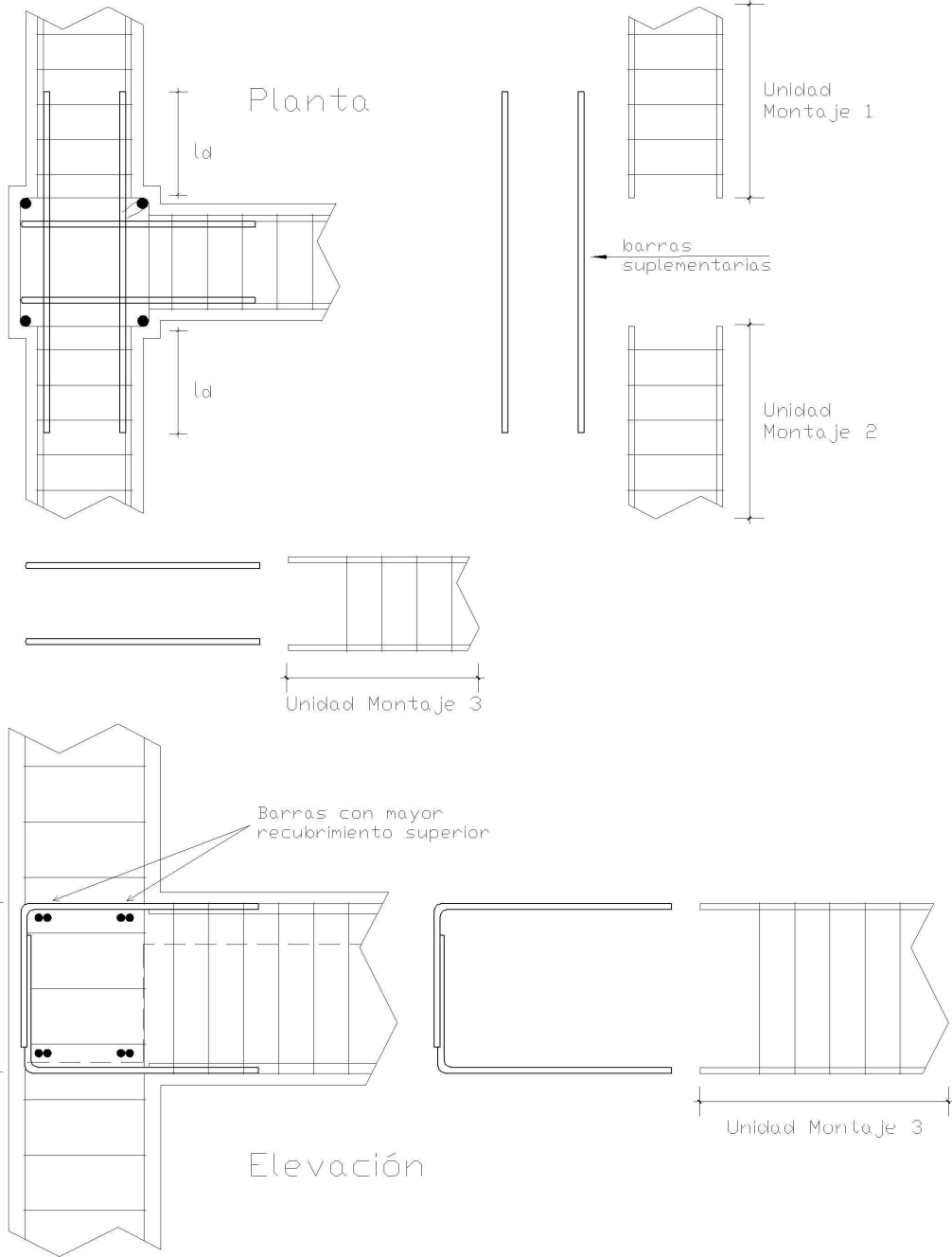
### **Comentarios al respecto:**

- Tener en cuenta las limitaciones del transporte y carga de la grúa para elegir las dimensiones de los elementos.
- Para que no existan problemas en el paso de las barras complementarias longitudinales, se tiene que dar un mayor recubriendo superior a una de las vigas y también se pueden dar diferentes alturas entre la viga interior y las perimetrales.



CASO VC2

Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga columna exterior



### **Caso VC3: Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga columna de esquina.**

#### **Descripción general:**

Cuando se realiza este encuentro, se tienen dos vigas que concurren a una misma columna. Al utilizar la armadura prefabricada para este tipo de unión, se tienen que considerar tres unidades de montaje, donde las vigas son ancladas mediante barras complementarias con ganchos. Estas barras se anexan a la viga al momento de instalarla, con esto no se tienen problemas con topes de barras y es un método bastante rápido y sencillo, ya que se instala la viga inmediatamente, colocando las barras de anclaje.

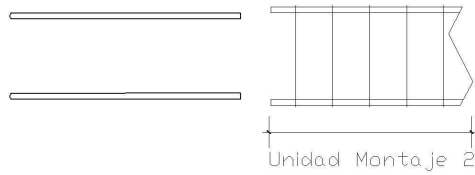
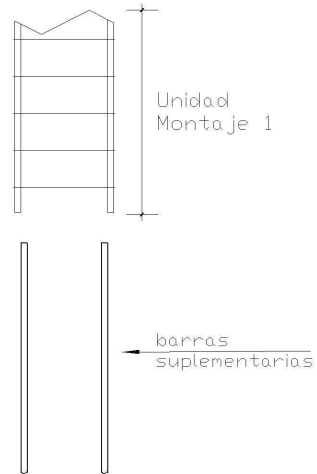
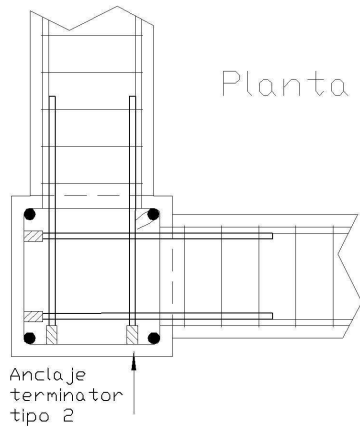
Este tipo de detallamiento se puede utilizar en estructuras de hormigón armado que tengan columnas y vigas, además proyectos en donde el tiempo es un factor importante, ya que al utilizar este tipo de elementos, el tiempo de instalación disminuye considerablemente, ya que sólo se tiene que subir el muro y las vigas, para su ensamblaje, colocando las barras de anclaje.

#### **Comentarios al respecto:**

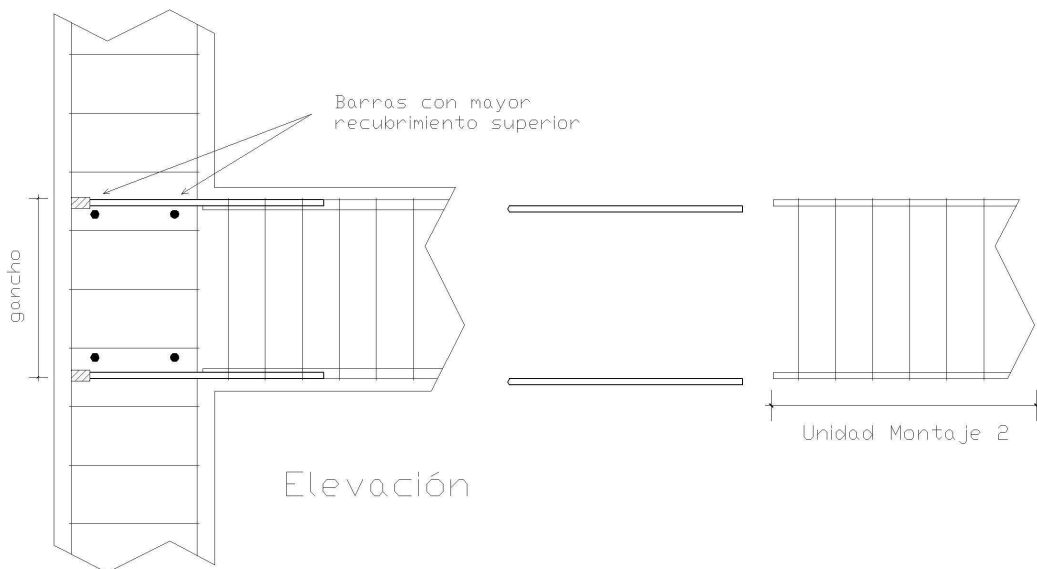
- Tener en cuenta las limitaciones del transporte y carga de la grúa para elegir las dimensiones de los elementos.
- Para que no existan problemas en el paso de las barras complementarias longitudinales, se tiene que dar un mayor recubriendo superior a una de las vigas y también se pueden dar diferentes alturas entre las vigas.

### CASO VC3

### Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga columna de esquina\*

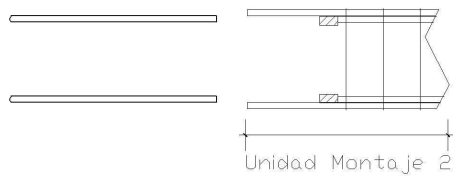
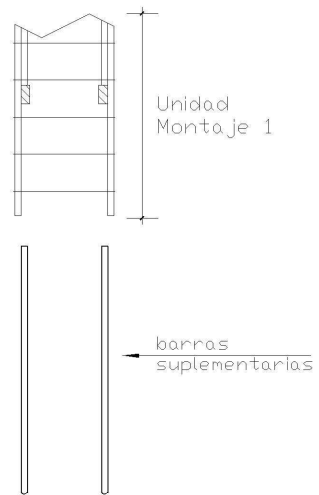
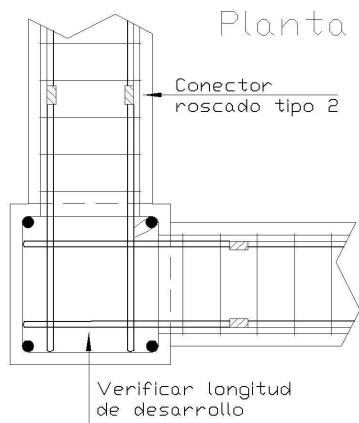


\* No es posible utilizar donde se prevea rótula plástica

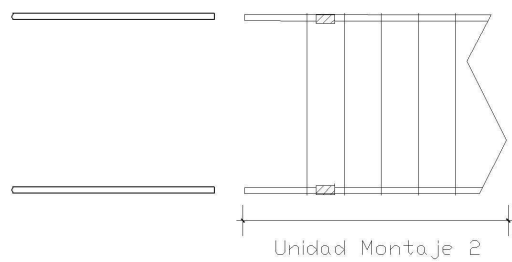
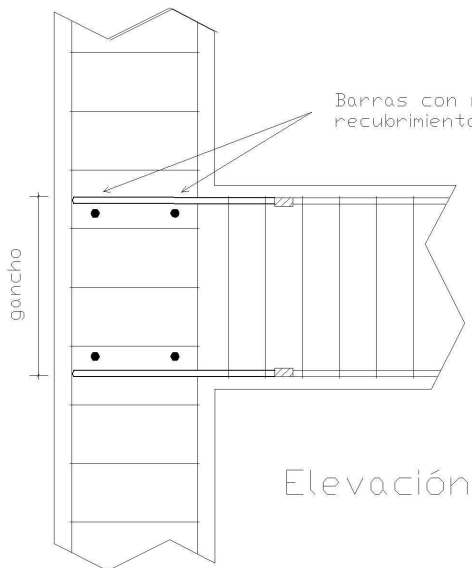


# CASO VC3

## Disposición de la armadura prefabricada en un encuentro de viga columna de esquina\*



\* No es posible utilizar donde se prevea rótula plástica



## **5.- EVALUACION ECONOMICA DEL USO DE LA ARMADURA PREFABRICADA.**

La utilización de la armadura prefabricada en estructuras de hormigón armado es una decisión conjunta entre los tres principales participantes en el proyecto, como son el ingeniero estructural, la empresa constructora y el mandante.

Para realizar el análisis hay que considerar varias variables que afectan desde el punto de vista económico. Estas corresponden a tres puntos de vistas distintos: el punto de vista estructural, relacionado al cambio de detallamientos constructivos y la seguridad de la estructura; el punto de vista constructivo, enfocado a los costos directos de la construcción y el punto de vista del mandante, relacionado con sus intereses respecto al ahorro de tiempo en la construcción de la obra.

En el presente capítulo se detallan las principales variables desde el punto de vista estructural, constructivo y del mandante, y que son determinantes para la utilización de la armadura prefabricada en estructuras de hormigón armado.

### **5.1 Análisis económico desde el punto de vista estructural.**

Al hacer el análisis estructural, el uso de la armadura prefabricada modifica en cierta forma los diseños convencionales, ya que se deben utilizar nuevos detallamientos constructivos y tener presente las consideraciones técnicas; por lo cual debe haber un cambio en la manera de trabajar.

Al analizar los proyectos, se deben diseñar el máximo de elementos repetitivos, ya que con esto se pueden lograr disminuir los costos de la armadura, al hacer las unidades de montajes en series.

Las unidades de montaje pasan por controles de calidad, por lo cual deben cumplir con las condiciones de diseño establecidas, y esto significa que se disminuyen los posibles problemas de congestión excesiva de armadura y defectos constructivos como nidos, dando más seguridad a la estructura.

Por lo cual el uso de la armadura prefabricada trae ventajas desde el punto de vista estructural, pero estas son complicadas de cuantificar debido a que están ligadas a ciertas cualidades específicas de la estructura. Esto acarrea importantes ahorros por concepto de reparaciones por patologías en la estructura y un valor agregado por el mejor comportamiento y mayor seguridad que puede tener una estructura con estas características.

## **5.2 Análisis económico desde el punto de vista constructivo.**

Al hacer el análisis constructivo, hay que considerar diferentes variables para estudiar la conveniencia económica del uso de la armadura prefabricada, éstas están relacionadas con los costos de construcción del proyecto, ya que uno de los objetivos de la empresa constructora es usar de la forma más eficiente los recursos disponibles para llevar a cabo los trabajos al menor costo posible.

Por lo cual, para hacer este análisis se han designado tres casos que constituyen razones para el uso de la armadura prefabricada por parte de la constructora, estos son: costos y tiempos de la armadura, planificación en los trabajos y beneficios constructivos adicionales. Estos casos se detallan a continuación.

### **5.2.1 Costos y tiempos de la armadura.**

Este análisis corresponde a todos los costos que tiene que considerar la empresa constructora proveniente directamente del uso de la armadura prefabricada en una estructura. Los costos considerados corresponden a los materiales utilizados, mano de obra para el corte y doblado, mano de obra para la instalación, transporte, costo de trasladar la mano de obra al lugar de trabajo y pérdidas metálicas.

Para realizar este estudio se consideran tres tipos de armaduras: prefabricada 1, que viene armada de fabricada; prefabricada 2, que viene cortada y doblada de fábrica y armada en obra; finalmente la in situ, que se corta, dobla y arma en obra.

#### **5.2.1.1 Material utilizado.**

Para evaluar el costo del material asociado a la armadura, es necesario cubicar los elementos estructurales, para este caso, se utilizara un muro, una viga y una columna típica de un edificio en Santiago.

El muro analizado es de espesor 20 cm, con una doble malla horizontal  $\phi 10$  a 15 y una doble malla vertical  $\phi 10$  a 20, cabezales de  $\phi 18$ , una altura de piso de 255 cm y un ancho de 620 cm; para diseñar el muro prefabricado 1 se utilizan dos unidades de montajes usando los detallamientos constructivos M1 y M-C (figura N° 27) y para el muro prefabricado 2 y el in situ se utilizan los detallamientos convencionales (figura N° 28).

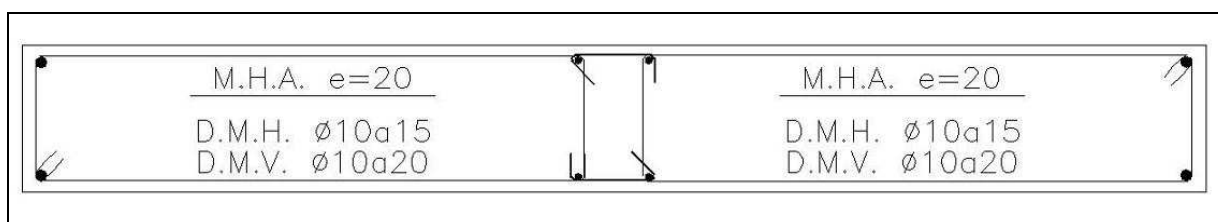


Figura N° 27: Muro prefabricado.

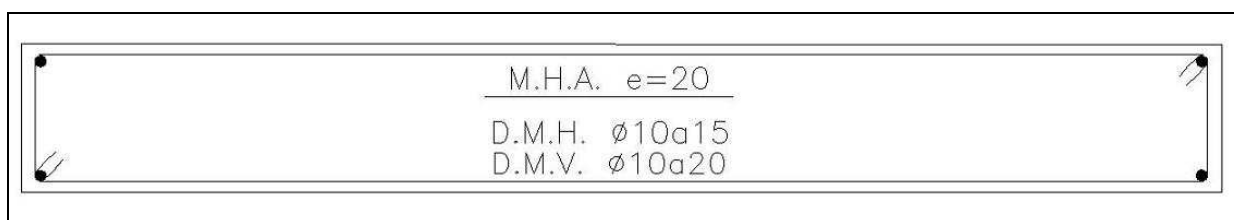


Figura N° 28: Muro convencional.

Para el muro convencional, se cálculo el largo del empalme promedio considerando 2 pisos y un largo de barra de 600 cm lo que resulto un valor de 45 cm, este largo varia dependiendo del largo de barra y diámetro de los cabezales; para el muro prefabricado se considero un largo de 1.3 ld por piso.

El resumen de la cubicación de los tres muros analizados se presenta a continuación.

Tabla 8: Resumen cubicación muros.

	CONVENCIONAL		PREFABRICADO		
	Unidad [cm]	Total [cm]	Unidad [cm]	Total [cm]	2 Unidades de Montaje [cm]
Malla horizontal ( $\phi 10$ )	1312	20992	672	10752	21504
Trabas horizontales ( $\phi 10$ )	-	-	43	1376	1376
Malla vertical ( $\phi 10$ )	305	18300	305	9150	18300
Cabezales ( $\phi 18$ )	300	1200	410	820	1640
Trabas verticales ( $\phi 10$ )	39	3120	39	2184	4368

Tabla 9: Resumen pesos muros.

	CONVENCIONAL		PREFABRICADO	
	Largo [m]	Peso [kg]	Largo [m]	Peso [kg]
Total $\phi 10$	424,12	261,68	455,48	281,03
Total $\phi 18$	12,00	24,00	16,40	32,80
		<b>285,68</b>		<b>313,83</b>

La viga estudiada es una V25/80, apoyada en dos pilares (ver anexo B), para diseñar la viga prefabricada se utiliza el detallamiento VC1.

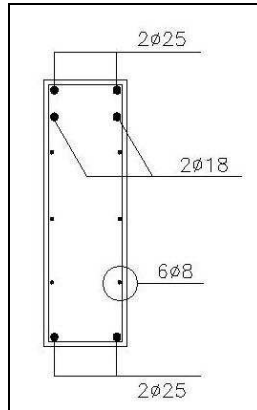


Figura N° 29: Sección viga.

El resumen de la cubicación de las tres vigas estudiadas se presenta a continuación.

Tabla 10: Resumen cubicación vigas.

	CONVENCIONAL		PREFABRICADO	
	Unidad [cm]	Total [cm]	Unidad [cm]	Total [cm]
Barra negativa ( $\phi 25$ )	350	1400	320	1280
Barra empalme ( $\phi 25$ )	-	-	190	760
Barra negativa ( $\phi 18$ )	300	1200	270	1080
Barra empalme ( $\phi 18$ )	-	-	150	600
Barra negativa ( $\phi 16$ )	550	1100	550	1100
Barra positiva ( $\phi 25$ )	1178	2356	970	1940
Barra empalme ( $\phi 25$ )	-	-	190	380
Barra Longitudinal ( $\phi 8$ )	970	5820	970	5820
Estribos ( $\phi 8$ )	220	13200	220	13200

Tabla 11: Resumen pesos vigas.

	CONVENCIONAL		PREFABRICADO	
	Largo [m]	Peso [kg]	Largo [m]	Peso [kg]
Total $\phi 8$	190,20	75,13	190,20	75,13
Total $\phi 16$	11,00	17,38	11,00	17,38
Total $\phi 18$	12,00	24,00	16,80	33,60
Total $\phi 25$	37,56	144,61	43,60	167,86
		<b>261,12</b>		<b>293,97</b>

La columna analizada es de 110 x 110 cm, con 24 barras de  $\phi 25$  y un largo de 360 cm; para diseñar la columna prefabricada 1 se utiliza el detallamiento constructivo M-C.



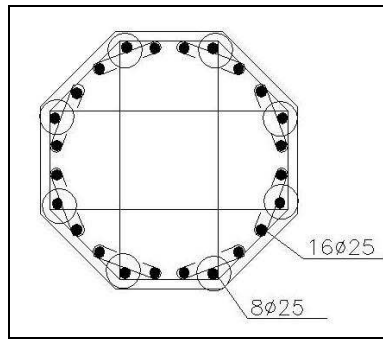


Figura N° 30: Sección columna.

Para la columna prefabricada se considero un largo de empalme de 1.3 ld por piso.

El resumen de la cubicación de las tres columnas analizadas se presenta a continuación.

Tabla12: Resumen cubicación columnas.

	CONVENCIONAL		PREFABRICADO	
	Unidad [cm]	Total [cm]	Unidad [cm]	Total [cm]
Estribo Interior ( $\phi 12$ )	660	12540	660	12540
Estribo Exterior ( $\phi 16$ )	380	7220	380	7220
Trabas ( $\phi 12$ )	55	3960	55	3960
Malla Vertical 1 ( $\phi 25$ )	440	3520	570	13680
Malla Vertical 2 ( $\phi 25$ )	470	7520	-	-

Tabla 13: Resumen pesos columnas.

	CONVENCIONAL		PREFABRICADO	
	Largo [m]	Peso [kg]	Largo [m]	Peso [kg]
Total $\phi 12$	165,00	146,52	165,00	146,52
Total $\phi 16$	72,20	114,08	72,20	114,08
Total $\phi 25$	110,40	425,04	136,80	526,68
		<b>571,56</b>		<b>673,20</b>

### 5.2.1.2 Costo de corte y doblado, instalación y transporte.

Los costos utilizados para el análisis del corte y doblado, instalación y transporte se obtuvieron de una obra que uso los tres tipos de armadura antes mencionadas, esta obra es bastante grande, por lo cual los costos son más bajos de lo habitual, pero sirven para hacer el análisis comparativo; también se cuenta con los rendimientos de cada tipo de armadura, pero estos pueden variar dependiendo del tipo de obra, número de pisos, tipo de zona y diámetros de barras utilizados.

Tabla 14: Resumen de costos y rendimientos de los tipos de armaduras.

	<b>A. prefabricada 1</b>	<b>A. prefabricada 2</b>	<b>A. In situ</b>
Corte y Doblado [\$/kg]	88	30	110
Instalación [\$/kg]	42	60	
Transporte [\$/kg]	7	6	
Rendimiento [kg/HD]	300	200	150

#### 5.2.1.3 Costo de trasladar mano de obra.

Para calcular estos costos, se considero un sueldo por día de \$20.000 para los enfierradores y un tiempo de traslado de 45 minutos por día (15 minutos por cada subida y bajada).

Con el tiempo de traslado por enfierrador se puede calcular el costo al tener el tiempo de armado del elemento.

#### 5.2.1.4 Costo de pérdidas metálicas.

Las pérdidas metálicas sólo se consideran para la armadura in situ y corresponden a un 5% del material total.

#### 5.2.1.5 Resumen.

- Muro.

A continuación se muestran los resúmenes de costos y tiempos para el muro, considerando 2 enfierradores y un costo del acero de \$798 por kilo.

Tabla 15: Resumen de tiempos del muro.

	<b>A. prefabricada 1</b>	<b>A. prefabricada 2</b>	<b>A. In situ</b>
Tiempo [día]	0,5	0,7	1,0

Al comparar los tiempos obtenidos, se observa que para la armadura prefabricada 1 se tiene un ahorro de tiempo de un 50% en comparación con la in situ y para la armadura prefabricada 2 se tiene un 25% de ahorro.

Tabla 16: Resumen de costos del muro.

<b>Costos asociados</b>	<b>A. prefabricada 1 [\$]</b>	<b>A. prefabricada 2 [\$]</b>	<b>A. In situ [\$]</b>
Material	250.437	227.974	227.974
Corte y Doblado	27.617	8.570	31.425
Instalación	13.181	17.141	
Transporte	2.197	1.714	
Trasladar M. O.	1.587	2.381	3.174
Perdidas metálicas	-	-	11.399
<b>Total</b>	<b>295.019</b>	<b>257.780</b>	<b>273.972</b>

De la tabla, se puede apreciar que el costo de la armadura prefabricada 1 es un 8% mayor que la armadura in situ y la armadura prefabricada 2 es un 6% menor.

- Viga.

A continuación se muestran los resúmenes de costos y tiempos para la viga, considerando 2 enfierradores.

Tabla 17: Resumen de tiempos de la viga.

	<b>A. prefabricada 1</b>	<b>A. prefabricada 2</b>	<b>A. In situ</b>
Tiempo [día]	0,4	0,7	0,9

Al comparar los tiempos obtenidos, se observa que para la armadura prefabricada 1 se tiene un ahorro de tiempo de un 50% en comparación con la in situ y para la armadura prefabricada 2 se tiene un 25% de ahorro.

Tabla 18: Resumen de costos de la viga.

<b>Costos asociados</b>	<b>A. prefabricada 1 [\$]</b>	<b>A. prefabricada 2 [\$]</b>	<b>A. In situ [\$]</b>
Material	234.588	208.374	208.374
Corte y Doblado	25.869	7.834	28.723
Instalación	12.347	15.667	
Transporte	2.058	1.567	
Trasladar M. O.	1.451	2.176	2.901
Perdidas metálicas	-	-	10.419
<b>Total</b>	<b>276.313</b>	<b>235.617</b>	<b>250.417</b>

De la tabla, se puede apreciar que el costo de la armadura prefabricada 1 es un 10% mayor que la armadura in situ y la armadura prefabricada 2 es un 6% menor.

- Columna.

A continuación se muestran los resúmenes de costos y tiempos para la columna, considerando 3 enfierradores.

Tabla 19: Resumen de tiempos de la columna.

	<b>A. prefabricada 1</b>	<b>A. prefabricada 2</b>	<b>A. In situ</b>
Tiempo [día]	0,6	1,0	1,3

Al comparar los tiempos obtenidos, se observa que para la armadura prefabricada 1 se tiene un ahorro de tiempo de un 50% en comparación con la in situ y para la armadura prefabricada 2 se tiene un 25% de ahorro.

Tabla 20: Resumen de costos de la columna.

<b>Costos asociados</b>	<b>A. prefabricada 1 [\$]</b>	<b>A. prefabricada 2 [\$]</b>	<b>A. In situ [\$]</b>
Material	537.214	456.105	456.105
Corte y Doblado	59.242	17.147	62.872
Instalación	28.274	34.294	
Transporte	4.712	3.429	-
Trasladar M. O.	3.175	4.763	6.351
Perdidas metálicas	-	-	22.805
<b>Total</b>	<b>632.617</b>	<b>515.738</b>	<b>548.132</b>

De la tabla, se puede apreciar que el costo de la armadura prefabricada 1 es un 15% mayor que la armadura in situ y la armadura prefabricada 2 es un 6% menor.

Por lo tanto, al hacer este análisis se puede concluir que el tiempo al utilizar la armadura prefabricada 1 es mucho menor que la in situ, un 50%; el costo es mayor entre un 8% y 15%, pero los beneficios obtenidos al utilizarla pueden cubrir esta diferencia si la empresa constructora hace un análisis detallado.

## 5.2.2 Planificación de los trabajos.

En todo proyecto se tienen que cumplir plazos en tiempos establecidos, por lo cual la programación es muy importante, al utilizar la armadura prefabricada, la planificación es más certera, ya que en el programa de obra se establecen las fechas de entrega, dejando de lado los problemas que se tenían al utilizar la armadura in situ, principalmente con los enfierradores, que se cambian varias veces de obra; por todo esto se tienen ahorros en los costos, ya que no se tiene que contratar varios subcontratos de enfierradores, teniendo que renegociar en cada uno de ellos y dejando

atrás las multas por atrasos de la obra por culpa de la armadura, que pueden ser altas y traer problemas administrativos con el mandante.

### 5.2.3 Beneficios constructivos adicionales.

Al utilizar la armadura prefabricada, la empresa constructora puede obtener una serie de ventajas constructivas asociadas a su utilización. Estas pueden traer consigo importantes beneficios económicos, que se pueden traducir en una disminución en los costos directos del proyecto.

Con la armadura prefabricada se puede modificar la secuencia constructiva de la obra, por lo cual esto trae beneficios para la empresa, ya que permite programar la construcción de forma más óptima, con la utilización más eficaz de recursos disponibles y las correspondientes reducciones de costos.

El uso de esta armadura trae consigo una disminución en los recursos humanos, por lo cual se tienen beneficios económicos, ya que se logra una mejor administración de personal (menos mano de obra), una menor cantidad de servicios básicos (baños, duchas, casinos, bodegas, etc) y se disminuyen los riesgos de tener un accidente en las actividades relacionadas con la armadura,

Además, al usar esta armadura se disminuyen los tiempos en la utilización de la grúa y esto trae menores costos, también se disminuyen los espacios de fabricación de la armadura, dejando más despejada la obra y disminuyendo los problemas de congestión.

Todas estas razones hacen que la armadura prefabricada sea un sistema constructivo interesante de utilizar, a pesar del mayor costo en comparación con la armadura in situ y produce incentivos a las empresas constructoras para evaluar su utilización.

### **5.3 Análisis económico desde el punto de vista del mandante.**

Finalmente, se debe considerar el punto de vista del mandante, quien es el responsable del financiamiento de la totalidad de la obra, por lo cual tiene un alto poder en la toma de decisiones del proyecto.

Cuando se tienen grandes obras (centros comerciales, industrias, hoteles), el tiempo es un factor predominante para el mandante. Un término anticipado del proyecto permite recibir los retornos económicos antes de lo esperado, debido a una temprana iniciación de las actividades económicas. Además puede existir una ganancia económica al finalizar anticipadamente el proyecto a pesar de la diferencia de costos entre los dos

tipos de armaduras, dado que en comparación con la inversión total del proyecto, el costo de la armadura prefabricada puede considerarse marginal, ya que es la armadura prefabricada la que permite menores tiempos en la construcción.

El término anticipado del proyecto permite además un ahorro significativo de los costos asociados a los gastos generales, los que disminuyen al finalizar la obra en un menor tiempo. Es así como éste es un factor monetario a considerar por parte del mandante para evaluar la posibilidad de utilizar este tipo de tecnología en su proyecto. Un ejemplo concreto consiste en estudiar un edificio habitacional que consta de 18 pisos y 112 departamentos con un costo total de UF 140.649 y un plazo de construcción de 15 meses. Los gastos generales son aproximadamente UF 22.510 (16% del valor total), siendo entonces el consumo diario por gastos generales de UF 75. El costo total ahorrado puede ser una cifra significativa si se multiplica por los días ahorrados del proyecto al utilizar la armadura prefabricada.

Por lo cual, al evaluar un proyecto, el mandante debe considerar los beneficios económicos derivados del ahorro de tiempo al decidir que tipo de armadura utilizará.

## **6.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.**

Para desarrollar este trabajo ha sido necesario revisar antecedentes bibliográficos nacionales e internacionales referidos al tema, realizar entrevistas a diferentes ingenieros estructurales y constructores que han utilizado la armadura prefabricada. Todo esto, ha permitido reunir la información necesaria para evaluar esta armadura en el ámbito de la construcción, estudiando los aspectos tecnológicos y económicos.

Una consideración importante que se tiene que tener presente, es que debe haber un cambio de mentalidad con respecto a los kilos de acero utilizados para diseñar la armadura, ya que lo que hay que optimizar es el costo total de la armadura instalada y no el diseño de ésta, que puede producir un armado mucho más complejo.

Por otro lado, desde el punto de vista práctico, tiene que haber un cambio en la elaboración e instalación de la armadura, que se base en formas más simples y fáciles de montar en obra, por ejemplo, empleo de armaduras estandarizadas por catálogo y la fabricación en planta industrial de los elementos estructurales utilizados en un proyecto.

Los detallamientos constructivos expuestos corresponden a recomendaciones prácticas en la utilización de la armadura prefabricada, sin embargo, para elegir alguna opción es esencial considerar la experiencia y el buen criterio del ingeniero estructural ante situaciones particulares.

La utilización de esta armadura se concentra en los países desarrollados, donde la mano de obra es cara, por lo cual al usar esta armadura se reducen los costos; esto aún no es posible establecerlo en Chile, ya que la mano de obra es relativamente barata.

Al evaluar económicamente la armadura prefabricada, se tiene que el costo es mayor en comparación con la in situ, entre un 8% y 15%. Por otro lado, con respecto a los costos de materiales y mano de obra se tiene que hay un aumento entre un 10% y 18% en la utilización de acero. Sin embargo, la mano de obra disminuye en un 50%, existiendo entonces una reducción de costos que puede ser significativa si se tiene un proyecto en donde la mano de obra es escasa y se debe trasladar personal calificado. También hay que considerar los otros beneficios asociados a su utilización, como mejor planificación, cambio en la secuencia constructiva y disminución de los recursos humanos.

Otro punto importante, es el tiempo de instalación. Con la armadura industrializada se tiene una reducción de un 50% de éste en comparación con la in situ, siendo una gran ventaja en los proyectos donde el tiempo siempre es un factor importante. Se debe considerar además el ahorro en los gastos generales al tener un menor plazo de

construcción. Por lo cual, al realizar el análisis para decidir que armadura utilizar, se tiene que considerar tanto los costos directos como indirectos correspondientes a cada una de ellas.

Si una constructora quisiera evaluar de forma rápida y aproximada, si es conveniente o no utilizar la armadura prefabricada, debería realizar un análisis de costos de un piso (o de un parte del proyecto) usando ambas armaduras para obtener el costo total por cada tipo de armadura, Sin embargo, para que éstos resultados sean comparables, es necesario restar el ahorro de los gastos generales al total correspondiente a la armadura prefabricada.

Un caso a estudiar es un proyecto en que se tenga una eventual reducción en el plazo de la obra, lo significa un aumento de los costos al acelerar todas las actividades. Una solución factible para este problema es la armadura prefabricada, ya que posee el doble de rendimiento que la in situ y el aumento de costos relacionados con acelerar la instalación de armadura in situ, puede ser mayor que al utilizar la armadura prefabricada.

En Chile, aún es incipiente la utilización de la armadura prefabricada, por lo cual se espera que con este trabajo se logre dar a conocer todos los beneficios y ventajas que tiene su uso para poder acelerar su introducción a la práctica en la construcción.

De esta forma se concluye este trabajo, que permitirá la incorporación de la armadura prefabricada como una opción viable para un proyecto de hormigón armado. Este desarrollo debe ir de la mano con los ingenieros estructurales para que utilicen, desde la concepción del proyecto, los recursos y ventajas que tiene la armadura prefabricada.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. Calavera, J; González, E; Fernández, J; Valenciano, F. "Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras Industrializadas". INTEMAC. 2002.
- [2]. Gerdau Aza. "Manual de armaduras de refuerzos para hormigón". 2005.
- [3]. [www.armatek.es](http://www.armatek.es)
- [4]. Zuncho. España, 1. 2004.
- [5]. Zuncho. España, 2. 2004.
- [6]. Zuncho. España, 5. 2005.
- [7]. Armanews, Madrid, España, 2. 2002.
- [8]. Ramis, J. "Aumento de productividad, calidad, y seguridad a través del uso del fierro industrializado". Novena conferencia tecnológica, Agosto de 2008. Santiago, Cámara Chilena de la Construcción.
- [9]. Matco. "Beneficios del Uso del Acero Cortado y Doblado", 2008.
- [10]. [www.brc.com.sg](http://www.brc.com.sg)
- [11]. [www.acma.cl](http://www.acma.cl)
- [12]. Armanews, Madrid, España, 7. 2003.
- [13]. Comité ACI 318. "Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario". American Concrete Institute. 2005.
- [14]. Armanews, Madrid, España, 1. 2002.
- [15]. Armanews, Madrid, España, 8. 2003.
- [16]. InnoSteel, Jurong Town, Singapore, 2. 2004.
- [17]. InnoSteel, Jurong Town, Singapore, 3. 2005.
- [18]. InnoSteel, Jurong Town, Singapore, 4. 2006.
- [19]. [www.maxfrank.com/cms/upload/download\\_engl/20\\_reinforcement\\_systems/frank-reinforcement-exp.PDF](http://www.maxfrank.com/cms/upload/download_engl/20_reinforcement_systems/frank-reinforcement-exp.PDF)
- [20]. [www.equintec.cl/2008/max.php](http://www.equintec.cl/2008/max.php)
- [21]. Hevia Erwin; "Uso de conectores mecánicos en estructuras sismo resistentes". Memoria para optar a título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. 2002.

- [22]. Fernández Javier; “Recomendaciones para la disposición de armadura en elementos típicos de hormigón armado”. Memoria para optar a título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. 2003.
- [23]. Calavera J. “Manual de Detalles Constructivos en obras de hormigón armado”. INTEMAC. 1993.
- [24]. Lagos R; Küpfer. “Manual de Detalles Constructivos en Obras de Hormigón Armado”. 2003.
- [25]. Revista Bit, Santiago, Chile, 51. 2006.
- [26]. [www.brc-reinforcement.co.uk/safe.php](http://www.brc-reinforcement.co.uk/safe.php)
- [27]. [www.ipac.es/calidad/reglamento.asp](http://www.ipac.es/calidad/reglamento.asp)
- [28]. [www.boe.es/boe/dias/2008/08/22/pdfs/SUP08\\_203C.pdf](http://www.boe.es/boe/dias/2008/08/22/pdfs/SUP08_203C.pdf)

## Anexos

Anexo A: Tablas con características de edificios y forma de entrega para ejemplo de rendimiento de armaduras.

Descripción	Unidad	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3
Ubicación		Concepción	Las Condes	Viña del Mar
Pisos/Subterráneo	N°	8/1	12/2	11/1
Superficie construida	m <sup>2</sup>	5.816	10.076	4.620
Acero A44-28H	ton	267,8	-	121,8
Diámetros especificados A44-28H	mm	8 a 25	-	8 a 16
Acero A63-42H	ton	-	345,1	81,3
Diámetros especificados A63-42H	mm	-	8 a 32	18 a 25
Total armaduras	ton	267,8	345,1	203,1
Referencia	kg/m <sup>2</sup>	46,0	34,2	44,0

Forma de Entrega		Rollo barra			Barras						Totales
		ton			ton						
(mm)		8	10	12	16	18	22	25	28	32	
Edificio 1	A44-28H	51,8	14,2	11,5	50,9	4,3	52,1	5,6	-	-	267,8
		39%	11%	9%	19%	2%	19%	2%	-	-	100%
Edificio 2	A63-42H	63,3	31,9	12,5	36,3	13,7	23,5	17	15,4	23,8	345,1
		37%	19%	7%	11%	4%	7%	5%	4%	7%	100%
Edificio 3	A44-28H	31,9	5,3	7,3	22,8	-	-	-	-	-	111,8
		31%	5%	7%	11%	-	-	-	-	-	55%
	A63-42H	-	-	-	-	12,1	49,7	29,5	-	-	91,3
		-	-	-	-	6%	24%	15%	-	-	45%

Anexo B: Esquema de viga utilizada, para análisis de costos.

