



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**EL ENCOFRADO TREPANTE Y AUTOTREPANTE COMO MÉTODO
CONSTRUCTIVO EFICIENTE PARA LA EDIFICACIÓN URBANA EN
EDIFICIOS DE GRAN ALTURA**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN CONSTRUCCIÓN

PRESENTA:

ING. MIGUEL ANGEL GAYTAN GARCIA

DIRECTOR DE TESINA: **ING. VÍCTOR MANUEL MARTÍNEZ HERNÁNDEZ**

MÉXICO, D.F.

SEPTIEMBRE 2020

Jurado asignado:

Presidente: Ing. Esp. Alejandro Ponce Serrano

Secretario: Ing. Gregorio Lucio Poncelis Gasca

Vocal: Ing. Víctor Manuel Martínez Hernández

1er. Suplente: M.I. Luis Candelas Ramírez

2do. Suplente: M.I. Carlos Narcia Morales

Lugar en donde se realizó la tesina:

Ciudad Universitaria, Coyoacán, CDMX.

Director de tesina:

Ing. Víctor Manuel Martínez Hernández

Firma

Agradecimientos

A dios universo, por permitir encontrarme.

A mis padres, que con amor y comprensión me dieron herramientas sólidas para ser un ingeniero integral con vocación humanista.

A mis hermanos, que con su apoyo incondicional y consejos de la vida misma me mostraron el camino de la bondad y felicidad.

A mis sobrinas, que con su amor puro e inmaculado me hacen ser un tío bondadoso y generoso en la enseñanza futura de mi país.

A mis amigos Elam, Mafe y Luis, que me acompañaron en esta etapa de mi vida, gracias por todos sus consejos.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por todo el respaldo durante mis estudios de posgrado.

Y por último, mi alma mater, mi hermosa UNAM que me enseñó el valor de la educación; por permitirme conocer maestros, compañeros, amigos, que me ayudaron día con día a crecer como ser humano y como profesional.

Gracias alma mater.

“Asimismo, y durante todos los días de una vida sin brillo, el tiempo nos lleva.
Pero siempre llega un momento en que hay que llevarlo a él.” Albert Camus.
¡Con decisión y fuerza de voluntad!

A mis padres, hermanos y amigos. Con amor y cariño.
Nihil difficile volenti.

Índice

Introducción	1
Delimitación y planteamiento del problema de investigación	3
Justificación	4
Objetivos	5
Capítulo 1: Marco General	6
1.1 Antecedentes	6
1.2 Características y tipos de encofrados	7
1.3 Consideraciones generales para el diseño del encofrado	8
1.4 Puntos principales para el diseño de los encofrados	10
Capítulo 2: Encofrado tradicional industrializado	13
2.1 Encofrado tradicional Ulma	13
2.2 Encofrado modular Orma	14
2.2.1 Unión de paneles tipo Orma	16
2.2.2 Compensaciones entre paneles	18
2.2.3 Escuadras fijas, escuadras interiores y exteriores giratorias	20
2.2.4 Tipo de apoyo	22
2.2.5 Anclaje	24
2.2.6 Uniones en altura	26
2.2.7 Cierre de muro o encofrado	27
2.2.8 Seguridad	27
2.2.9 Proceso de montaje del encofrado Orma	28
2.2.10 Manipulación y reparación del panel Orma	29
2.3 Inconvenientes en el uso de sistemas tradicionales industrializados	29

Capítulo 3: Encofrado trepante	34
3.1 Sistema trepante	34
3.2 Componentes del sistema trepante	35
3.3 Funcionamiento de los elementos que conforman al anclaje	38
3.4 Montaje y desmontaje del sistema de anclaje	40
3.5 Recuperación de piezas	43
3.6 Uso de grúa en sistema trepante	45
3.7 Inconvenientes en el uso de sistemas trepantes	69
3.8 Aplicaciones del encofrado trepante	70
Capítulo 4: Encofrado autotrepante	71
4.1 Sistema autotrepante	71
4.2 Procedimiento general de izado	72
4.3 Consola autotrepante ATR-B	75
4.4 Componentes del sistema autotrepante	77
4.4.1 Sistema de elevación	77
4.4.2 Sistema de anclaje	80
4.4.3 Sistema de retranqueo	85
4.5 Instalación del sistema autotrepante	87
4.6 Cuidado y mantenimiento	92
4.7 Inconvenientes en el uso de sistemas autotrepantes	92
Comentarios finales	97
Conclusiones	99
Bibliografía	100
Anexo A	102

Introducción

Las nuevas tecnologías desarrolladas en el mundo para la construcción de elementos verticales ha evolucionado de manera constante, prueba de ello es la continua modificación al uso de los sistemas de encofrados¹. A lo largo de la historia en la construcción de elementos de concreto se han utilizado primordialmente cimbras artesanales hechas a partir de madera, hasta alcanzar la utilización de metales y aleaciones que reducen la probabilidad de falla al colar, facilitando así la implementación en edificaciones superlativas.

En el contexto constructivo creciente por la demanda de servicios urbanos, ha hecho que la productividad en el desarrollo industrial de encofrados vaya en constante crecimiento, debido a lo anterior los países europeos, asiáticos y de América del Norte implementan frecuentemente estos sistemas autotrepantes, en beneficio de la rapidez, calidad y seguridad de las obras.

En México, este tipo de sistemas de cimbras carecen de implementación regular, sin embargo debido al requerimiento de vivienda urbana y de servicios relacionados con los mismos, se tendrá que adoptar este tipo de sistemas de manera frecuente. La ciudad de México crece verticalmente por la ausencia de suelo disponible; una manera para resolver el problema de demanda de vivienda en el país es justamente con la implementación de los sistemas trepantes y autotrepantes como métodos constructivos.

La finalidad de esta investigación es dar herramientas sólidas en la toma de decisiones constructivas para la implementación de encofrados bajo distintas circunstancias técnicas y económicas; con ello se genera disrupción en las prácticas monótonas de colado con cimbras convencionales, llegando así a más ingenieros que implementen encofrados autotrepantes y trepantes.

Para llevar a cabo el estudio y objetivos planteados, el escrito se ha estructurado en 4 capítulos. En el capítulo 1 se aborda las consideraciones generales para el diseño del encofrado, destacando las características y clasificaciones primordiales de la cimbras. En el capítulo 2 se estudia al encofrado convencional industrializado, analizando cada una de sus componentes y la función que tiene en el

¹ Encofrado: También llamado cimbra.

correcto colado de la obra. Por otra parte, en el capítulo 3 se realiza el estudio y análisis del sistema trepante, acentuando el sistema de anclaje y los inconvenientes en el uso de grúa. En el capítulo 4 se examina el sistema autotrepante, haciendo hincapié en los componentes que lo integran, justificando su empleo y los principales inconvenientes constructivos a los que se enfrenta. Finalmente en la sección de comentarios finales, se aborda las principales consideraciones técnicas-empíricas para la elección de una cimbra autotrepante.

Delimitación y planteamiento del problema de investigación

El presente trabajo se centra en los encofrados industrializados, principalmente en el análisis y estudio del sistema de encofrado convencional industrializado por paneles, el sistema de encofrado trepante y el sistema de encofrado autotrepante.

Debido a que los sistemas trepantes y autotrepantes son relativamente nuevos en la industria de la construcción en México, son poco estudiados y conocidos; debido a esto, se pretende dar a conocer a la comunidad ingenieril universitaria este tipo de sistemas con el fin de innovar en el aspecto constructivo. Dicho análisis de los componentes de las cimbras estudiadas se enfoca en elementos verticales para la construcción de edificios de altura considerable.

Los encofrados trepantes y autotrepantes son sistemas sofisticados que diferentes empresas como Ulma, Peri y Doka dominan el mercado de las cimbras; lo que conlleva a una necesaria difusión de dichos sistemas, atendiendo la creciente demanda de edificación en las urbes.

Justificación

Actualmente, la industria de la construcción demanda cada vez menos periodos en los plazos de ejecución de las obras, lo que implica modernizar los sistemas de cimbras. Es por ello que este trabajo se centra en el uso de encofrados trepantes y autotrepantes, pues ambos contribuyen a adquirir velocidad en la construcción de elementos verticales, asistiendo así la incorporación de nuevas tecnologías y técnicas constructivas que marcarán la diferencia en una obra determinada. Al implementar este tipo de soluciones se gana tiempo y dinero, siempre y cuando así lo justifique el proyecto a ejecutar.

Los países desarrollados conocen y aplican este tipo de tecnologías, principalmente porque el costo-beneficio lo hace muy viable en edificación u obras de gran tamaño. En virtud de ello, en América Latina deben de conocerse y aplicarse mayoritariamente este tipo de encofrados para que la industria de la construcción tienda a la industrialización como proceso constructivo, mejorando la calidad y uniformizando los sistemas de cimbras.

Las soluciones presentadas son aportadas principalmente por la compañía Ulma, dado que en el proceso de investigación, contacto y desarrollo de conocimiento de este trabajo, no se logró sostener enlace con las otras empresas antes mencionadas. Esta anotación no debe tomarse como una crítica a la falta de participación de tales sociedades, sino como una llamada de atención para que las corporaciones dentro del rol de la construcción se involucren más en un futuro. Es de suma importancia que esta problemática se erradique, pues con ello será viable la prospección y la construcción de nuevo conocimiento.

Objetivos

Objetivo general:

Dar a conocer a los estudiantes de la comunidad ingenieril los métodos novedosos en el mercado de cimbras, esto con el fin de innovar en el uso de estas tecnologías poco aplicadas en nuestro país.

Objetivo particular:

Brindar herramientas sólidas en la toma de decisiones para ejecutar la cimbra de una obra determinada.

Detallar y analizar de forma precisa el sistema de encofrado convencional industrializado, encofrado trepante y encofrado autotrepante de la empresa Ulma.

Capítulo 1: Marco General

1.1 Antecedentes

El encofrado se puede definir como un molde que le da forma al concreto fresco hasta que este tiene la capacidad necesaria para auto soportarse; la función del encofrado es contener al concreto en estado plástico hasta que alcance el estado sólido. La naturaleza con las que están hechas sus componentes pueden ser de: madera, plástico, metal, así como de distintas aleaciones.

Los sistemas de encofrado deben de garantizar el soporte de las cargas verticales y horizontales mientras el concreto se encuentra en estado plástico.

A continuación se definen algunos conceptos que son importantes.

Estado plástico del concreto: También se le llama estado fresco, es el estado en que el concreto es manejable, justo después de mezclar todos los componentes que lo constituyen (agua, cemento, arena, grava y/o aditivos) (IMCYC, 2004).

Este estado se encuentra entre sólido y líquido, lo cual hace posible la manejabilidad y la trabajabilidad del mismo.

Estado fraguado: El concreto empieza a ponerse rígido, ya no es blando y tiene lugar después de la compactación y durante el acabado (IMCYC, 2004).

En este estado ya no es posible mezclar, vibrar o compactar; empieza a tener resistencias iniciales bajas.

Estado endurecido: Se denomina así cuando el concreto ha fraguado, empieza a ganar resistencia y se endurece. Las propiedades del concreto endurecido son la resistencia y la trabajabilidad (IMCYC, 2004).

La resistencia del concreto puede acelerarse si se utilizan aditivos que permitan obtener concretos de alta resistencia inicial, sin embargo el costo por trabajar con este tipo de concretos puede ser significativo.

Las propiedades básicas del concreto son las siguientes:

Trabajabilidad: Puede definirse como la facilidad con la que se puede manipular, colocar y compactar al concreto en estado fresco.

Resistencia: Se define como la capacidad para soportar cargas normales en un área determinada y se da en términos de esfuerzos, generalmente en kg/cm^2 . Se idealiza que el concreto solo resiste esfuerzos a compresión, aunque en realidad admite esfuerzos a tensión mínimos.

Durabilidad: Es la facultad para resistir el ambiente abrasivo, los agentes químicos, biológicos y cualquier otro proceso de deterioro físico.

1.2 Características y tipos de encofrados

La cimbra debe de aportar muchos factores para asegurar un correcto colado en los disímiles elementos que requieren colarse, las funciones principales del encofrado son:

- Servir de molde al concreto fresco
- Soportar cargas
- Ser estancos
- Seguridad en el uso
- Económicos
- Durables e indeformables

Clasificación de los encofrados:

Según el modo de transmisión de esfuerzos

i) Encofrados a una cara: Las presiones del concreto son soportadas por estructuras externas (puntales y riostras²) al encofrado.

ii) Encofrados a dos caras: Las presiones del concreto son soportadas por barras internas que atan las dos caras del encofrado.

² Riostra: Elemento estructural metálico o de madera empleado para mantener la posición o reforzar.

Según su posición

- i) Encofrados verticales: Usados en muros, columnas, pilas de puentes, presas con inclinaciones, bardas, etc.
- ii) Encofrados horizontales: Usados en losas y elementos horizontales de entrepiso.

Según el material elaborado

- i) Encofrados de madera
- ii) Encofrados de cartón
- iii) Encofrados metálicos
- iv) Encofrados de distintas aleaciones metálicas y plásticas.
- v) Encofrados plásticos

Según el acabado

- i) Encofrado con acabado aparente
- ii) Encofrado con acabado común

Según cómo trabajan

- i) Encofrado fijo (convencional): Puede ser elaborada de manera artesanal o de manera industrializada. Utilizado para hacer diversos elementos como losas, muros, columnas, etc.
- ii) Encofrado móvil: Trepantes, autotrepantes, deslizantes y especiales.

1.3 Consideraciones generales para el diseño del encofrado

Las cargas que deben soportar los encofrados son de suma importancia, hasta que el concreto pueda sostenerse por sí mismo al fraguar completamente. En este estado “sólido” el concreto ya es capaz de soportarse (ya no hay empujes laterales en el encofrado). Ver fig. 1 en donde se destaca el empuje en las paredes de la cimbra.

Las cargas sometidas en el encofrado son básicamente de dos tipos: instantáneas y permanentes. Las permanentes se deben al peso del acero de refuerzo y al concreto en estado fresco; por su parte, las cargas instantáneas se deben al personal y a los equipos que están en contacto con el encofrado cuando se pretende colar.

Diagrama de empujes en el encofrado cuando el concreto se encuentra en estado plástico:



Fig. 1. Diagrama de empujes del concreto en las paredes del encofrado vertical. Adaptada de: Variant Factory LTD., *Encofrado enmarcado Varimax*.

La fig. 1 muestra la idealización de las cargas en todas las paredes, señalada por las flechas amarillas. Cada una de las cuatro caras del encofrado está sometida a fuerzas laterales de empuje, provocado por el concreto en estado plástico.

Soporte del concreto en encofrados

“En cimbras de madera, el peso de la estructura de madera es despreciable. En cimbras de acero se debe de considerar un peso de estructura de 50 kg por metro cuadrado” (Hernández, 2014). Estas cargas son en función del elemento a colar, es decir, cambian con respecto al elemento que requiera del colado. Las cimbras industrializadas que se estudian en los siguientes capítulos tienen el diseño adecuado para que la cara de contacto del panel soporte los empujes ejercidos por el concreto.

Como ya se mencionó, las cargas sometidas son instantáneas y permanentes, estas cargas deben de ser consideradas en el diseño y ejecución constructiva de la cimbra, evitando colapsos en la obra a colar. A continuación se destacan los principales puntos en el diseño de las cimbras.

1.4 Puntos principales para el diseño de los encofrados

Velocidad de colocación del concreto

La importancia de este punto reside en las cargas que serán soportadas por la cara del panel del encofrado. A mayor velocidad de colocación se tendrá una mayor carga hidrostática en las paredes del encofrado; a menor velocidad de colocación las presiones hidrostáticas serán menores en las paredes del encofrado.

Otro punto importante es que si el elemento es de mayor altura y el concreto no tiene un diseño de rápido fraguado, se tendrá una carga desfavorable, dicha carga debe de ser considerada por los fabricantes de cimbras industrializadas para la elaboración de la cara de contacto.

Peso del concreto.

El ACI recomienda utilizar la presión hidrostática máxima que se puede presentar en las paredes de la cara de contacto del encofrado, es por ello que sugiere el uso de la presión hidrostática como valor para la presión lateral ejercida por el concreto fresco. Siendo así la condición más desfavorable cuando:

$$P = \gamma \times h$$

Donde:

$$\gamma = 2.5 \text{ ton /m}^2$$

h= Es la altura del concreto plástico.

Si se asume una gama del concreto igual a 2.5 ton /m² (dependiendo de la funcionalidad y elemento a colar es la resistencia) que actúa como un fluido con una presión máxima desfavorable de 2.5 ton/m², se diseña por un tiempo limitado desfavorable, esto debido a que el concreto empieza a fraguar en la parte más baja del colado (ver fig. 2).

La presión hidrostática del concreto plástico actúa como el siguiente esquema.

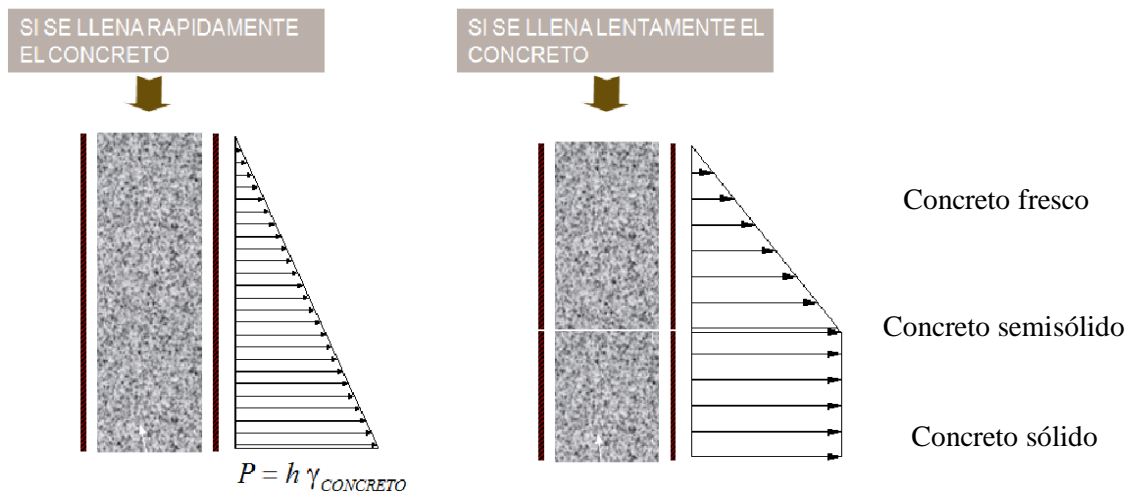


Fig. 2. Configuración idealizada del comportamiento del concreto al momento de colar un elemento vertical. Nótese que en la parte baja el concreto va fraguando, lo que alivia las presiones del encofrado.

Adaptada de: Damiani, *Diseño de encofrados*.

Como se estudia en el capítulo “2, 3 y 4”, la empresa de encofrados Ulma ya tiene considerados todos los empujes sometidos que pueden tener sus paneles; es por ello que ya están modulados con el espesor y aditamentos requeridos sus sistemas de cimbras conforme a las medidas que tienen establecidas, por lo cual no es tema de interés el diseño específico de cierto elemento a colar en el estudio de esta tesina.

Temperatura del concreto y sitio del colado.

En el valle de la Ciudad de México la temperatura media anual es de 16 °C. La temperatura más alta, mayor a 25 °C, se presenta en los meses de marzo a mayo y la más baja, alrededor de 5 °C, en el mes de enero (INEGI, 2020).

La temperatura del concreto plástico varía en función del lugar en donde se colará; siendo así la condición más crítica en el diseño de un colado cuando hay climas fríos, esto debido a que el concreto tarda mucho más en endurecer y soportarse por sí mismo, es por ello que se debe de tener especial cuidado en proyectos que estén sometidos a bajas temperaturas.

La temperatura del concreto al momento de la colocación tiene impacto sobre la presión que se ejerce en las paredes del encofrado, debido a que afecta directamente al tiempo de fraguado. En función de esto último, se tendrá un mayor tiempo de fraguado en condiciones frías y por el contrario si se pretende colar en zonas templadas o calurosas se tendrá un menor tiempo de fraguado, lo que favorece

a que el concreto pase de su estado plástico al estado sólido en un menor tiempo y pueda auto soportarse.

Propiedades del concreto

Hay tres variables primordiales en el diseño del concreto: resistencia, trabajabilidad y durabilidad.

Con el uso de aditivos se puede acelerar o retardar el tiempo de fraguado del concreto, por lo tanto es conveniente (si el proyecto lo justifica económica o estructuralmente) el uso de aditivos que mejoren la trabajabilidad del concreto.

A mayor altura de colado, es conveniente mejorar las condiciones de trabajabilidad, evitando la segregación y sangrado³ del concreto antes de verterlo en el encofrado.

Vibración

La vibración es primordial para obtener un concreto útil, sin falla en la consistencia y lisa al final del colado. Su importancia radica en el uso de un buen equipo de vibrado que disminuya las burbujas de aire atrapadas en el encofrado al momento del vaciado del concreto. Intrínsecamente se contará con aire dentro del concreto fresco al colocarse, es por ello que se tiene que vibrar adecuadamente, tomando en cuenta el tipo de encofrado a utilizar.

Altura de caída del concreto y forma como se vierte el concreto

A mayor altura de vertido, puede influenciar en la entrada de aire en el concreto plástico, por lo tanto debe de haber una modulación adecuada que permita o restrinja la colocación de concreto a una altura de hasta 6 metros. Una altura mayor de caída que esta, traería inconvenientes como segregación o sangrado, a menos que se ocupen aditivos que mejoren la consistencia del concreto.

Diferentes formas de distribución mejoran las condiciones de fraguado en el concreto fresco, optimizando la colocación con bombeo y algún aditivo que mejore la trabajabilidad puede ser una buena solución para limitar las deficiencias en el concreto.

³ Sangrado: Es una forma de segregación en la cual una parte del agua de la mezcla tiende a elevarse a la superficie de un concreto recién colado.

Capítulo 2: Encofrado tradicional industrializado

Los encofrados industrializados tienen la misma función que una cimbra convencional de madera, sin embargo las cimbras industrializadas están especialmente diseñadas para soportar las cargas ejercidas en el encofrado.

El material con las que están hechas es primordialmente de metal, compuestas también por aleaciones en algunos de sus aditamentos. Por su parte, el material de la cara del panel que tiene contacto con el concreto es de componentes lisos fenólicos o plásticos que dan un buen acabado aparente; es por ello que resulta más fácil modular un encofrado industrializado que uno artesanal como el de madera.

Para los paneles o marcos rígidos, el material con el que esté hecho depende de la calidad del acabado superficial que se desee obtener una vez descimbrado. Consideraciones adicionales para la obtención de un buen acabado es que los moldes deben de estar limpios cada vez que se utilizan, suprimiendo cualquier suciedad y restos de concreto. Así mismo, debe de asegurarse la estanqueidad del encofrado, evitando fugas de lechada⁴ y pérdida de agua; si llega a ocurrir lo anterior, impacta en la resistencia final del elemento, desfavoreciendo su comportamiento estructural por la posible discontinuidad.

2.1 Encofrado tradicional Ulma

En función del tipo de acabado que se requiera, del área a colar, de la función estructural del elemento, del espacio que se ocupe y de los recursos económicos se determina el tipo de encofrado óptimo a utilizar. Ulma cuenta con muchos tipos de cimbras que responden a diversas necesidades; desde encofrados verticales, horizontales y especiales (que priorizan la geometría de cualquier tipo).

A continuación se analiza el panel tipo Orma; este encofrado industrializado es muy robusto y todo terreno, se requiere de la utilización de grúa para izarlo debido al peso de los paneles. Con este panel se minimiza la falla por cualquier eventualidad.

⁴ Lechada: La lechada se compone de una mezcla de agua, cemento, arena, y a veces con grava fina.

Debido a que este panel es multifuncional, se utiliza en los sistemas de encofrados trepantes y autotrepantes. La diversidad de formas con la que puede modularse permite implementarlas en la edificación urbana y en las obras civiles.

2.2 Encofrado modular Orma

El sistema está compuesto por paneles unidos mediante grapas y que en conjunto forman a la cimbra, además, este sistema cuenta con múltiples elementos que permiten formar diferentes geometrías de manera integral. El tipo de acabado que proporciona este encofrado es aparente de buena calidad.

Lo conforma un marco rígido, el cual se le denomina (Panel), también lo configura un tablero (que es la cara de contacto con el concreto plástico). El material del tablero de contacto es de un recubrimiento fenólico que posee 18 mm de espesor, lo que conlleva a una gran durabilidad de aproximadamente 50 usos.

Características del encofrado tipo Orma

El panel tipo Orma admite una presión de concreto máxima de diseño equivalente a 60 kN/m^2 y la flecha máxima admisible de diseño es de 60 kN/m^2 (Ulma Construction, s.f. a).

Para el panel tipo Orma hay 2 alturas diferentes y múltiples anchos, con esto se puede modular de diversas formas al encofrado; es decir, configurando adecuadamente un panel se pueden cubrir múltiples espacios.

A continuación se muestra la tabla 1 con el concentrado de paneles disponibles para modular las cimbras, obtenido del catálogo “encofrado modular Orma” de Ulma. La aplicación de dichos paneles puede incluirlo en obra civil, bajo la construcción de pilares para puentes, construcción de muros de retención a una cara, elaboración de zapatas, etc. y en la edificación urbana bajo la aplicación de cualquier requerimiento de muros, pilares, estribos y zapatas.

Uno de los inconvenientes de esta cimbra es que es demasiado pesada en las gamas de mayor dimensión, es por ello que el uso de la grúa es imprescindible en este tipo de cimbra industrializada.

Gama 2.70 m	Peso (kg)	Gama 1.20 m	Peso (kg)
Panel 2.7 x 2.4 (6.48 m ²)	363	Panel 1.20 x 1.20 (1.44 m ²)	89
Panel 2.7 x 1.2 (3.24 m ²)	167	Panel 1.2 x 0.9 (1.08 m ²)	70
Panel 2.7 x 0.9 (2.43 m ²)	134	Panel 1.2 x 0.75 (0.9 m ²)	62
Panel 2.7 x 0.75 (2.03 m ²)	120	Panel 1.2 x 0.6 (0.72 m ²)	54
Panel 2.7 x 0.6 (1.62 m ²)	105	Panel 1.2 x 0.45 (0.54 m ²)	42.3
Panel 2.7 x 0.45 (1.21 m ²)	86	Panel 1.2 x 0.3 (0.36 m ²)	34.5
Panel 2.7 x 0.3 (0.81 m ²)	69		

Tabla 1. Compendio de las medidas del panel modular ORMA 60.

Los paneles se pueden utilizar de manera horizontal y de manera vertical, favoreciendo la integración para cubrir diferentes espacios, además se utilizan diversos aditamentos que en el siguiente punto se abordan.

Con la modulación de las diferentes alturas y anchos, así como el uso indistinto vertical u horizontal permite tratar múltiples áreas de encofrado, como se muestra en la fig. “3 y 4”.

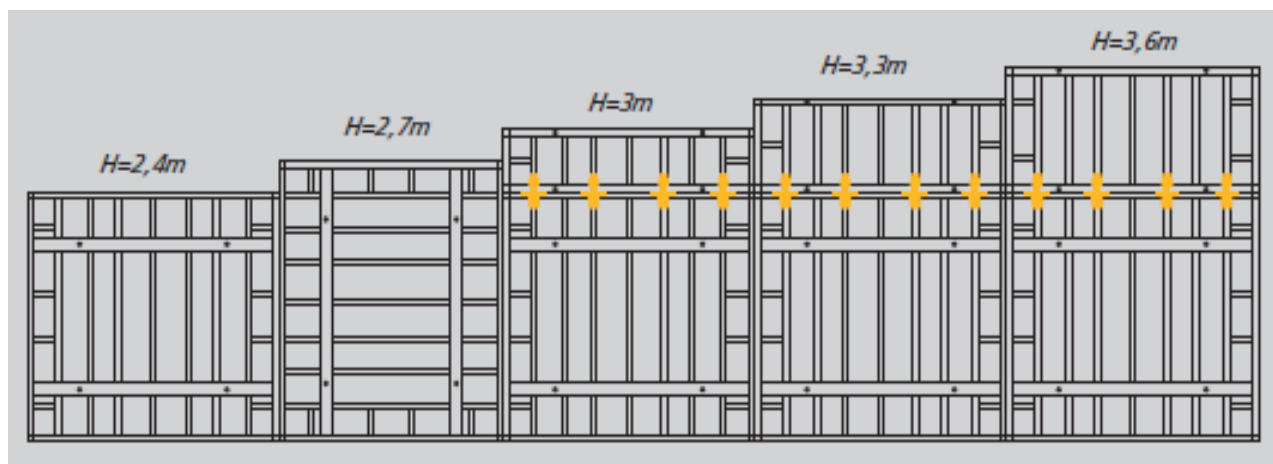


Fig. 3. Rango de altura desde 2.4 m a 3.6 m del panel Orma. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

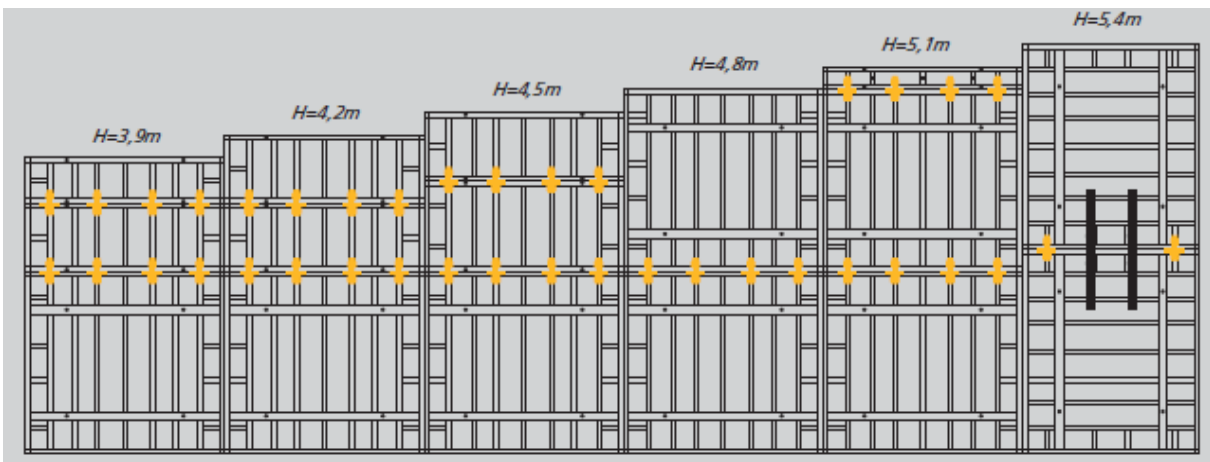


Fig. 4. Rango de altura desde 3.9 m a 5 m del panel Orma. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

Con la modulación de diversas alturas, uniendo las diferentes gamas de anchos se pueden obtener múltiples alturas como se ejemplifica en las imágenes anteriores, para ello se utilizan grapas de unión diseñadas especialmente para el soporte del encofrado, garantizando la estanqueidad entre paneles.

El resumen de las anchuras son: 0.3 / 0.45 / 0.6 / 0.75 / 0.9 / 1.2 / y 2.4 m con una amplia gama de paneles, siendo el de mayor área el panel de 2.4 m * 2.7 m (6.48 m²).

2.2.1 Unión de paneles tipo Orma

La unión de los paneles se da mediante grapas. Las funciones primordiales de las grapas son: rigidizar, unir y alinear a los paneles. Su instalación es muy simple; con un martillo y un golpe se puede unir sin mayor dificultad (ver fig. 5).

Hay dos tipos de grapas que permiten el confinamiento del encofrado; por su parte la regulable permite unir otro elemento de compensación para el cierre de los paneles, en cambio las grapas fijas no admiten compensaciones.

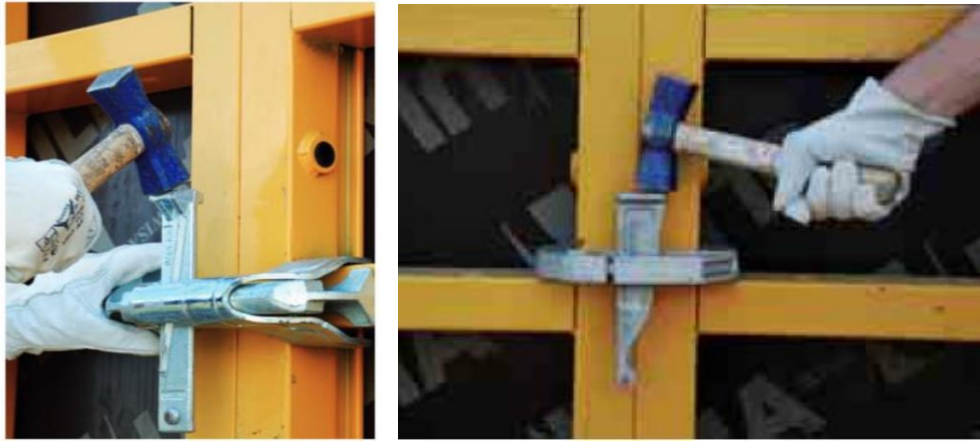


Fig. 5. A la izq. ejemplo de colocación de grapa tipo regulable y a la der. ejemplo de colocación de grapa tipo fija. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

Como lo muestra la fig. 5, para que el cierre de la grapa quede bien establecido se coloca un aditamento en forma de barra plana que permite sellarla con un golpe de martillo. La forma de instalación de cada grapa es manual, formando paneles para después izarlos con la ayuda de grúa para su posterior posicionamiento.

Los paneles tipo Orma tienen orificios laterales que facilitan los cierres de muro, logrando así el mínimo remate en las esquinas o compensaciones como se muestra en la fig. 6.

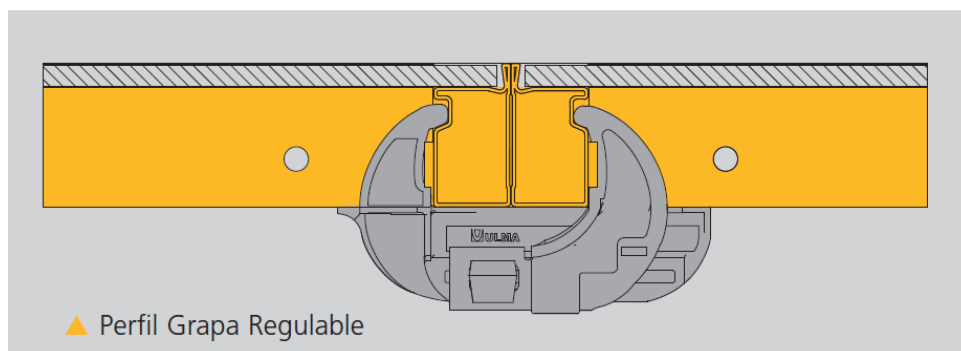


Fig. 6. Detalle de la grapa regulable tipo Orma; también se detalla el orificio lateral que facilita los cierres de muro. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

La grapa regulable permite colocar un aditamento de compensación, dicho elemento sirve de retribución cuando un panel no cierra por sí mismo a tope, es por ello que es necesario el uso de elementos que ayuden a cerrar a los paneles del encofrado.

Por otra parte, la grapa fija Orma (ver fig. 7) no admite compensaciones, sin embargo garantiza una junta hermética.

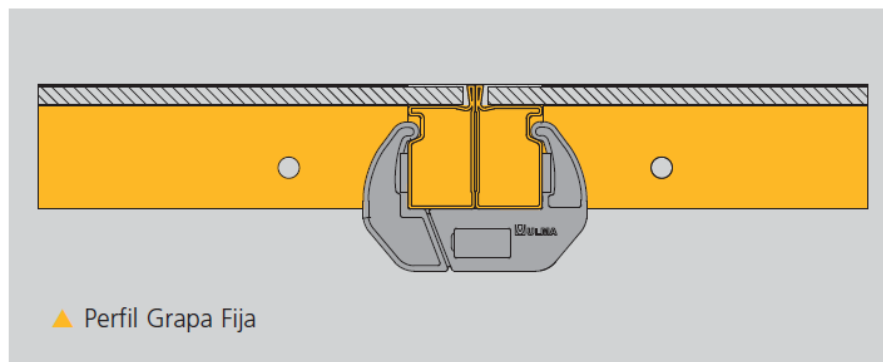


Fig. 7. Detalle de la grapa fija tipo Orma. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

El peso de la grapa fija es de 2.9 kg y el de la grapa regulable es de 5.5 kg. Estos elementos están especialmente diseñados para soportar los esfuerzos presentados en la unión de los paneles para la conformación de la cimbra. Cabe destacar que si se requiere, se usa una pieza llamada “berenjeno⁵” que además de servir para configurar chaflanes en esquinas de columnas, se utiliza para garantizar la estanqueidad de la mezcla en la cimbra; esta se coloca en las esquinas entre dos paneles a 90° para evitar la pérdida de lechada y de agua, sin embargo, la pieza es cara y consumible.

Recordemos que es primordial garantizar la estanqueidad para avalar la resistencia de diseño y así evitar grietas y oquedades en el concreto endurecido, a partir de esto es posible la utilización de berenjenos en el sistema, principalmente en la elaboración de columnas.

2.2.2 Compensaciones entre paneles

En algunas ocasiones, se tiene la necesidad de ajustar el cierre entre paneles, lo cual es muy importante para garantizar la estanqueidad de la mezcla no fraguada, por lo cual se han creado ciertos aditamentos que compensan el cierre entre paneles. Estas compensaciones pueden ser elaboradas de madera o en su defecto pueden ser metálicas, solo que con un cambio sustancial en los orificios de la compensación metálica, siempre garantizando el correcto confinamiento.

⁵ Berenjeno: Se utiliza, principalmente, para achaflanar dentro de un encofrado y se pueden fabricar en multitud de materiales diferentes.

Si la compensación es menor a 10 cm, la unión se da mediante grapas regulables como se muestra en la fig. 8, además se utiliza una barra roscada por compensación y una tuerca placa campana.



Fig. 8. Compensación de madera abrazada por una grapa regulable. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

Por otro lado, para una compensación superior a 10 cm no es viable el uso de grapas regulables, debido a que sobrepasa la capacidad de abertura de la grapa; entonces se utiliza una chapa de compensación o bien se puede completar la retribución con perfiles de madera, de tal manera que permita cerrar al encofrado integrando rigidizadores.

La chapa es un aditamento utilizado en Ulma para resolver las compensaciones que son grandes, diseñada para soportar las cargas laterales que ejerce el concreto fresco.

A continuación se presentan las compensaciones más comunes en el sistema de encofrado Orma.

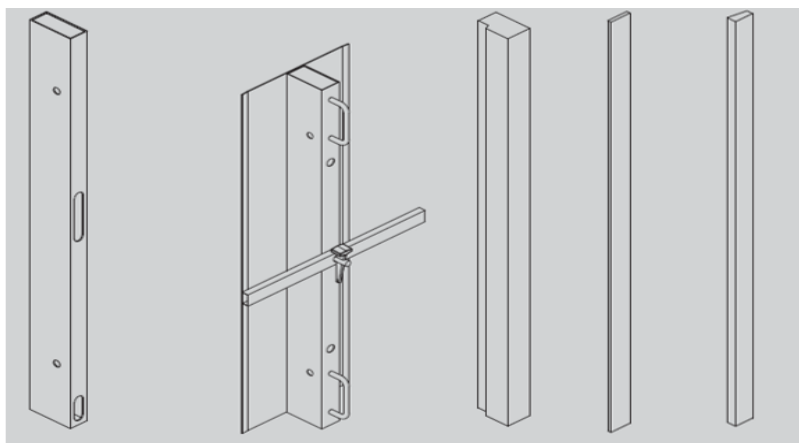


Fig. 9. De izq. a der. tubo compensador, chapa compensador, perfil de madera, compensación de madera y taco madera bisel respectivamente. Adaptada de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA*.

2.2.3 Escuadras fijas, escuadras interiores y exteriores giratorias

Estos aditamentos permiten realizar encuentros de muros en el ángulo requerido, se ocupan para cerrar las esquinas de los encofrados y garantizar estanqueidad, para ello hay múltiples soluciones.

Esquina a 90 °

En las esquinas interiores a encofrar, se utiliza la escuadra interior (ver fig.10 a), la cual se coloca con grapas regulables, este arreglo admite compensaciones de hasta 5 cm soportadas por la tuerca placa campana.

Por su parte las esquinas exteriores pueden solucionarse de diferentes maneras:

- Con escuadra exterior (ver fig. 10 b)
- Panel a tope
- Panel pilar

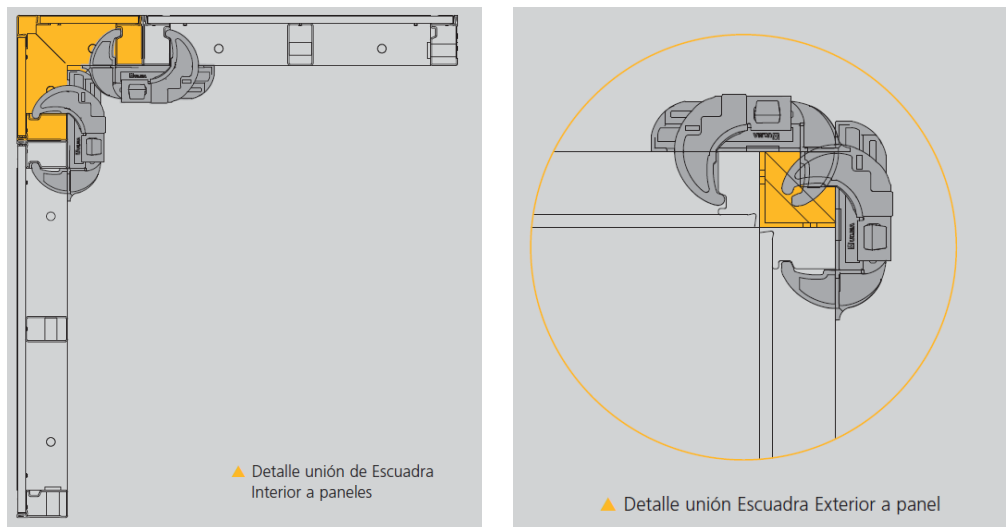


Fig. 10 a. Cierre de esquina utilizando escuadra interior. Y fig. 10 b. Cierre de esquina utilizando escuadra exterior. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

En la anterior imagen se muestra la resolución de esquinas unidas a partir de grapas regulables. Para el caso de las esquinas exteriores, se puede utilizar un panel a tope que cierre la arista del encofrado sin la necesidad de grapas. Así mismo, otra solución para los vértices exteriores es la utilización de paneles tipo pilar que ayudan a cerrar al encofrado.

Para esquinas que son disímiles a los 90 °

Se diseñaron escuadras giratorias exteriores e interiores para cubrir ángulos de 65 ° - 180 °, este aditamento de cierre permite la ocupación de esquinas complicadas que no son rectas; la implementación de estas escuadras es similar a las anteriores, su unión se da mediante grapas regulables (ver fig. 11).

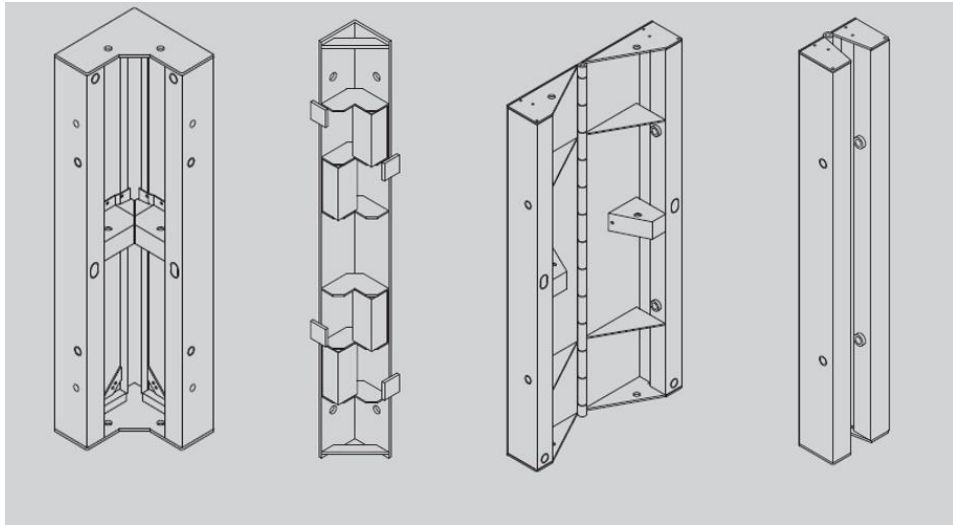


Fig. 11. De der. a izq. escuadra tipo interior, escuadra tipo exterior, escuadra interior giratoria y escuadra exterior giratoria. Adaptada de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

La imagen muestra el compendio de escuadras que maneja Ulma; existen dos diferentes alturas para el panel modular Orma, una de 2.7 m y otra de 1.2 m, las cuales son similares a las alturas que tienen los paneles modulares Orma 60.

Las últimas dos representaciones de la fig. 11 muestran la configuración de las escuadras con ángulo diferente a 90° en esquinas, su ocupación es polifacética para aquellas aristas que son difíciles de trabajar. Esta solución es viable dado que resiste la tracción que se genera al izar al encofrado.

Escuadra tipo retráctil para huecos interiores

Esta escuadra se utiliza en soluciones para pilares anchos o cuando lo requiera el encofrado vertical, sin duda lo que se busca es la estanqueidad y el correcto colado del elemento estructural (ver fig. 12).

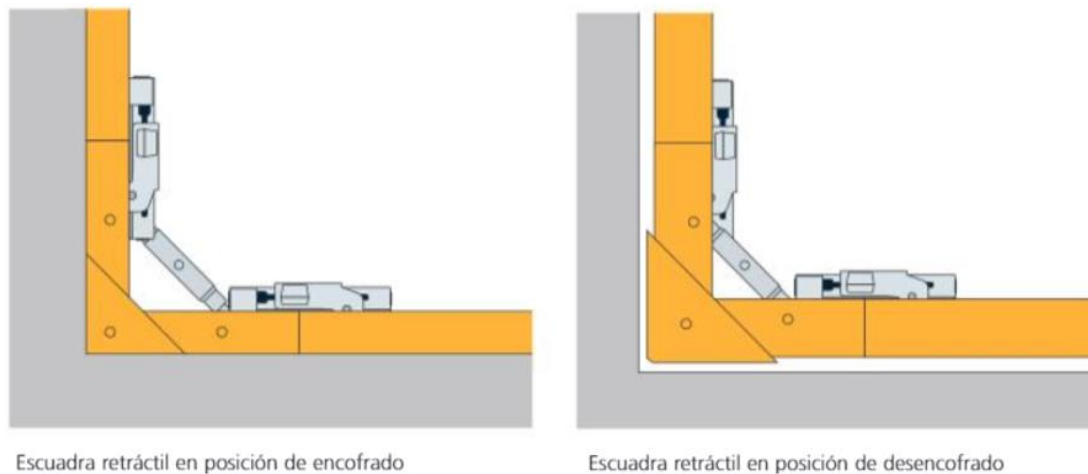


Fig. 12. Detalle de la escuadra retráctil. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

La escuadra tipo retráctil puede servir para mejorar el proceso de armado del encofrado, debido a la posición de la escuadra que se contrae y retrae al momento de cimbrar y descimbrar. Sin embargo, no suele utilizarse cuando se ocupa el sistema trepante o autotrepante, por lo tanto su función se limita al colado de columnas anchas.

2.2.4 Tipo de apoyo

Se les denomina puntales a los elementos que fungen como soporte, además, le dan estabilidad al encofrado, restringen movimientos laterales, controlan el plomo de manera adecuada y van apoyados sobre placas base en la parte inferior de los puntales y por la parte superior se sujetan al panel.

Se conforma por 3 partes:

Puntales o Tensores: Es un cuerpo tubular por el que se deslizan dos husillos⁶. Dependiendo de la altura de la cimbra, se puede utilizar más de un puntal que va desde 1 m hasta los 10 m.

⁶ Husillo: Tornillo metálico utilizado para el movimiento de las prensas y otras máquinas similares.

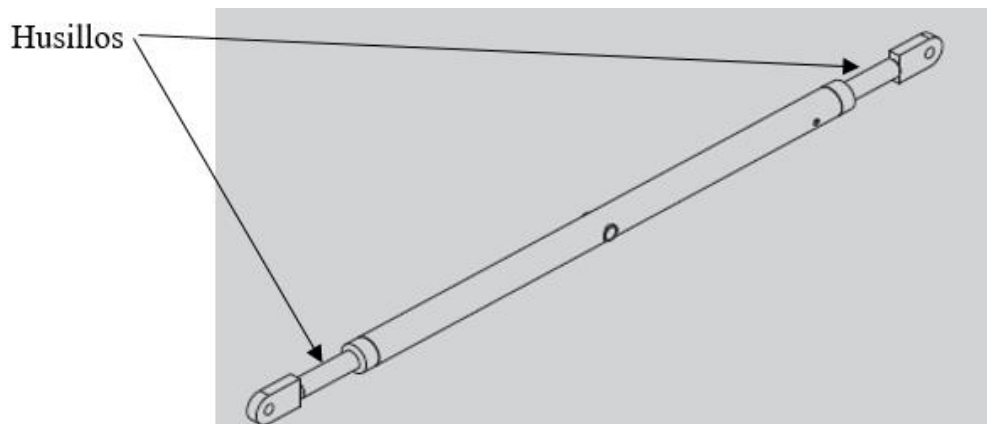


Fig. 13. Puntal. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

Cabezal: Es el elemento de unión entre el panel y el puntal, se puede colocar en las costillas verticales del encofrado como en las horizontales.

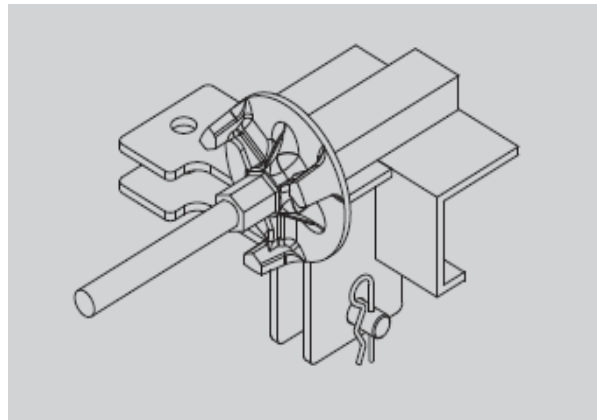


Fig. 14. Cabezal. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

Base estabilizadora: Esta es la pieza de anclaje a la plataforma, provista de orificios que permiten el amarre hacia la plataforma o cimentación de apoyo.

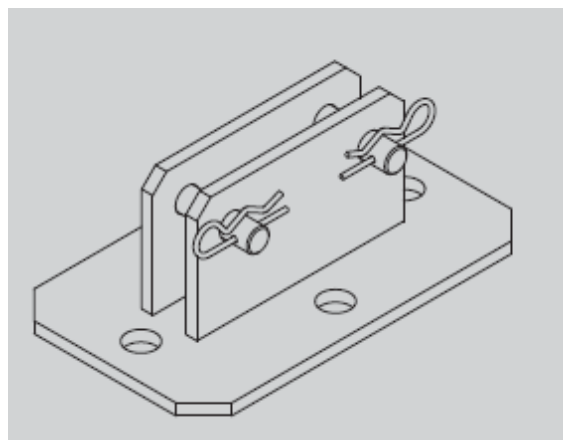


Fig. 15. Base estabilizadora. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

En resumen: El sistema de estabilización se utiliza para mantener firme el encofrado ante el viento y aplomar al encofrado una vez montado. Su diseño soporta cargas a compresión y tensión mediante los husillos.

2.2.5 Anclaje

Para mantener una correcta alineación de los paneles, también se requiere de un sistema de anclaje (ver fig. 16), el cual consiste en un cono, un tapón, un tubo distanciador, un obturador y la barra de anclaje con un diámetro entre 15 o 20 (mm) de diámetro (Besomi, 2009).

En la parte externa del encofrado se usa una tuerca placa campana, que es el elemento de amarre del sistema de anclaje y permite ligeras inclinaciones de las barras.

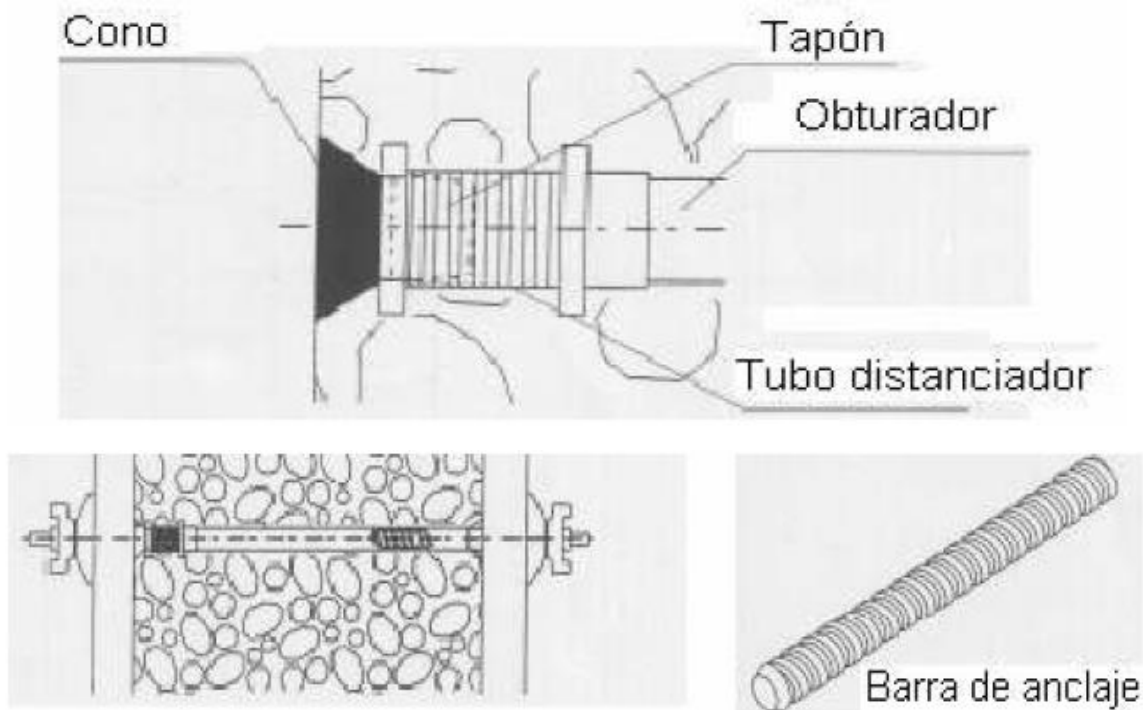


Fig. 16. Detalle del sistema de anclaje panel Orma. Recuperado de: Marco Besomi Molina, *Comparación técnica y económica entre moldajes auto trepantes y otros tipos de moldajes especializados para su uso en construcción de edificios*, p. 20.

La fig. 16 muestra la configuración del sistema de anclaje. El sistema ocupa un tubo distanciador que envuelve a la barra de anclaje, posteriormente se coloca un obturador el cual es una pieza de plástico con anillos circulares que recibe al tapón, esto garantiza la estanqueidad. Los orificios deben de ser tapados para garantizar la estanqueidad y evitar la fuga de lechada o material cementante.

El tubo distanciador que queda dentro del concreto fresco cumple la función de permitir una fácil recuperación de las barras de anclaje.

Los elementos consumibles en el sistema de anclaje Orma son los siguientes: cono terminal, tapón, obturador y el tubo distanciador, lo único recuperable es la barra de anclaje. Estos elementos consumibles son económicos y ya están considerados en el uso habitual del sistema para la recuperación de la barra de anclaje que funge como elemento de amarre en el encofrado.

Como es fundamental garantizar la estanqueidad en el sistema de encofrado, hay dos soluciones que se pueden adoptar:

Sistema Obturador 26 ⁷

Diseñado para soportar una presión equivalente a 10 m de altura de agua. Los elementos del sistema son los siguientes: Dos obturadores 26, un tubo distanciador, dos tapones y cuando así lo requiera el encofrado dos conos terminales en las esquinas para sellar a la barra de anclaje.

Sistema elemento estanqueidad DW15

Diseñado para soportar una presión equivalente a 70 m de altura de agua. Los elementos del sistema son los siguientes: dos conos terminales, tubo de pvc, 2 adaptadores DW15 y un elemento de estanqueidad DW15.

Las anteriores soluciones utilizan una barra de anclaje, que puede ser de distintas longitudes y de 15 mm o 20 mm de diámetro (dependiendo de las cargas sometidas por los empujes del concreto plástico); también, llevan tuercas placa campana que funge como aprisionador entre el marco del encofrado y la barra roscada.

⁷ Ulma y las otras empresas de cimbras industrializadas le llaman de distinta manera a sus sistemas de anclajes de encofrado y a los diferentes componentes que utilizan sus sistemas. Por ello, encontraremos una nomenclatura específica de Ulma en esta tesina.

2.2.6 Uniones en altura

Para el sistema Orma, se utilizan rigidizadores que favorecen la unión de los paneles (ver fig. 17), transmitiendo de forma eficiente a los marcos rígidos del panel las fuerzas generadas. También el uso de los rigidizadores estabiliza el izado de los paneles, restringiendo su movimiento y deformación por las fuerzas generadas al izar con grúa.

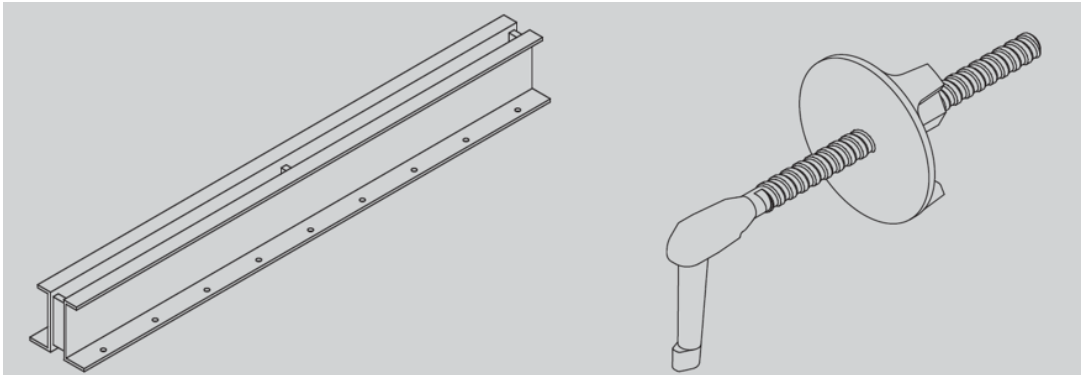


Fig. 17. Del lado izq. una barra rigidizadora y a la derecha una clavija rigidizador. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

El amarre de los rigidizadores se da con dos clavijas rigidizador que tiene la forma ejemplificada en la figura anterior, la forma acuñada final de la clavija permite fijarla al marco de los paneles. La función primordial del rigidizador es alinear las compensaciones que se vieron en el sub apartado 2.2.2, así como permitir la unión de distintos paneles de altura considerable como los conjuntos de 2.7 m en varios bloques (ver fig. 18).



Fig. 18. Ejemplo de utilización en paneles de 2.7 m de altura. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60*.

En los paneles que son altos, se requiere regular su movimiento y rigidizarlos, por ello se refuerza el marco exterior para mejorar el comportamiento del encofrado.

2.2.7 Cierre de muro o encofrado

Se puede realizar por medio de rigidizadores, fijando el rigidizador mediante ganchos de cierre que van amarrados al perfil del encofrado. También se pueden efectuar los cierres con el mismo panel a tope o con escuadra exterior asegurada con grapas.

Las soluciones técnicas para el cierre de muros de concreto son múltiples; abarcando desde la utilización de barrotes de madera que se anclan a los rigidizadores y que estabilizan el cierre; así como con paneles esbeltos que se colocan a tope y se aseguran con grapas. Los cierres también se hacen con escuadras fijas o escuadras giratorias como se vio en el sub apartado 2.2.3.

2.2.8 Seguridad

Se emplea un aditamento que permite mayor seguridad al colar los elementos. El uso de la plataforma de seguridad Orma, hace un trabajo más seguro cuando se tienen alturas considerables.



Fig. 19. Plataforma de seguridad. Recuperado de: Ulma Construction, *Catálogo encofrado modular ORMA 60.*

La utilización de este aditamento es prescindible cuando se utilizan encofrados trepantes y autotrepantes, dado que cada una de las plataformas que conforman a los anteriores encofrados contiene una plataforma especial para el colado.

2.2.9 Proceso de montaje del encofrado Orma

A continuación se detalla el montaje Orma, considerando que puede variar en función de la geometría requerida, la altura u otros medios auxiliares que se requieran para una obra en específico al momento de construir.

Procedimiento general basado del manual: Catálogo encofrado modular ORMA 60.

1. Colocar durmientes separados de forma adecuada para encimar al panel con el bastidor metálico hacia arriba, para luego unir los paneles con dos grapas regulables en la junta vertical.
2. Se monta el sistema estabilizador, conformado por tensores, cabezales y bases estabilizadoras.
3. En caso de ser necesario se instalan barandillas sobre los paneles mediante el cabezal frontal barandilla, pie de barandilla y los tableros o tubos.
4. Se colocan ganchos de izado, se eleva hasta la posición determinada y se ancla el conjunto.
5. Se arma el acero de refuerzo.
6. Repetir el proceso de instalación con el conjunto de paneles de la cara opuesta, considerando que la plataforma se hace a partir de una ménsula de trabajo y la barandilla con tablonés.
7. Se eleva el conjunto que se armó, por medio de ganchos de izado.
8. Se coloca el sistema de anclaje, que se fija mediante tuercas placa campana. Se colocan los tapes de muro.
9. Se garantiza la correcta ubicación del encofrado y de los anclajes para ejecutar el colado.

Dicho procedimiento de trabajo, puede variar en demasía debido a las condiciones de colado en las que se esté trabajando, por una geometría compleja o por el cierre de un panel conflictivo; las soluciones son diversas, como las que ya se estudiaron en puntos anteriores.

2.2.10 Manipulación y reparación del panel Orma

El apilado de los paneles se realiza en función del cuidado del tablero fenólico. Los paneles se deben colocar sobre bastidores en grupos de dos aproximadamente para evitar sobrecarga entre ellos, además debe de ir intercalado con un taco⁸ entre paquetes.

El izado de los paneles es por conjuntos armados y unidos con rigidizadores y/o grapas, se hace por medio de dos ganchos de izado Orma, los cuales permiten un adecuado manejo.

Para el montaje de los paneles, antes de empezar a armar al encofrado se debe colocar desencofrante en la parte del tablero fenólico. Para el desmontaje, una vez que se ha retirado el encofrado, se procede a su limpieza, almacenándolo de forma idónea en lugares lejos de la humedad.

2.3 Inconvenientes en el uso de sistemas tradicionales industrializados

Las dificultades que se tienen en el colado de estructuras con el uso de cimbras tradicionales industrializadas son muy semejantes a los problemas que pueden tenerse en un sistema tradicional manual y artesanal. Por ello, hay que tener especial cuidado en la correcta ejecución del ensamble de la cimbra, del armado del acero y del vertido del concreto.

En los siguientes apartados se examinan los problemas frecuentes en el uso de cimbras tradicionales industrializadas.

Mala colocación del encofrado (desplomes)

Lo que trae consigo, es que los elementos verticales pueden estar desplomados si no se cuida la vertical en la construcción del encofrado. Es por ello que se debe de tener adecuada atención para evitar el desplome de la estructura.

En las “Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería del 2017 mexicanas” considera la siguiente tolerancia para muros de mampostería:

⁸ Taco: Elemento auxiliar que puede ser de madera o algún otro material, tiene la función de calzar los materiales.

Tolerancias

- a) En ningún punto el eje de un muro que tenga función estructural distará más de 20 mm del indicado en los planos.
- b) El desplome de un muro no será mayor que 0.004 veces su altura ni 15 mm (NTC-MAMPOSTERIA, 2017, p. 40).

Lo anterior, sirve como referencia para verificar la tolerancia con respecto al desplome de los muros hechos de concreto. Por ello, se deliberan también las normas para concreto mexicanas y las recomendaciones de tolerancias para edificios de concreto por el ACI.

En el caso de muros de concreto ver **Anexo A** al final del documento, donde encontrará un resumen de los principales puntos referentes a la tolerancia de muros de concreto, empero, la información recaba en las “Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto del 2017 mexicanas” no son suficientes para dar un juicio exacto sobre la tolerancia vertical de edificios.

Por lo tanto se recurre a las recomendaciones de tolerancia del ACI para edificios de concreto colado en sitio:

- Alineamiento vertical

Para alturas de 100 pies o menos

i) Líneas, superficies y arribos.....1 ''

ii) Esquina exterior de columnas, esquina expuesta y ranuras de control de juntas en concreto expuesto a la vista..... 1/2 ''

Para alturas superiores a 100 pies

i) Líneas, superficies y arribos, 1/1000 veces la altura pero no más de.....6 ''

ii) Esquina exterior de columnas, esquina expuesta y ranuras de control de juntas en concreto, 1/2000 veces la altura pero no más de.....3 ''

- Alineación lateral

- i) Elementos..... 1 ''
- ii) En losas, la ubicación de la línea central de las aberturas de 12 '' o menores y la ubicación del borde de las aberturas más grandes.....1/2 ''
- iii) Cortes de sierra, juntas y empotramientos planos debilitados en losas.....3/4 ''

- Nivel de alineación

Parte superior de losas:

- i) Elevación de losas sobre rasante..... 3/4 ''
- ii) Elevación de las superficies superiores de las losas formadas antes de retirar las orillas de soporte..... 3/4 ''
- iii) Elevación de las superficies formadas antes de la eliminación de los agujeros.....3/4 ''
- iv) Dinteles, antepechos, parapetos, ranuras horizontales y otras líneas expuestas a la vista..... 1/2 ''

- Dimensiones de la sección transversal

- i) Elementos, como columnas, vigas, pilares, muros (solo espesor) y losas (solo espesor) con dimensión de 12 '' o menos..... + 3/8 '' - 1/4 ''
- ii) Más de 12 pulgadas de dimensión pero no más de 3 pies de dimensión.....+ 1/2 '' - 3/8 ''

iii) Más de 3 pies de dimensión..... + 1 '' – 3/4 ''

- Alineación relativa:

El desplazamiento entre piezas adyacentes del revestimiento de encofrado no debe exceder:

Clase de superficie

Clase A.....	1/8 ''
Clase B.....	1/4 ''
Clase C.....	1/2 ''
Clase D.....	1 ''

(ACI, 1989, p. 9)

En el ACI, la clase A alude a superficies que están expuestas al público, es decir que la imagen juega un papel muy importante. La clase B, es para áreas rugosas que reciben un acabado final después de colar. La clase C, es un espacio expuesto permanentemente cuyo acabado final es aparente. La clase D, es una superficie de acabado mínimo, no importa la rugosidad que se tenga porque el elemento está oculto.

Mal vibrado y oquedades por la pérdida de lechada debido al mal sello del encofrado

El tipo de vibración que se implemente para reducir los vacíos en el concreto resulta en el impacto que tendrá la estructura del encofrado. Utilizando un vibrador interno de inmersión resulta más conveniente que uno externo, esto último debido a que con la implementación de un vibrador interno se minimiza la sobrecarga en el encofrado y la estructura en general, permitiendo que la cimbra no se mueva y con ello se evite la abertura causando pérdidas de lechada en el concreto. Si hay pequeños resquicios por donde se fugue la lechada, establece disminución de resistencia en el concreto, homogeneidad y aumento de grietas, además de que se pueden producir fallas globales en el sistema de encofrado.

Si se requiere re-vibrar al concreto para mejorar la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo, se puede hacer siempre y cuando no se toque al acero de refuerzo con la aguja del vibrador, dado que al estar el concreto en estado semiplástico produce pérdida de adherencia con las barras del acero de refuerzo y genera fisuras sobre las armaduras.

Si se adopta una vibración externa, hace que la forma contusione contra el concreto y esto causa variación en la presión lateral del encofrado. Por ello, desestabiliza de forma significativa al sistema y debido a esto no es conveniente el uso de vibradores externos.

Poco recubrimiento

Una mala colocación de las cimbras también puede generar menos espacios de recubrimiento que el que se propone en proyecto. Lo cual no es conveniente, porque un mal recubrimiento de concreto en las varillas del acero trae consigo una mayor propensión al intemperismo, además se disminuye la durabilidad y es más susceptible a la intrusión de agentes líquidos / corrosivos.

Fisuras en el concreto

Es primordial un buen curado del concreto para evitar las fisuras, estas son generadas por variaciones de volumen provocado por la retracción hidráulica efecto de la intrusión de humedad, o por retracción térmica efecto del cambio brusco de temperatura.

De cualquier manera, resulta muy importante diseñar un buen concreto, con cualidades de durabilidad y resistencia al intemperismo; que incluya además un recubrimiento óptimo para suprimir la intrusión de agentes corrosivos y cuidando hacer un buen curado para soslayar las fisuras que le dan mal aspecto a la estructura y en el peor de los casos dañan la funcionalidad.

Capítulo 3: Encofrado trepante

3.1 Sistema trepante

El sistema de encofrado trepante es un método constructivo novedoso que tiene la gran ventaja de no necesitar apoyarse en el suelo, sino mediante el mismo muro que se va construyendo. Funciona mediante pies de anclaje que se sumergen en el colado y que por ende se apoyan en el concreto endurecido de las fases anteriores, además tiene el cometido de servir para conformar la nueva fase de trabajo (plataforma de trabajo).

El ciclo del cimbrado es de aproximadamente 4 días, esto depende del avance en obra y al tipo de concreto empleado, donde de manera general se hace lo siguiente:

Día 1: Se coloca el armado de acero de refuerzo.

Día 2: Se arman los paneles de encofrado para colocarlos por grúa en el elemento a colar.

Día 3: Se procede a colar el elemento encofrado.

Día 4: El concreto debe de tener una resistencia adecuada para poder empezar nuevamente el ciclo y trepar al encofrado.

Lo anterior está supeditado a las pruebas de laboratorio que muestran el porcentaje de resistencia adquirido de un día para otro. Al trabajar con muros de concreto la resistencia típica es arriba de 250 kg/cm², si dichas pruebas confirman que al día siguiente se tiene una resistencia mayor a 150 kg/cm² es viable el siguiente trepado, sin embargo, en consolas muy pesadas es requerida una mayor resistencia en el muro para poder hacer el siguiente trepado. Generalmente se espera a que el concreto alcance una resistencia mínima de 150 kg/cm² para poder apoyar el sistema en la siguiente posición.

Recordemos que en función del concreto que se utilice podemos acortar o alargar el tiempo de fraguado, en este caso es conveniente utilizar un concreto de alta resistencia inicial. Sin embargo, el costo de obra por la utilización de este tipo de concreto se ve incrementado significativamente.

Los factores que inciden en el desarrollo de la resistencia del concreto son los siguientes:

- El tipo de cemento que utilizemos y contenido de cemento
- Influencia de los agregados
- Temperatura del concreto (medio ambiente)

- Relación agua / cemento
- Curado
- Dimensiones del elemento construido

Cada uno de los factores anteriores va a impactar directamente en la rapidez y eficacia con la que se avance la obra. Por lo tanto, es muy importante determinar qué tipo de concreto se va a utilizar; si se utiliza un concreto normal, la resistencia a la compresión típica luego de 24 horas es aproximadamente $f'c = 251 \text{ kg/cm}^2$, y si se opta por añadir aditivo acelerante al 2% (SPC)⁹ se aumenta aproximadamente a 350 kg/cm^2 , lo que representa un aumento porcentual del (39%). Lo anterior nos indica que con un concreto bien diseñado, se puede garantizar el buen comportamiento de la estructura a colar, a pesar de descimbrar de un día para otro, cumpliendo con los ciclos antes mencionados.

3.2 Componentes del sistema trepante

En función del trabajo a realizar existen diferentes tipos de consolas de trepado. Dependiendo del tamaño del encofrado, de la dimensión de la plataforma de trabajo requerida o necesidad de retranqueo de los paneles pueden adoptarse diferentes componentes en el sistema de trepado, siendo los componentes más usuales los siguientes:

i) Paneles: Los paneles utilizados en el sistema trepante son múltiples, siendo así el panel más utilizado el estudiado en el capítulo 2.

ii) Elementos de conexión: Conformado por un sistema de anclaje.

El sistema está basado en un cono de anclaje, que por un lado lleva una barra roscada y un pie de anclaje, tal y como se muestra en la figura 20. Por el otro lado se ancla / ata mediante un tornillo y un encaje en el que se soporta la estructura de trepado.

⁹ SPC: Sobre peso del cemento.

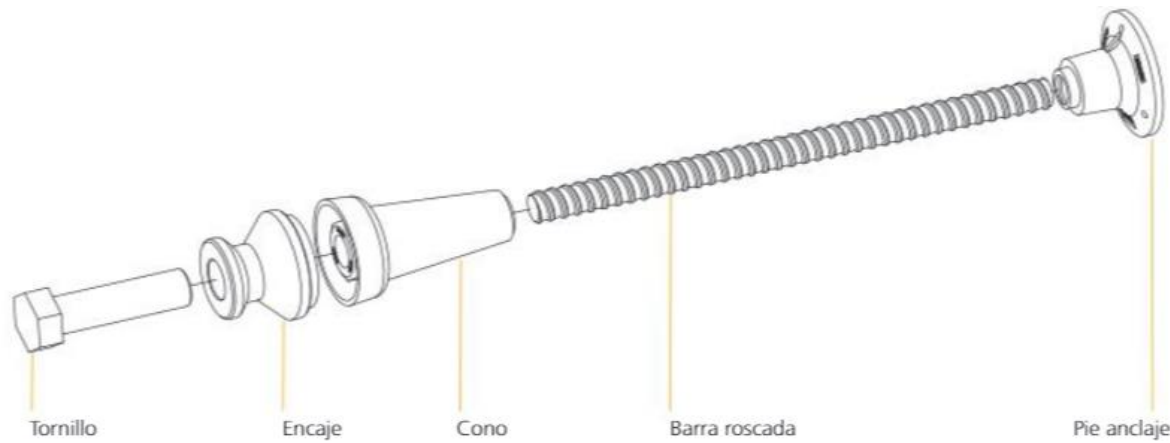


Fig. 20. Detalle del sistema de anclaje para encofrado tipo trepante. Recuperado de: Ulma Construction, *Anclajes. Sistema de anclaje consola trepado.*

Los elementos recuperables son el tornillo, encaje, cono y si se requiere la barra roscada, aunque se sugiere que sea perdida; el cuerpo que siempre es consumible es el pie del anclaje.

En función de las cargas a soportar en el anclaje se tienen diferentes formas, tamaños de anclajes y diferentes aditamentos, desde las longitudes de barra roscada hasta la pieza de encaje en donde se asentará el sistema de trepado.

A continuación se muestra un esquema de las plataformas convencionales que hay en el sistema trepante.

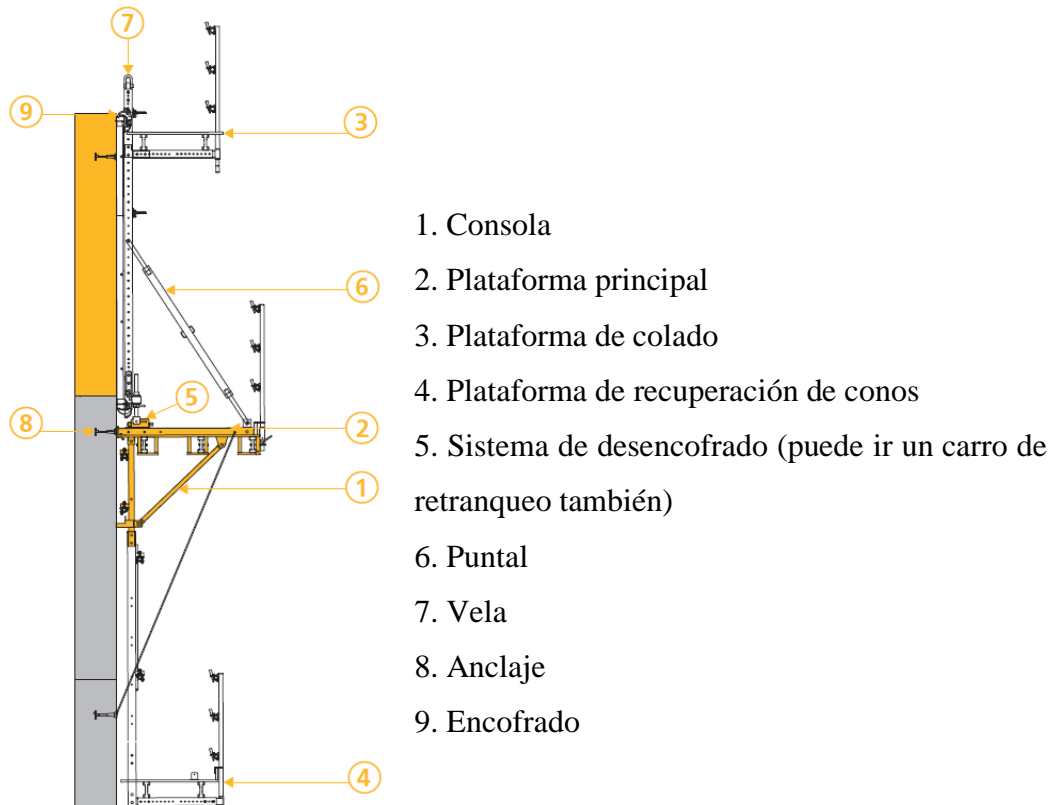


Fig. 21. Perfil de una consola típica de trepado. Recuperado de: Ulma Construction, *Sistemas de trepado convencionales.*

La anterior imagen muestra las partes principales del sistema trepante, se cuenta con tres plataformas: la plataforma de colado en la parte superior, la de trabajo en la parte media que es por donde los trabajadores acceden y pueden retranquear al módulo del panel para acercarlo o alejarlo del encofrado, y la plataforma de recuperación de conos.

Las cargas de diseño de cada una de las plataformas ensambladas varían mucho debido a que hay múltiples consolas que permiten enfrentar diferentes propósitos, empero, un acercamiento al manejo de plataformas en edificación es la siguiente en Ulma.

Plataforma	Capacidad de carga (kg/m ²)
Colado	152
Principal	305 - 500
Recuperación de conos	76

Tabla 2. Capacidad de carga de las plataformas en Edificación.

Para plataformas sometidas a mayores pesos debido a la conformación de paneles robustos que cubren mayor área de contacto se tienen valores mayores de capacidad de carga a las presentadas en la tabla 2, por ello es importante hacer una revisión de cargas para ver la viabilidad en la adopción de un sistema trepante y si es adecuado el reforzamiento de todas las plataformas antes mencionadas para el soporte de mayores esfuerzos.

En los puntos subsecuentes se detalla cada componente y la forma de trabajar de los mismos.

3.3 Funcionamiento de los elementos que conforman al anclaje

Cono AWF¹⁰:

La función del cono es fijar al anclaje, es decir que sirva como elemento de transmisión de esfuerzos generados en el encaje, en su lado estrecho se dispondrá de una rosca DW15 y en su lado más grande una rosca M24, estas roscas están delimitadas por un pasador elástico (Ulma Construction, s.f. b). Este cono permite el posicionamiento de la consola y en conjunto con el encaje amarra al sistema de trepado.

Encaje:

Es el elemento sobre el que se colocan las consolas de trepado, va unido por medio de un tornillo al cono AWF por la parte más ancha del cono.

Pie de encaje:

Es el elemento que se coloca en un extremo del encofrado, va anclado sobre una barra roscada DW15; este elemento es consumible, por lo cual no es posible su recuperación al fraguar el elemento cimbrado.

Tornillo:

Es el elemento que funge como conector del encaje y el cono AWF. Se utiliza el tornillo M24 con características de resistencia adecuadas para el funcionamiento del sistema, evitando deslizamientos y tracciones.

Barra Roscada:

Elemento que sirve de ensamble entre el pie de anclaje embebido en el concreto y el cono AWF.

Posicionador M24:

Este elemento se utiliza para aprisionar al sistema de anclaje del lado de la cimbra, justamente por la cara del panel fenólico. Cuenta con un orificio hexagonal, permitiendo su extracción por medio de una llave de la misma forma en la punta.

¹⁰ La nomenclatura o nombre de los elementos es en función del fabricante, en este caso Ulma Construction.

Llave de extracción:

Su función es recuperar la barra DW, del concreto ya endurecido.

A continuación (ver fig. 22) se muestra una configuración convencional del sistema de anclaje. Cabe destacar que algunas piezas quedan embebidas dentro del concreto, tal es el caso de: el pie de anclaje (elemento consumible), la barra roscada y el cono. Por otra parte los elementos que sobresalen del concreto son: el encaje y el tornillo que fija al sistema.

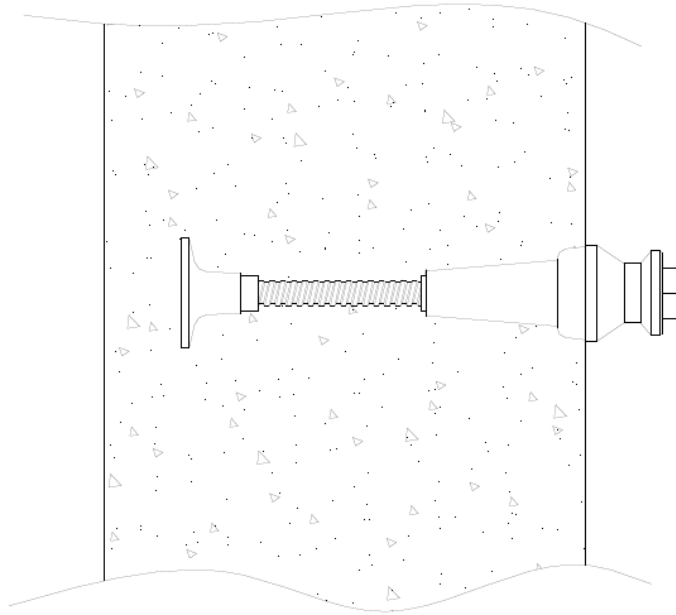


Fig. 22. Perfil idealizado del sistema de anclaje para encofrado tipo trepante. Recuperado de: Ulma Construction, *Anclajes. Sistema de anclaje consola trepado.*

Es muy importante cuidar la horizontal en la inclusión del pie de anclaje antes del colado, de no hacerlo así trae muchas complicaciones en las trepas subsecuentes. Por ello, hace especial el uso del posicionador, que sirve para colocar en el lugar correcto a los conos del anclaje.

En ocasiones, se requiere formar plataformas interiores para encofrar un cajón de elevador o en obra civil una columna con hueco interior, para lo cual es de suma importancia adaptar un sistema de encofrado trepante adecuado. Una solución integral y muy usada es la “plataforma interior KSP” que combina consolas de trepado en las caras exteriores para poder colar elementos huecos.

La plataforma KSP sirve de soporte del encofrado en huecos interiores y se fija mediante un encaje interior abatible que se retrae (ver fig. 23).

Para la ejecución de la plataforma se usa el sistema de anclaje DW15 (que es muy similar al sistema de anclaje AWF anteriormente estudiado); lo conforma un pie de anclaje, barra roscada DW15, cono DW15 y en lugar del encaje AWF visto, se prescinde de este elemento para ocupar un encaje interior abatible.

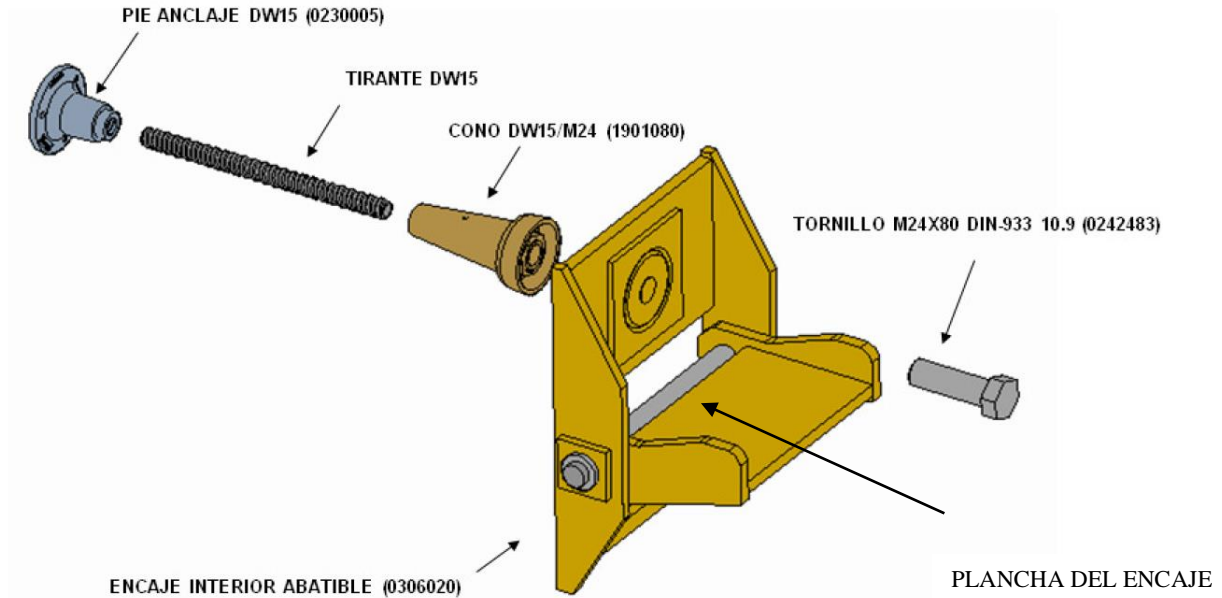


Fig. 23. Detalle del anclaje interior abatible, el tornillo se ata directamente al cono. Recuperado de: Ulma Construction, *Anclajes. Sistema de anclaje consola trepado.*

El anclaje interior abatible se utiliza en estructuras como cajones de elevador y en pilas huecas de puentes en obra civil. Es muy versátil y permite colar la parte central de una estructura de forma eficaz debido a que el “encaje interior” se retrae para dejar subir a la plataforma y después caer sobre la plancha del encaje.

3.4 Montaje y desmontaje del sistema de anclaje

Es de suma importancia evitar los desplazamientos en el acomodo de los anclajes, lo anterior puede suscitarlo la colocación del acero de refuerzo o el vertido del concreto fresco en el encofrado; es por ello que el concreto que se encuentra cercano al anclaje debe de ser cuidadosamente vibrado y la posición de los anclajes deben de ser perfectas según lo proyectado, evitando al máximo el movimiento de los conos.

Para resolver esta complejidad se han desarrollado diferentes procedimientos que a continuación se estudian.

Solución perforando al tablero

Procedimiento:

a) Se coloca al cono del lado más grande por la cara del encofrado fenólico, por el otro lado se superpone el encaje y el tornillo como se muestra en la imagen 24.

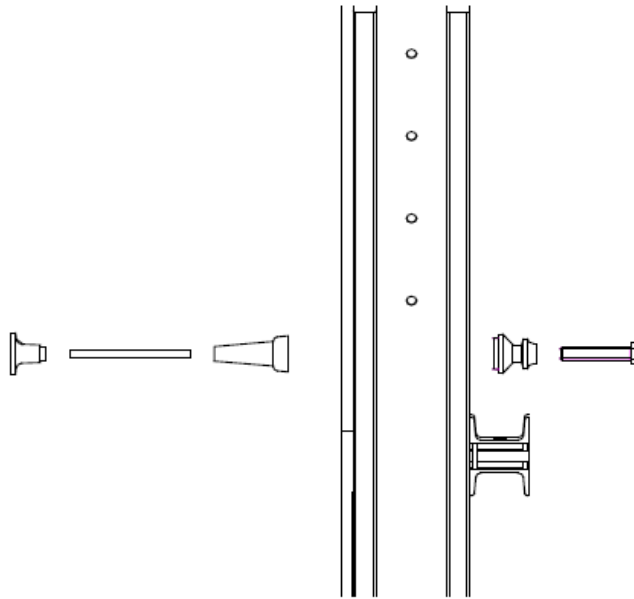


Fig. 24. Ilustración del actuar para la perforación de la cara del encofrado. Recuperado de: Ulma Construction, *Anclajes. Sistema de anclaje consola trepado.*

Se puede perforar la cara del tablero fenólico con un diámetro en función del tornillo utilizado para fijar al encaje, tal y como se muestra en la silueta 24. Esta es una solución viable, sin embargo, requiere de mantenimiento la cara perforada, lo que puede incrementar los costos si no se repiten varias veces el ciclo de este panel. Por ello es idóneo utilizarlo en las siguientes trepas en repetidas ocasiones para evitar el mantenimiento continuo a la cara del encofrado.

b) Se arma el conjunto pie de anclaje, barra y cono por la cara encofrante fenólica (ver fig. 25) y se sujeta por medio del “tirante cono-vela” o del “conector cono-vela” a través del aditamento velario y se fija por medio de una tuerca placa.

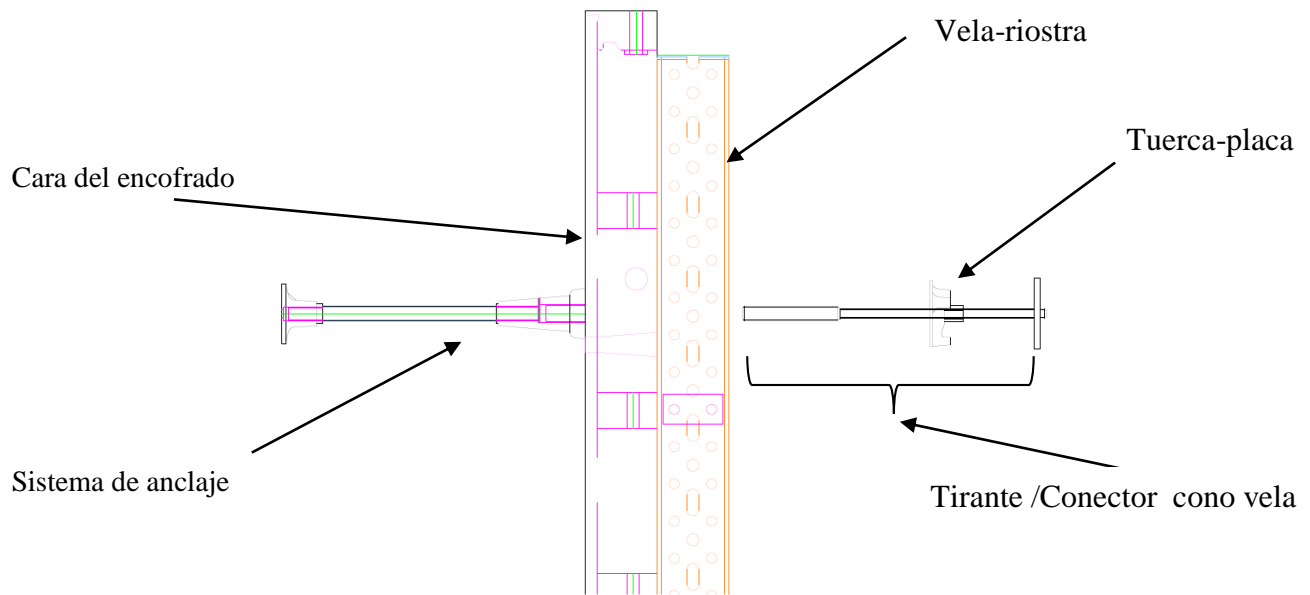


Fig. 25. Detalle de la perforación con aditamento tirante / conector cono vela. Adaptada de: Ulma Construction, *Anclajes. Sistema de anclaje consola trepado.*

La solución b, es muy similar a la solución a, con excepción de que se ocupa un aditamento llamado vela riostra para estabilizar a los módulos de los paneles que son grandes y robustos.

Una vez colado el elemento y alcanzada la resistencia adecuada, se descimbra tomando en cuenta que, primero se deben de liberar los elementos fijadores para poder colocar después los encajes junto con sus tornillos y consolidar a los conos embebidos en el concreto que fungen como apoyo para el sistema de trepado.

Para el arreglo “perforación del tablero” cabe destacar que una vez terminado el encofrado, se tendrá que resanar la parte perforada, lo cual conlleva a un incremento en el costo de mantenimiento. Por lo tanto, es conveniente usar el tablero perforado en repetidas ocasiones y en el mismo lado que se ha colocado, para evitar mayores perforaciones en la cara del encofrado y posteriores sanaciones.

Solución sin perforar tablero

Se procede de la siguiente manera:

Teniendo en cuenta la necesidad de un “posicionador cono” se sujeta con clavos al tablero para después colocar el cono DW, la barra rosca DW y el pie de encaje entre ellos, como se muestra en la figura 26.

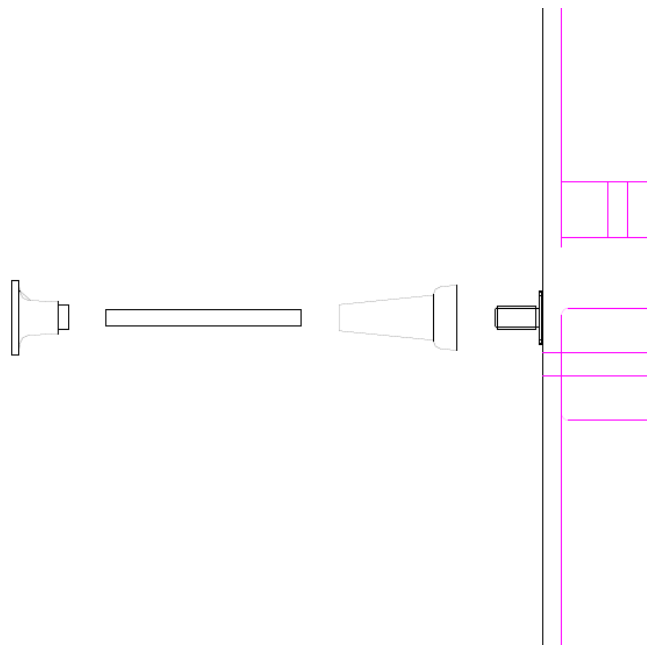


Fig. 26. De izq. a der. se colocan: el pie de anclaje, la barra roscada, el cono y el posicionador cono.
 Recuperado de: Ulma Construction, *Anclajes. Sistema de anclaje consola trepado.*

Una vez fraguado el concreto y alcanzada la resistencia adecuada para continuar la trepa, se retira el encofrado del concreto por medio de una llave Allen 12 mm ¹¹.

La ventaja de esta solución es que se puede utilizar el posicionador cono en cualquier clase de panel. Mencionado esto, existen paneles mucho menos robustos que el encofrado Orma, siendo el panel tipo Enkoform una de las soluciones más utilizadas por el tipo de acabado liso aparente que deja al desencofrar.

3.5 Recuperación de piezas

El cono para el anclaje es una pieza que se recupera, por ello es importante colocar grasa para facilitar su extracción. La pieza se retira con una llave de punta hexagonal dado que la cabeza o lado más grande del cono es de forma hexagonal como se muestra en la fig. 27.

¹¹ Sirve para atornillar / desatornillar tornillos que tienen cabeza hexagonal interior, medida en milímetros.

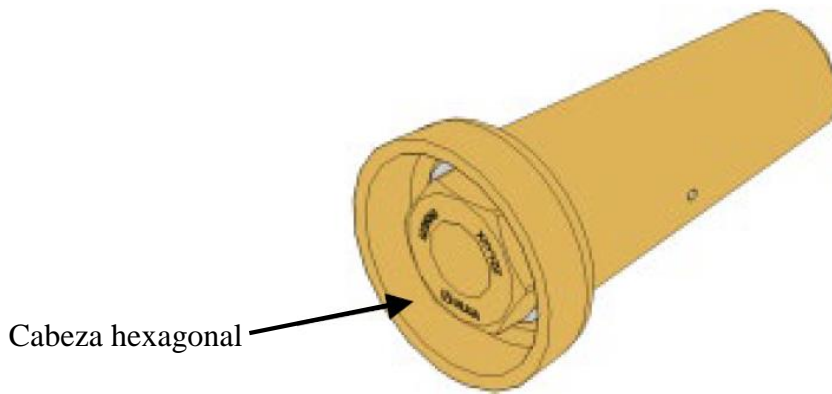


Fig. 27. Cono de cabeza hexagonal. Recuperado de: Ulma Construction, *Anclajes. Sistema de anclaje consola trepado.*

Como se explicó anteriormente el pie de anclaje es consumible, por su parte la barra roscada puede ser consumible o no ser consumible, aunque se recomienda la pérdida de dicho elemento del sistema de anclaje. No obstante, también es posible recuperarlo, forrándolo de un tubo distanciador de PVC y sellando todas las juntas de conexión de las piezas con cinta adhesiva. Dicha recuperación se hace con una llave de extracción.

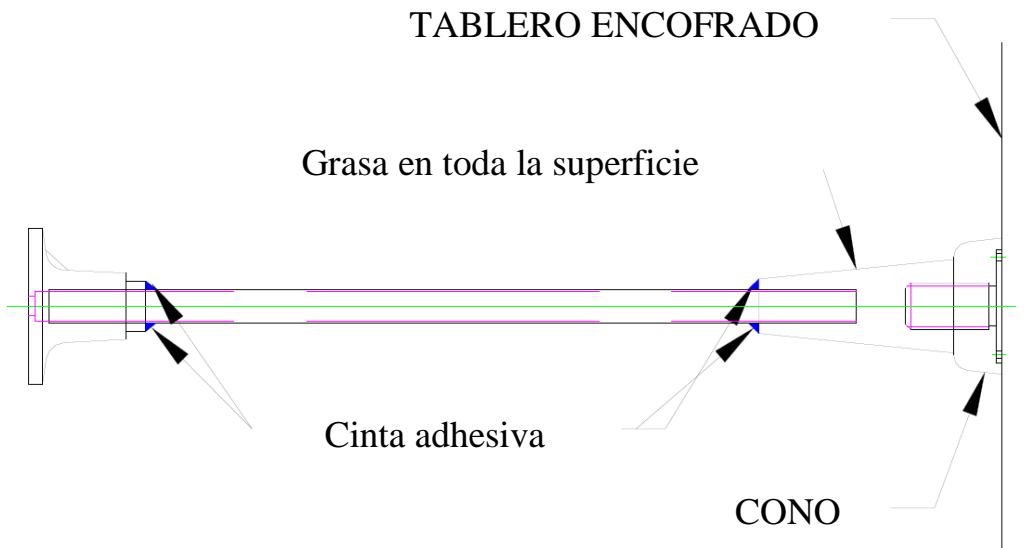


Fig. 28. Configuración para la recuperación de la barra roscada y el cono. Recuperado de: Ulma Construction, *Anclajes. Sistema de anclaje consola trepado.*

Lo anterior puede ser viable, empero habría que considerar los tiempos de ejecución para recuperar la barra roscada. Si no se hace un correcto sellado podría quedarse la barra atascada, algo totalmente contraproducente para el trabajo ejecutado.

Cubrir a las barras para recuperarlas puede ser no provechoso debido al armado de acero que se tenga; si contiene demasiada cuantía de acero, es posible que se dificulte el armado y sellado con cinta adhesiva, es por ello que los fabricantes recomiendan que la barra roscada sea consumible cuando el impacto monetario no se incremente significativamente por la pérdida de dichas piezas.

3.6 Uso de grúa en sistema trepante

Se necesita de asistencia técnica en este tipo de sistemas; consiste en la presencia de un técnico especialista en montaje que conozca el funcionamiento y armado del encofrado.

Es de suma importancia el uso de grúa en las cimbras trepantes y en el inicio de la cimbra autotrepante.

Montaje de consola trepante con trepa interior

El montaje lo debe de realizar el personal calificado, con estricta vigilancia y supervisión.

A continuación se analizan las variantes para el montaje de consolas trepantes, partiendo de las consideraciones del manual de Ulma: “Instrucción técnica de montaje `Consola trepante con trepa interior y encaje interior abatible”

Operación del montaje de trepas

1. Vallar la zona de trabajo en donde se esté operando la grúa.
2. En una superficie plana, apta para el trabajo a desarrollar en el montaje, se colocan calzas o fondillos de madera (ver siguiente imagen).



Fig. 29 a. Fondillos de madera. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

3 i. Encofrados formados por paneles modulares tipo Orma.

Se colocan elementos auxiliares reglamentarios de elevación de cargas en los paneles que componen a los paños.

Se trasladan a la zona de montaje con equipo de elevación mecánico de cargas y se posicionan según la configuración de los planos de trabajo.

Se unen los paneles mediante grapas, rigidizadores, tornillos, etc., según las especificaciones de los planos de montaje (ver fig. 29 b).

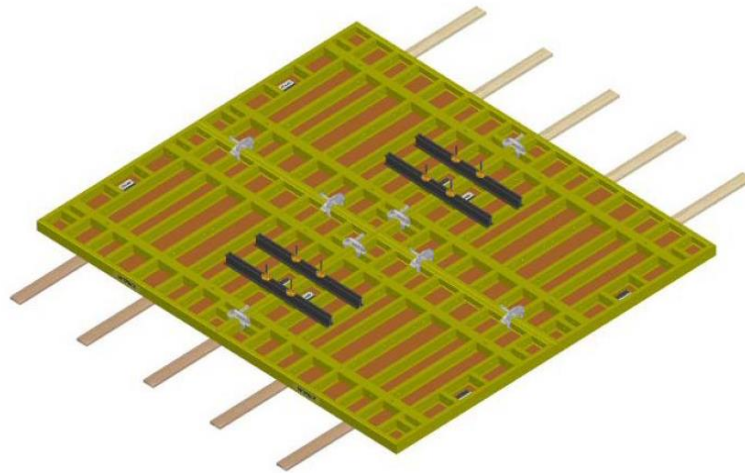


Fig. 29 b. Configuración terminada de la formación de un panel. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje.*

3 ii. Encofrados formados por paños¹² tipo Enkoform (ver fig. 29 c).

Se colocan riostras paralelamente a la distancia indicada por los planos.

Se colocan vigas paralelamente a la distancia indicada por los planos, sobre las riostras, de manera ortogonal a estas, y se forra con material encofrante (tablero fenólico), según planos de montaje.

¹² Los paños también son llamados paneles modulares, se menciona indistintamente.

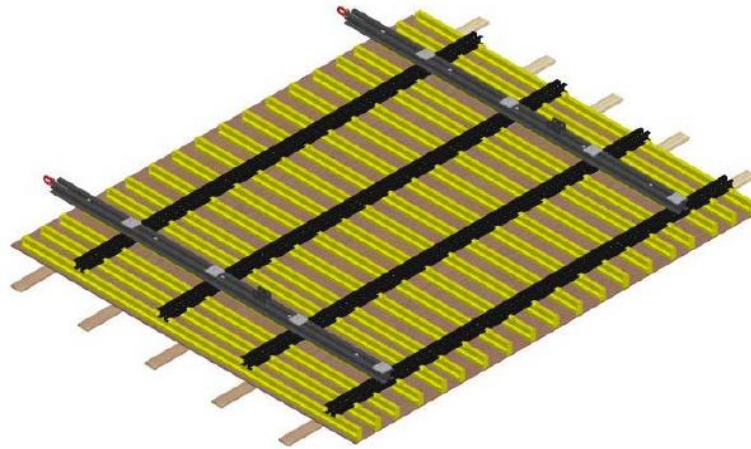


Fig. 29 c. Configuración terminada de la formación de un Paño. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje.*

4. Se repite la secuencia tantas veces sea necesaria para formar la modulación de encofrado.
5. Se fijan / ubican los orificios en donde irán los conos de anclaje en los paneles, justo como se analizó en el punto 3.4 “Montaje y desmontaje del sistema de anclaje”
6. Se colocan las velas¹³, los grilletes de izado y los puntales en la parte baja del encofrado (ver fig. 29 d).

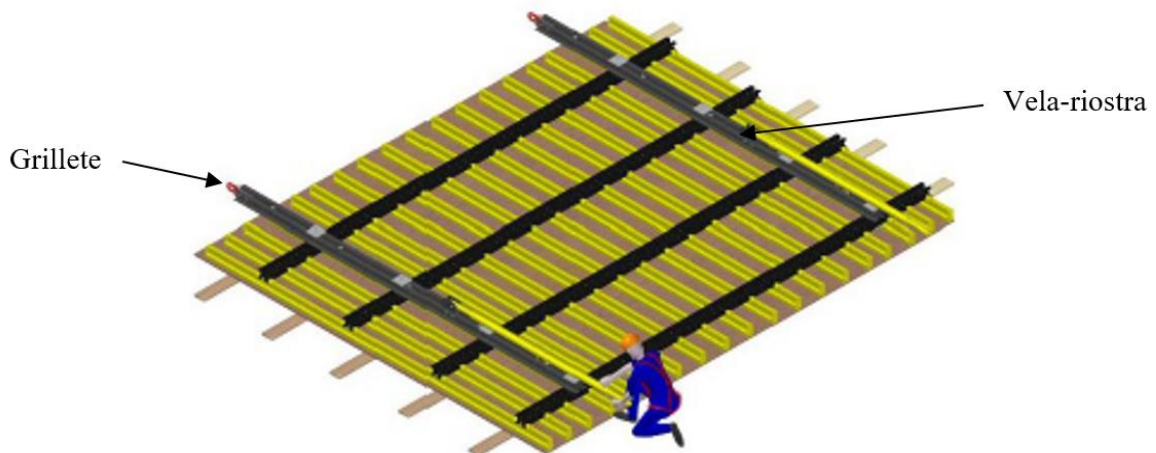


Fig. 29 d. Colocación de vela y grillete. Adaptada de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje.*

¹³ Las velas son elementos perforados que sirven para fijar a los paneles del sistema de encofrado.

7- Se colocan las ménsulas de trabajo en las velas, según lo indicado por los planos de montaje.
Se colocan vigas sobre las ménsulas y se forran hasta confeccionar una plataforma.
Se colocan los pies de barandilla en las ménsulas.
Se colocan barandillas y rodapiés.

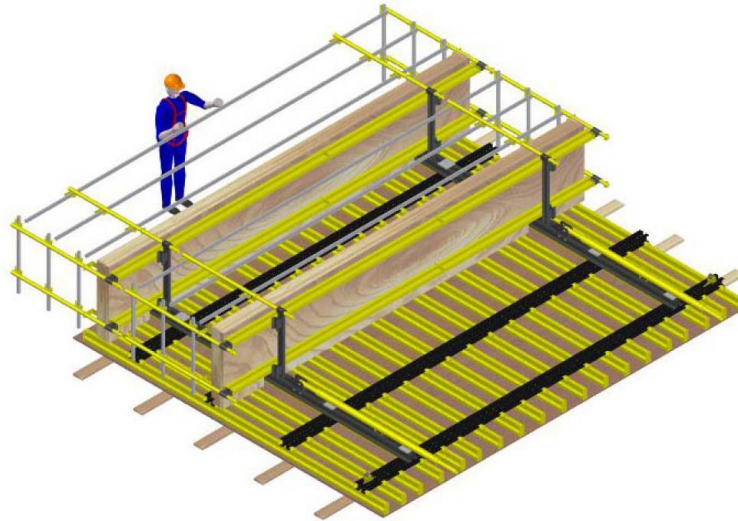


Fig. 29 e. Colocación de ménsula, pies de barandilla y rodapiés. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje.*

8- Se repiten el paso 6 y 7, con cuantas plataformas hayan de montarse, según lo indicado en el proyecto.

9- Se colocan las escaleras superiores de acceso desde la rasante a las plataformas, arriostradas en los paños montados con anterioridad.

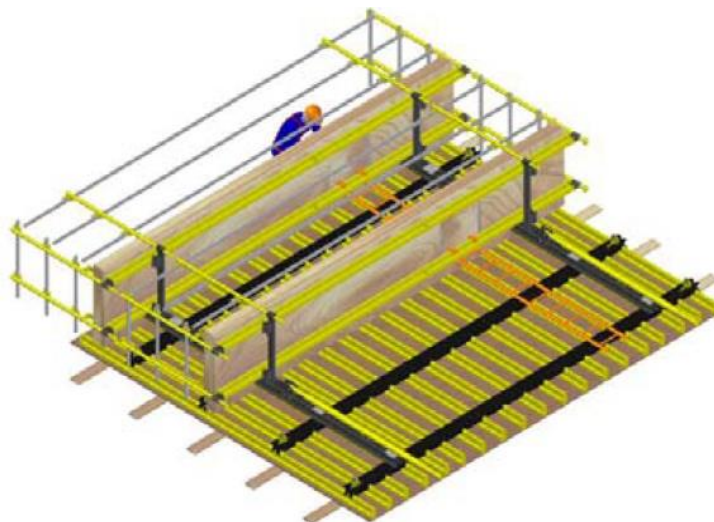


Fig. 29 f. Colocación de escaleras. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje.*

10- Se colocan escaleras en uno de los paños que irán en el encofrado interior.

11- Se posiciona un paño del interior en su posición de trabajo, según planos para la 1ª tongada¹⁴.

Se colocan el resto de paños, tapes de cierre que formarán el cajón interior uniéndolos entre sí como se indican en los planos de montaje. Se colocan puntales.

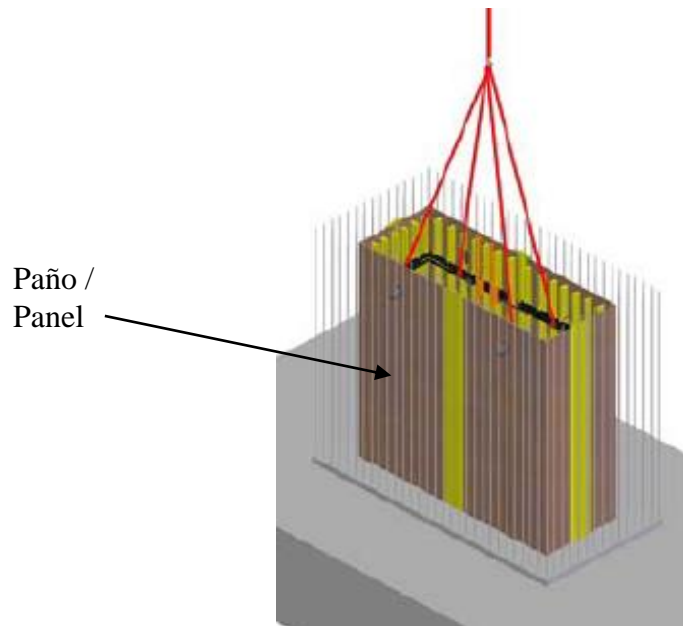


Fig. 29 g. Colocación de paneles interiores. Adaptada de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

12- Se nivela y se aploma el encofrado interior.

13- Se coloca el acero de refuerzo.

Se colocan las barras roscadas, las tuercas placa y tubos separadores del lado interior.

Se posicionan los conos en los paños del encofrado interior según se indica en los planos de montaje. Estos conos, servirán para posicionar el encaje interior abatible, ejemplificado en la fig. 23. “Detalle de anclaje interior abatible”.

14- Se posiciona a los paneles unidos en el exterior enfrente del cajón de encofrado y se estabiliza según las indicaciones de los planos de montaje. Se posiciona un paño a continuación del anterior uniéndolos (ver fig. 29 h). Se continúa análogamente hasta formar el encofrado exterior.

¹⁴ Tongada: Nivel de avance de colado.

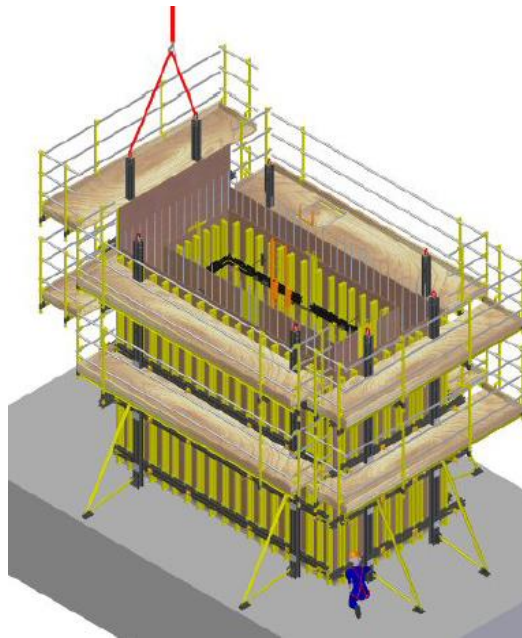


Fig. 29 h. Posicionamiento de paños por medio de grúa. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

15- Se colocan los conos en los paños que forman el encofrado exterior, si no se han colocado con anterioridad, como en el punto 3.4 “Montaje y desmontaje del sistema de anclaje”. Asegurarse de que los elementos del anclaje estén roscados correctamente.

16- Se nivela y se aploma el encofrado exterior.

Se introducen las barras roscadas y se colocan tuercas placa.

Se colocan los cierres laterales según lo indicado en los planos de montaje (ver fig. 29 i).

Se procede a colar (ver fig. 29 j).

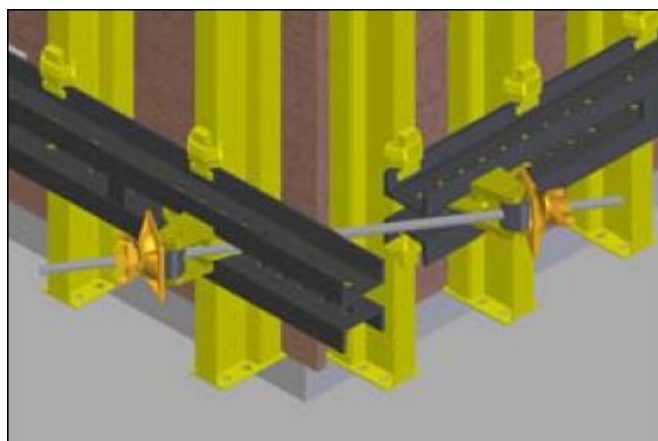


Fig. 29 i. Detalle de los cierres laterales. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE>

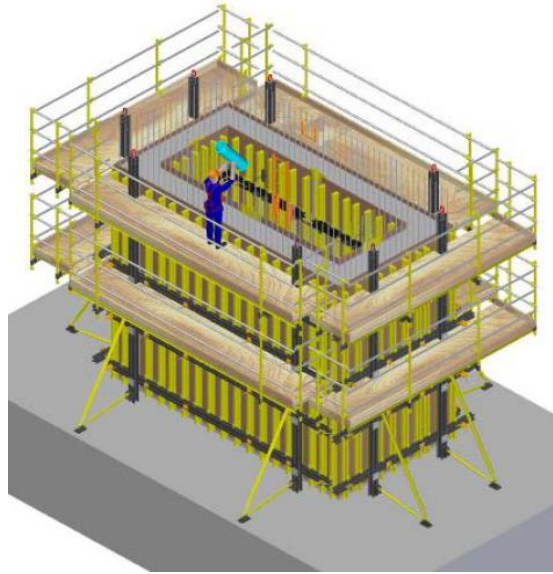


Fig. 29 j. Detalle del colado, una vez armada la primera tongada. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje.*

17- Una vez alcanzada la resistencia mínima de 150 kg/cm^2 (dependiendo de la resistencia adecuada para hacer la siguiente trepa), se quitan las sujeciones de cono, los cierres laterales, tuercas placas y se retiran las barras roscadas.

18- Se puede haber realizado una primera tongada, de inicio, con paneles de menor altura a los que se emplearán con posterioridad, en el sistema de trepa. Los paños que se utilizarán en el sistema de trepa se montan como se indica en los puntos del 3 al 7.

19- Se colocan los encajes en los conos, como ya se detalló en el punto 3.3 “Funcionamiento de los elementos que conforman al anclaje”.

Se asegurará de que el encaje se encuentre roscado a tope en el cono, recordemos que se hace con un tornillo especialmente diseñado para soportar los esfuerzos presentados.

20- Se procede a desencofrar (ver fig. 29 k).

Se extrae el encofrado interior.

Se montan los encajes interiores abatibles en los conos dejados previamente, en el muro interior.

Se retiran los paños del encofrado exterior.

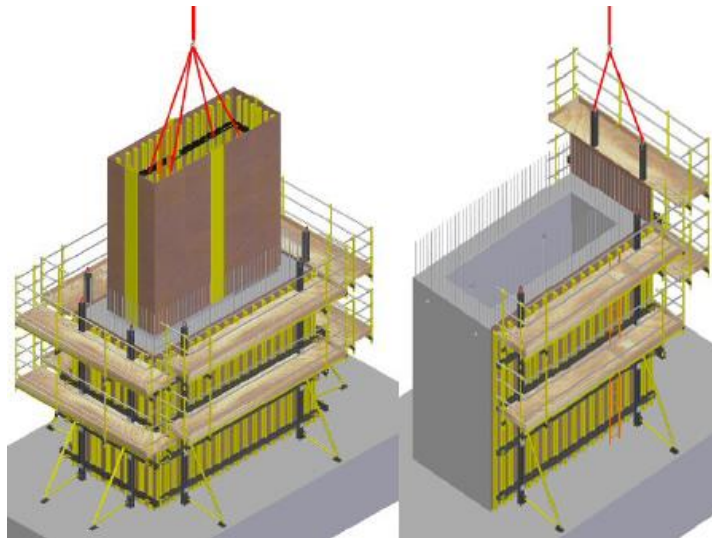


Fig. 29 k. A la izq. extracción de los paños centrales y a la der. extracción de paños laterales. Recuperado de:
Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

Hasta aquí termina la primera tongada.

Empieza la segunda tongada.

21- Se colocan husillos de nivelación (gatos de nivelación) en la parte inferior de los paños.

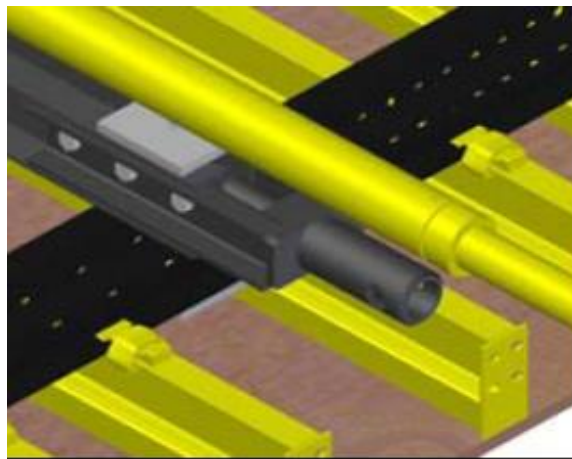


Fig. 29 l. Husillos o gatos de nivelación, utilizados en la parte baja del panel.

Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE>

22- Se posicionan las consolas a una distancia en paralelo igual a la que se ha dejado entre los conos.

Se arriostran las consolas entre sí mediante tubos y abrazaderas. Se colocan vigas.

Se forran las vigas hasta realizar una plataforma (de trabajo o también llamada principal).

Se coloca el pie de barandilla en el borde de la plataforma principal y se une mediante bulones¹⁵.
Se colocan barandillas y rodapiés.

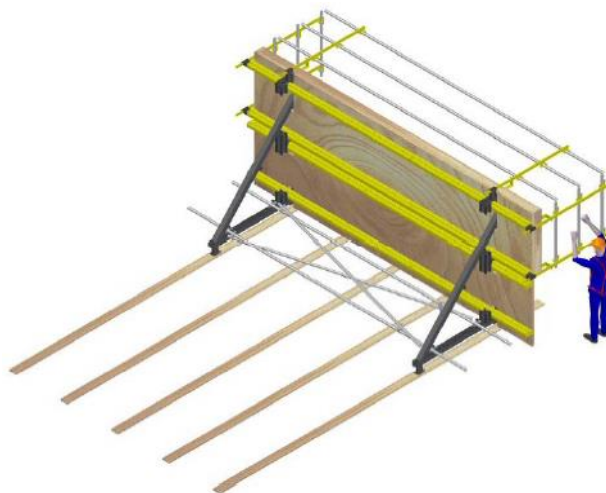


Fig. 29 m. Armado de la plataforma principal conforme al punto 22 anterior. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

23- Se colocan las ménsulas inferiores en los orificios bajos de las consolas de trepa.

Se colocan tubos de arriostramiento en los largueros inferiores.

Se colocan vigas sobre las ménsulas.

Se colocan las vigas hasta realizar una plataforma.

Se colocan pies de barandillas, barandillas y rodapiés, para acabar de completar la plataforma de recuperación de conos.

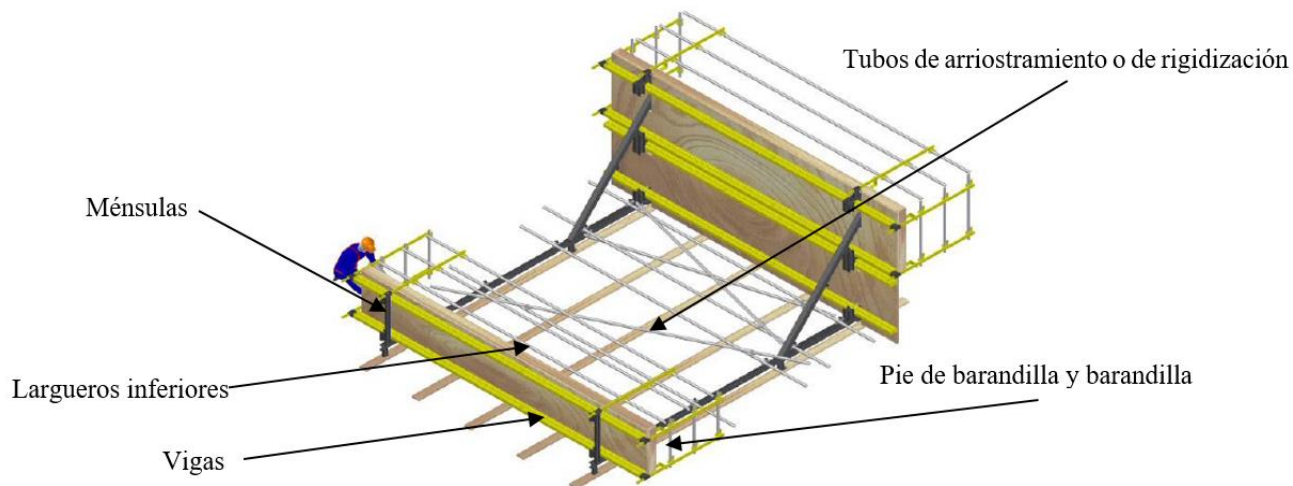


Fig. 29 n. Armado de la plataforma de recuperación de conos, conforme al punto 23. Adaptada de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

¹⁵ Bulón: Pasador / Perno.

24- Se retiran las uniones de la plataforma de recuperación de conos con la consola.

Se almacena la plataforma recuperación de conos, para su posterior colocación una vez se tenga que realizar el trepado.

25- Montaje del sistema de trepa interior:

Se realiza la plataforma interior (ya mencionada en el capítulo 3.3 como plataforma KSP) mediante tubos de rigidización y vigas según los planos de montaje.

Se forra la plataforma interior (ver fig. 29 o).

Se colocan las placas de apoyo para los paños de encofrado.

Se monta la plataforma de recuperación según los planos de montaje. Dependiendo de la altura de tongada inicial esta plataforma de recuperación de conos interior se monta después de la segunda tongada.

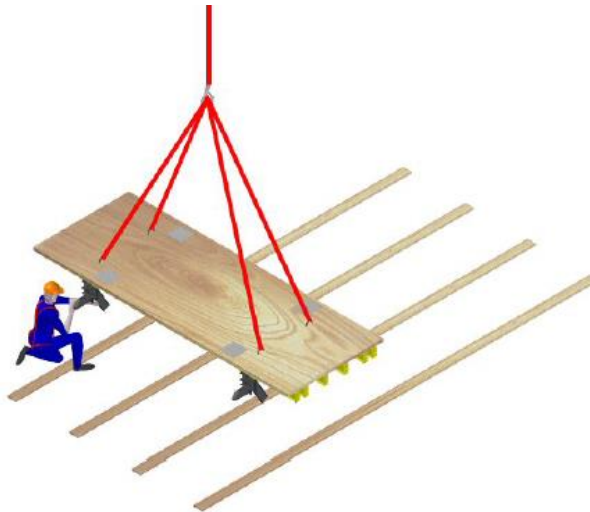


Fig. 29 o. Plataforma interior KSP. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

26- Posicionamiento del sistema de trepas:

Se asegura que el concreto haya alcanzado la resistencia mínima indicada en la documentación del proyecto. Se colocan medios auxiliares reglamentarios de elevación en las consolas de trepado exterior (ver fig. 29 p).

Se eleva el conjunto formado por las consolas de trepado a los anclajes y se deposita en ellos (ver fig. 29 q).

Se accede a la plataforma principal y se colocan pasadores de seguridad entre las consolas y los conos (ver fig. 29 r y 29 s).

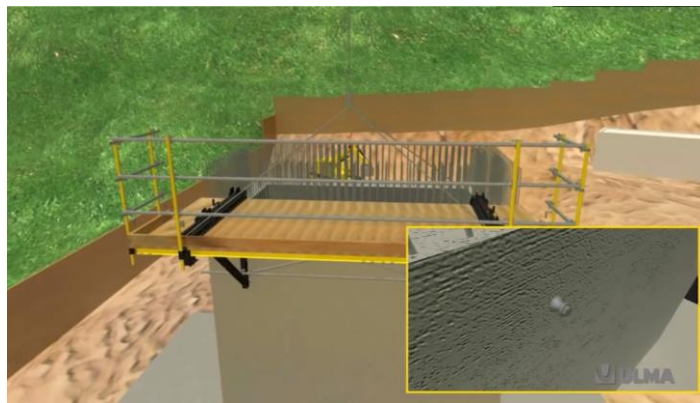


Fig. 29 p. Detalle de izado y colocación de plataforma principal.
Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE>

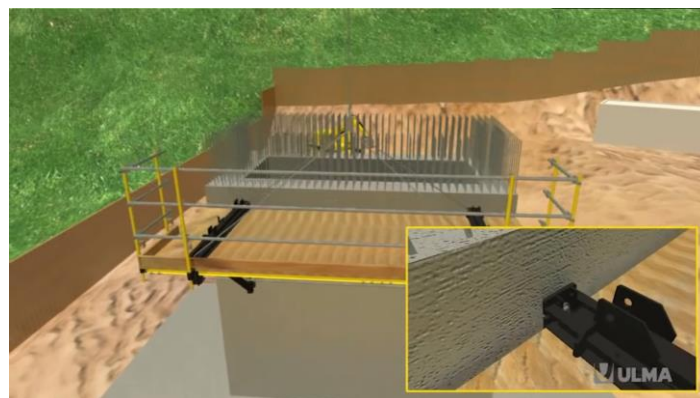


Fig. 29 q. Detalle de colocación y ensamble de plataforma principal.
Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE>

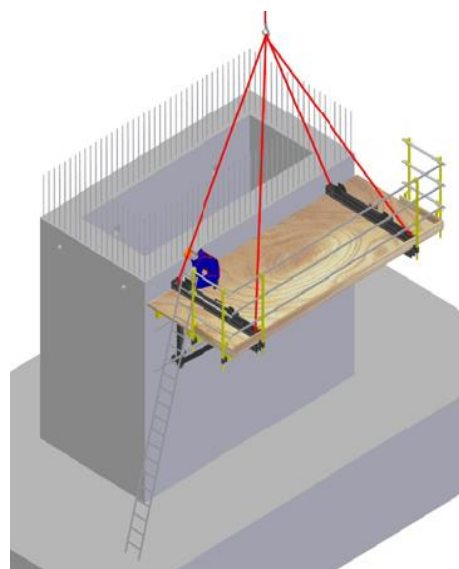


Fig. 29 r. Colocación de pasadores de seguridad entre las consolas y los conos.
Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

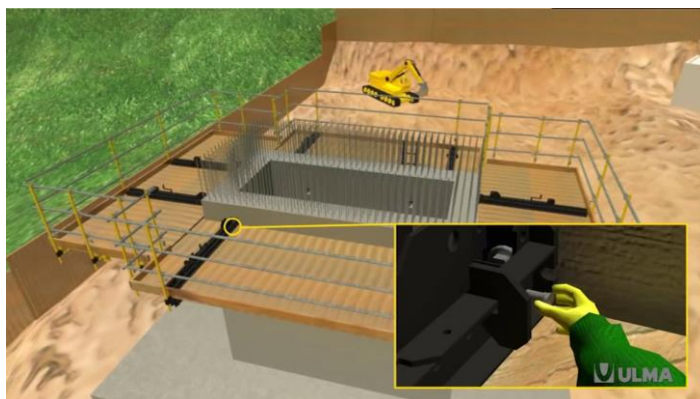


Fig. 29 s. Detalle de cierre con pasador de las consolas.

Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE>

27- Se procede análogamente con todos los sistemas de trepa exterior que formarán el contorno del elemento estructural.

28- Se colocan medios auxiliares reglamentarios de elevación en las argollas del sistema de trepa interior. Se lleva hasta que las riostras queden posicionadas en los encajes interiores abatibles.

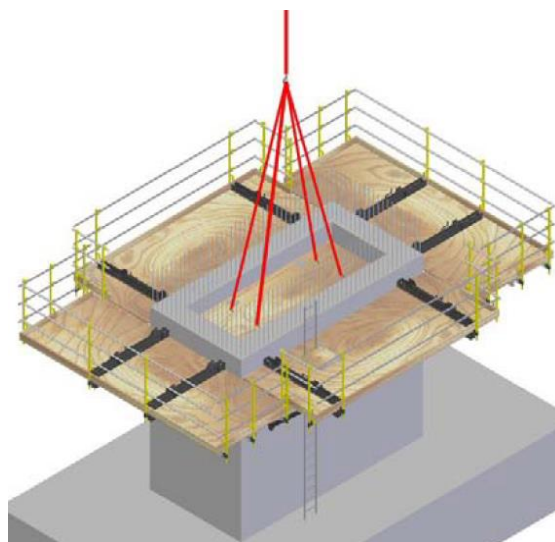


Fig. 29 t. Detalle de colocación de plataforma interior abatible. Recuperado de: Ulma Construction,
Instrucción técnica de montaje.

29- Se eleva el paño exterior (ver fig. 29 u) que posee las escaleras entre plataformas y se posiciona el husillo (tornillo que funge como gato nivelador) en la consola de retranqueo.

Se une el paño a la consola con el husillo y el puntal por medio de pernos también llamados pasadores (ver fig. 29 v).

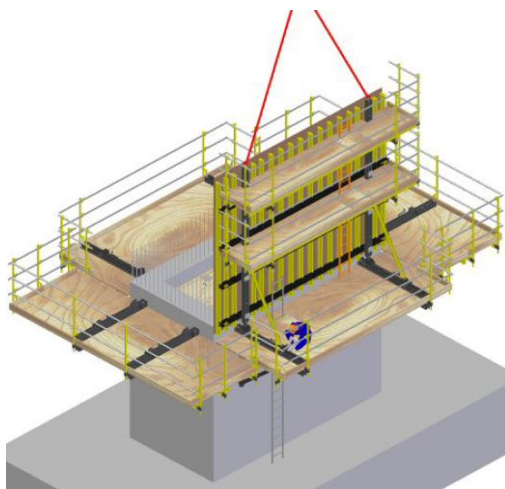


Fig. 29 u. Detalle de elevación del paño exterior. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje.*



Fig. 29 v. Detalle de colocación de perno / pasador, entre el panel y la consola.
Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE>

Las representaciones 29 x y 29 y, muestran la unión del puntal y del carro de retranqueo por la parte baja de la plataforma principal.



Fig. 29 x. Detalle de la fijación con perno entre puntal con el carro de retranqueo.
Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE>

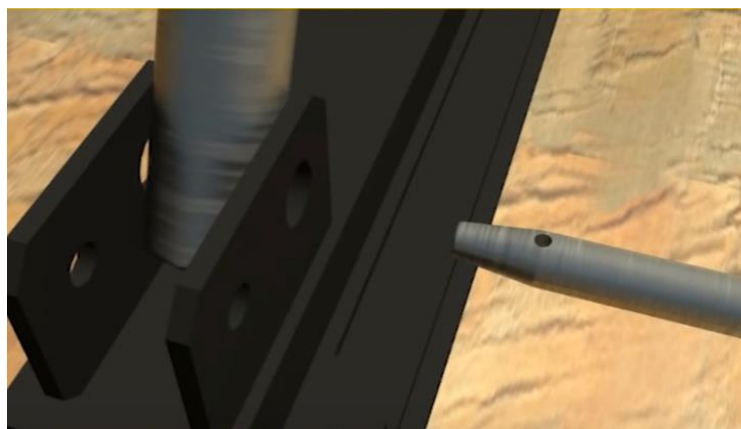


Fig. 29 y. Acercamiento de la fijación con perno / pasador.

Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE>

30- Se coloca el cajón de encofrado interior, formando por los paños interiores, en las placas de apoyo del sistema de trepa interior.

Se apoya el cajón de encofrado en la plataforma interior y se coloca en la posición de trabajo actuando sobre los puntales y husillos.

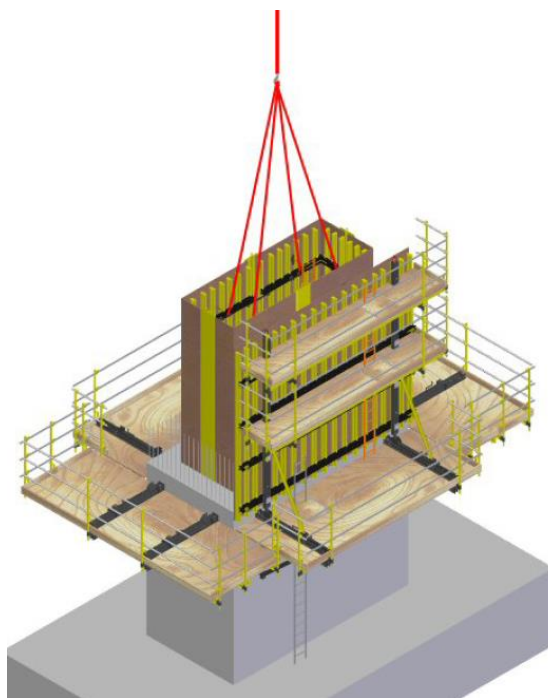


Fig. 29 z. Colocación del cajón interior, apoyada en la plataforma interior. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

31- Se arma el acero de refuerzo.



Fig. 29 aa. Armado de acero. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE>

32- Se elevan y posicionan el resto de los paños exteriores en las correspondientes consolas de retranqueo.

Se unen los husillos de los paños y los puntales a las consolas de retranqueo.

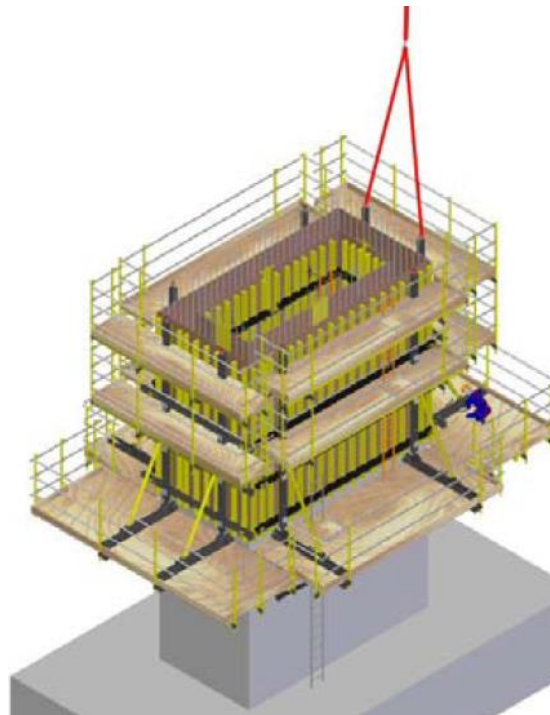


Fig. 29 ab. Izado y posicionamiento de los paños exteriores con grúa. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje.*

33- Se colocan los conos en el paño que posee las escaleras y estribos de ese lado, si es que no se han izado los paños con estos elementos ya colocados.

34- Se actúa sobre el sistema de la consola de retranqueo y se posiciona el paño exterior en la posición de trabajo.

Se actúa sobre los diferentes sistemas de nivelación tales como el husillo de nivelación, y puntales para acabar de posicionar el paño.

35- Se accede al paño contiguo al paño con escaleras y se colocan los conos.

36- Se actúa sobre el sistema de la consola de retranqueo y se posiciona el paño exterior en la posición de trabajo.

Se actúa sobre los diferentes sistemas de nivelación tales como el husillo de nivelación, tensores para acabar de posicionar el paño.

37- Se procede análogamente desde el paso 35 con el resto de los paños.

38- Se colocan las barras roscadas, tuercas placa y cierres laterales según planos de montaje.

Se procede a Colar.

Esperar al fraguado del concreto.

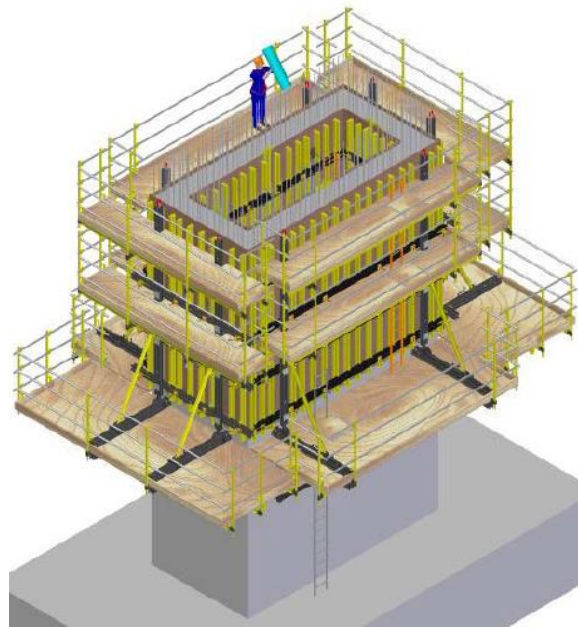


Fig. 29 ac. Colado del elemento. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

Se procede a desencofrar.

39- Se quitan las sujeciones de cono, cierres laterales, se sueltan las tuercas placa y las barras roscadas.

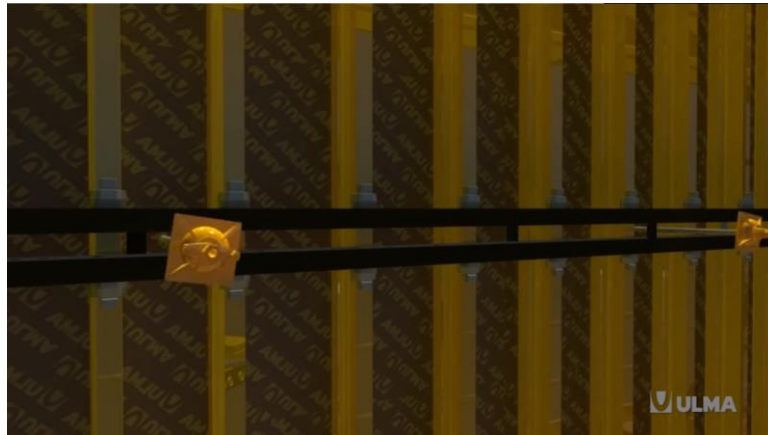


Fig. 29 ad. Retiro de tuerca placa y sucesivamente la barra roscada.

Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE>

40- Se retiran tapes de cierre del cajón interior, siempre que no estén unidos al encofrado y se actúa sobre los tensores para separar lo más posible los paños de los muros.

Se montan los encajes interiores abatibles.

41- Se retranquea un paño que no posea escaleras con una distancia mínima indispensable para la colocación de los encajes en los conos.

Se colocan los encajes en conos uniéndolos mediante tornillo del cono y se asegurará que este tornillo esté roscado a tope.



Fig. 29 ae. Retranqueo del paño después del endurecimiento del concreto.

Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE>

42- Se retranquea un paño contiguo al anteriormente retranqueado la distancia mínima indispensable para la colocación de los encajes en los conos y se procede análogamente al punto anterior, dejando para el último lugar el paño con escaleras.

43- Se colocan medios auxiliares reglamentarios de elevación en los “grilletes izado vela” de los paños con escaleras del sistema de trepa exterior y se une a la grúa.

Se actúa sobre el retranqueo y los puntales para separar los paños exteriores la distancia justa para evitar golpear con los encajes al paño.

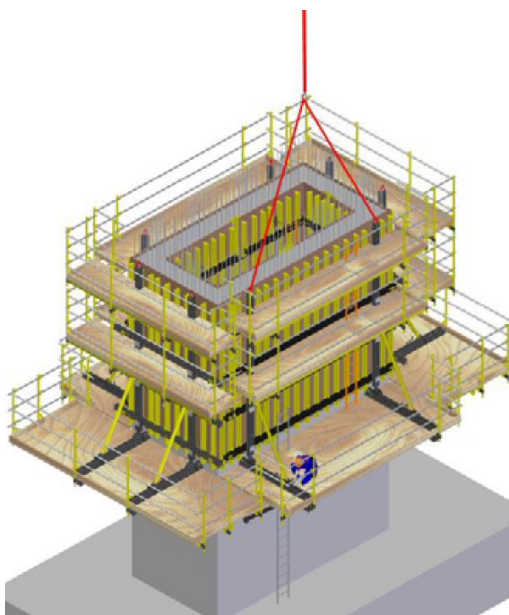


Fig. 29 af. Izado de los paños por grúa. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

Empieza la tercera tongada.

44- Se habrá dejado posicionada la plataforma recuperación de conos horizontalmente.

Se quitan los pasadores de seguridad entre el sistema de trepa exterior y los conos de los paños que disponen de escaleras.

Se desciende el sistema de trepa hasta el punto de unión con la plataforma recuperación de conos y se unen mediante pasadores.

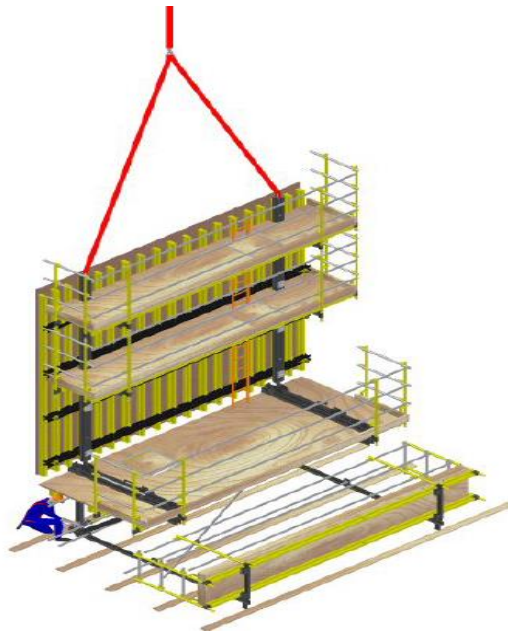


Fig. 29 ag. Retiro y ensamble del paño exterior con la plataforma de recuperación de conos. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

45- Se eleva el sistema de trepa hasta posicionarlo en los conos del siguiente nivel.

Se accede a la plataforma principal y se colocan pasadores de seguridad entre las consolas y los conos.



Fig. 29 ah. Izado y colocación del paño exterior armado con la plataforma de recuperación de conos.

Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE>

46- Se coloca la escalera entre la plataforma de recuperación de conos y la plataforma principal.

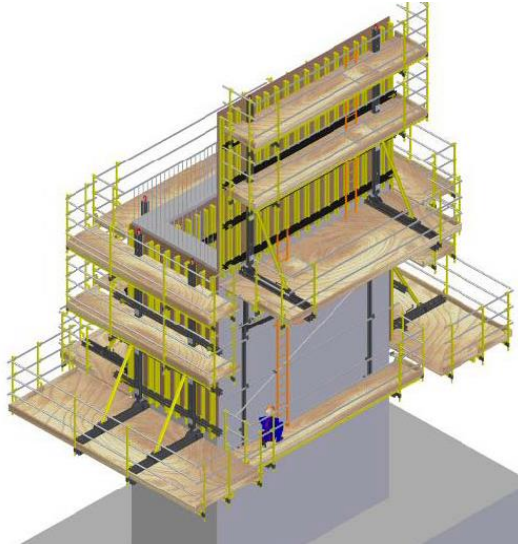


Fig. 29 ai. Colocación de escalera entre plataforma de recuperación de conos y plataforma principal.

Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

47- Se colocan medios auxiliares reglamentarios de elevación en los grilletes del sistema de trepa interior. Se saca el encofrado interior (Ver fig. 29 aj).

Se sube la plataforma interior a la siguiente posición de los encajes interiores abatibles, si la plataforma de recuperación de conos no ha sido montada en la fase anterior, se extrae la plataforma interior fuera del hueco y se procede según las instrucciones de montaje.

Se actúa sobre los puntales, se colocan los tapes si se habían retirado, de manera que el cajón quede en su posición de trabajo.

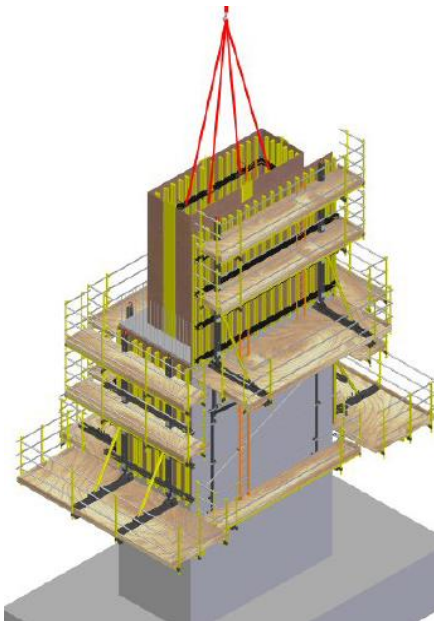


Fig. 29 aj. Izado de encofrado interior y colocación en el siguiente nivel. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

Recordemos que la colocación del encofrado interior se asienta en la plataforma interior, sosteniéndose de la plancha del encaje interior abatible.

48- Se accede a la plataforma de colado del paño contiguo al que tiene las escaleras.

Se colocan medios auxiliares reglamentarios de elevación en los grilletes izado vela del paño del sistema de trepa exterior y se iza por grúa.

Se actúa sobre el retranqueo y los tensores para separar el paño exterior.

49- Se une la plataforma de recuperación de conos al sistema de trepa como se indica en el paso 44.

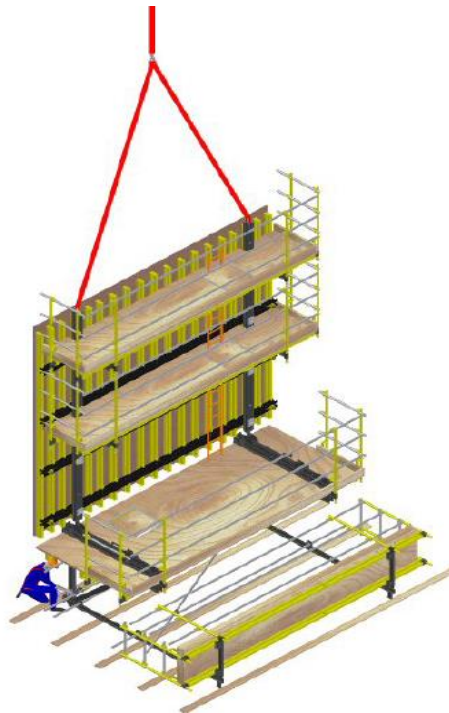


Fig. 29 ak. Ensamble de paño exterior con plataforma de recuperación de conos. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

50- Se eleva el sistema de trepa hasta posicionarlo en los conos del siguiente nivel.

Se accede a la plataforma principal y se colocan pasadores de seguridad entre las consolas y los conos.

51- Se procede análogamente desde el 48 con sistema de trepa contiguo al que se ha elevado, hasta acabar de elevar todos los sistemas de trepa que forman el encofrado exterior.

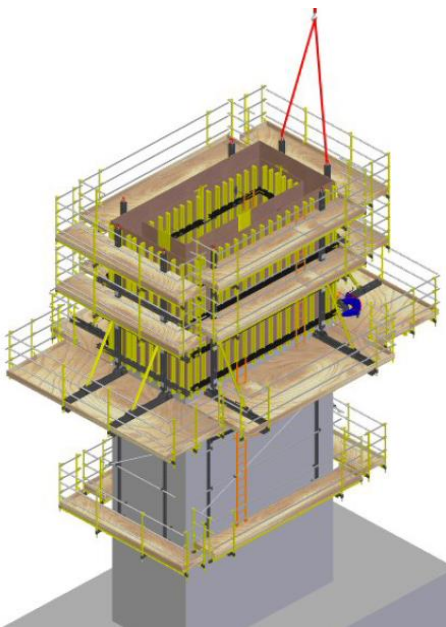


Fig. 29 al. Izado y colocación del panel final para cerrar al encofrado exterior. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

52- Se colocan los contravientos en los conos inferiores.

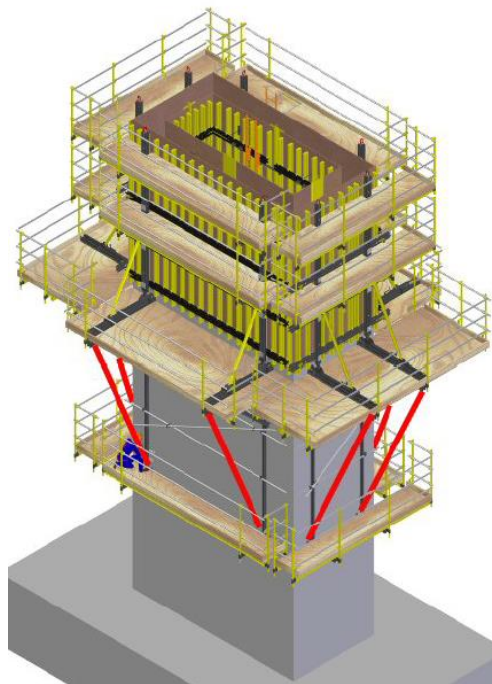


Fig. 29 am. En rojo, los contravientos que van en los conos inferiores. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

53- Se actúa sobre el sistema de retranqueo y se separan lo más posible los paños.

Se aplica desencofrante en los paños.

Se arma el acero de refuerzo.

Se colocan barras roscadas y tuercas placa del lado interior y tubos separadores.

54- Se colocan los conos, como se indican en los paso 33 al 37.

55- Se actúa sobre el sistema de la consola de retranqueo y se posiciona los paños exteriores en la posición de trabajo.

Se actúa sobre los diferentes sistemas de nivelación tales como el husillo de nivelación, los puntales acaban de posicionar a los paños.

Se colocan las últimas barras roscadas, tuercas placa y cierres laterales según planos de montaje.

Se procede a colar.

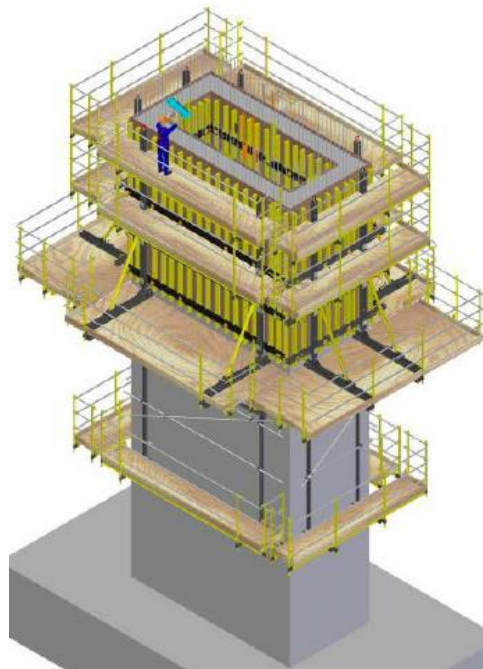


Fig. 29 an. Colado de la tercera tongada. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje*.

Cuarta tongada, la consola está completa por las 3 plataformas que la conforman.

56- Una vez que el concreto ha alcanzado la resistencia suficiente se retira el contraviento y se recuperan los conos del anterior trepado.

Se procede a elevar el sistema trepante (ver fig. 29 ao) como se ha indicado desde el paso 39. No se tendrá que colocar la plataforma de recuperación de conos, ya que esta se eleva conjuntamente con la consola. Se habrán retirado los contravientos y recuperado los conos antes de proceder a la retirada de los pernos de seguridad.

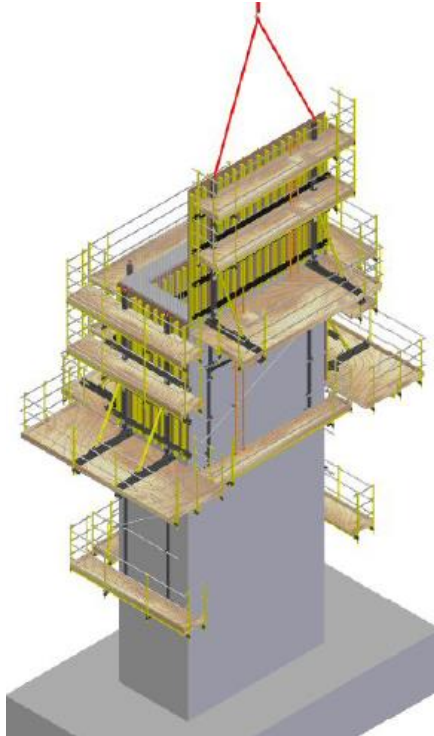


Fig. 29 ao. Detalle de elevación conjunta de la consola y encofrado. Recuperado de: Ulma Construction, *Instrucción técnica de montaje.*

A partir de este punto, se repiten los trepados hasta alcanzar la cota definida en los planos de montaje.

Al finalizar los muros a construir, la unidad trepante es retirada mediante el uso de Grúa.

Una vez analizado el actuar en el montaje y desmontaje del sistema trepante, cabe destacar que una vez armada la consola completa a partir de la 4ta tongada, la repetición es ininterrumpida y el anclaje por medio de cajetines es constante, no obstante, se debe de tener especial cuidado en el izado de las consolas trepantes, debido a que son pesadas.

El uso de grúa incrementa los costos de encofrado, en el siguiente punto se analizan los problemas frecuentes en el uso de este sistema.

3.7 Inconvenientes en el uso de sistemas trepantes

La grúa es un inconveniente debido a toda la planeación, organización, dirección y control que se requiere para izar un encofrado. Es todo un tema de especialidad el manejo técnico de las grúas, es por ello que solo se dan puntos específicos para su discusión.

En México las grúas utilizadas regularmente son de 2 toneladas de capacidad en la punta, esto debido al costo-beneficio que demandan para que sea viable utilizarlas; otro punto a considerar en la implementación técnica de una grúa es el radio de acción por el cual puede actuar una grúa, mismo que es una limitante para la fijación de las trepas.

Si se requiere izar un panel cuyo peso sobrepase la capacidad de las grúas utilizadas convencionalmente en México, conlleva a sobrecostos en la construcción, indicio de que la solución trepante no es viable. Es por ello que se debe de cuidar que el peso de la consola completa junto a sus plataformas no sobrepase la capacidad máxima de carga en la punta de la grúa.

Los fabricantes de encofrados industriales trepantes en la oferta económica que presentan para poner en marcha estos tipos de sistemas son de acuerdo al contexto de los lugares requeridos, es por ello que, se envía a un técnico especialista para que supervise el armado de los paneles en obra; al estar listos los módulos de los paneles se izan por partes y se conectan, todo ello contribuye a un ahorro económico para el sistema trepante. Si se opta por traer los paneles ya armados con la unidad trepadora completa, los costos por transporte son muy significativos, indicio de sobrecostos.

En países industrializados como los europeos, el costo de este tipo de soluciones es redituable, una de las causas principales es por la mano de obra cara que existe en esos países. Tecnificando este tipo de soluciones trepantes y haciéndolo en repetidas ocasiones lo hace viable en todos los aspectos. Inclusive en los países europeos suelen traer armados los paneles para optimizar el tiempo de colocación y anclaje del sistema, caso contrario a los países latinoamericanos que deben de justificarse realmente la altura de la estructura para que sea viable técnica y económicamente el uso de encofrados trepantes.

3.8 Aplicaciones del encofrado trepante

En el ámbito de la edificación se suele utilizar este sistema en: cajones de elevador, edificaciones cuyo núcleo es de concreto y también en muros de concreto.

En el aspecto de obras civiles, su aplicación es muy amplia, pudiendo realizar los siguientes proyectos: pilas de puentes, pilas de puentes huecos, presas de concreto, elementos de retención de tierra, además de formar múltiples formas y complejidades.

La versatilidad es amplia, lo que lo limita es el aspecto económico.

Capítulo 4: Encofrado autotrepante

4.1 Sistema autotrepante

El sistema autotrepante es la innovación del sistema trepante, básicamente se le añaden aspectos hidráulicos y mecánicos para que, por sí mismo tenga la capacidad de elevarse sin necesidad de grúa una vez instalado. El anclaje se realiza mediante cajetines de anclaje¹⁶ y conos embebidos en el concreto que son diseñados para soportar las cargas verticales y horizontales.

Como se analizó en el capítulo 3, los sistemas trepantes convencionales cuentan con paneles y elementos de conexión. Sin embargo, el encofrado autotrepante además incluye los siguientes componentes (ver fig. 30):

Cilindros

En el sistema autotrepante cada consola de trabajo cuenta con su propio cilindro hidráulico, esto permite la elevación del mástil y de todo el sistema autotrepante en diferentes tiempos.

Bombas hidráulicas

El grupo hidráulico por su parte administra el flujo de aceite a los cilindros, cabe destacar que un grupo hidráulico tiene la capacidad de otorgar a 12 cilindros el aceite necesario para mover a las consolas y al sistema autotrepante, esto conlleva a que se puedan elevar varios conjuntos de encofrado al mismo tiempo, haciendo más eficaz la construcción en muros de concreto y cajones de elevador.

Cabezal trepador: superior e inferior

Los cabezales trepadores funcionan como transmisores de fuerza, el cabezal superior está unido a la estructura y sirve de empuje para el mástil y la estructura de encofrado. El cabezal inferior está unido al cabezal superior por medio del cilindro hidráulico.

Mástil

El aditamento “mástil” es un perfil en H por el cual se mueve todo el sistema: la consola, el pie de consola, los cabezales trepadores y los cajetines de anclaje.

¹⁶ Cajetín: Aditamento que sirve para soportar la suspensión de la estructura autotrepante.

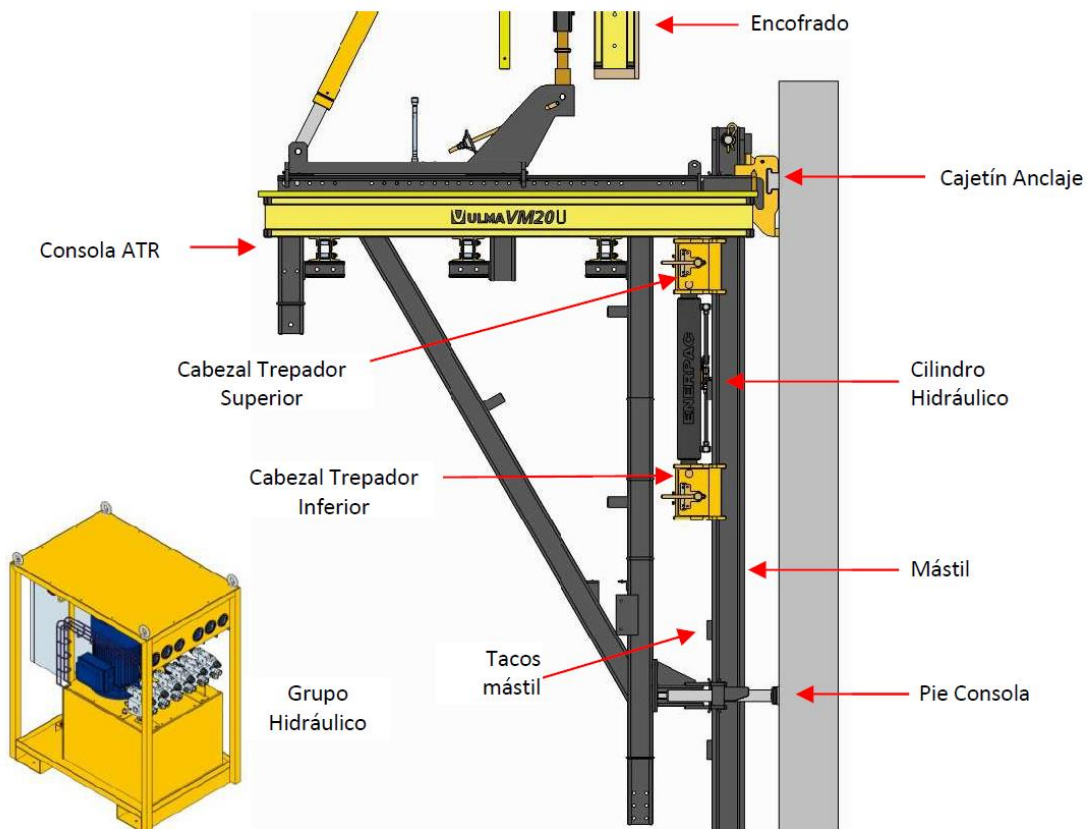


Fig. 30. Componentes de la plataforma principal de trabajo. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

En la fig. 30 se muestran los principales componentes que posee la consola autotrepante. Más adelante en este capítulo se detalla el funcionamiento de los componentes.

4.2 Procedimiento general de izado

Con ayuda de los cabezales trepadores inferiores y con el apoyo del cilindro hidráulico se tira de los tacos de los mástiles¹⁷ para subir al riel, de esta manera se elevan los mástiles de la consola (ver fig. 31).

La consola autotrepante primero sube el mástil por medio del cabezal inferior; con ayuda del cilindro hidráulico y del cabezal superior se puede llevar a cabo dicha subida.

¹⁷ Tacos del mástil: Parte del mástil que sobresale y sirve como agarre para el empuje del conjunto cabezales trepadores y cilindro hidráulico.

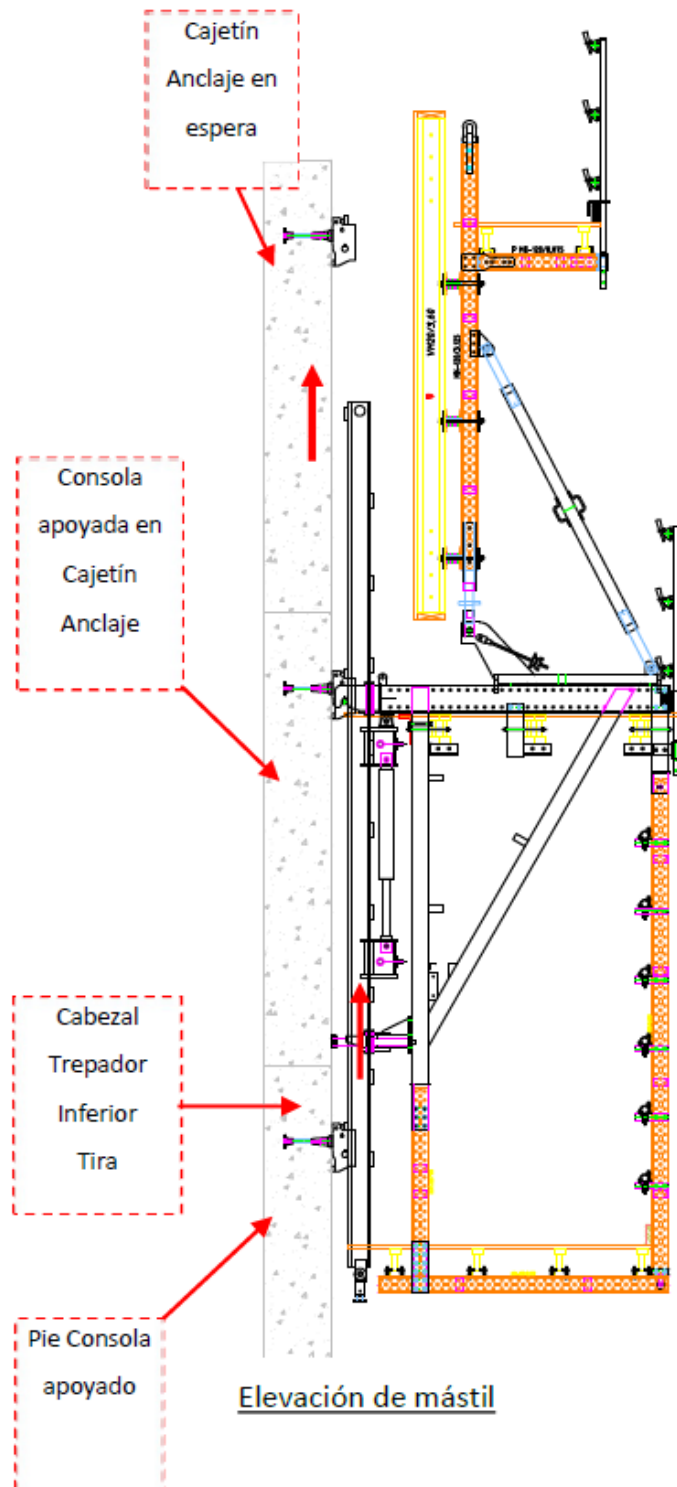


Fig. 31. Se muestra el procedimiento general del izado de los mástiles.

Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

Una vez que se han elevado los mástiles, se anclan con pernos de seguridad, para después elevar las consolas y al encofrado en conjunto de la siguiente manera:

Los cabezales trepadores inferiores se apoyan en los tacos de los mástiles y mueven a la consola mediante los cilindros hidráulicos y cabezales superiores, como se muestra en la fig. 32.

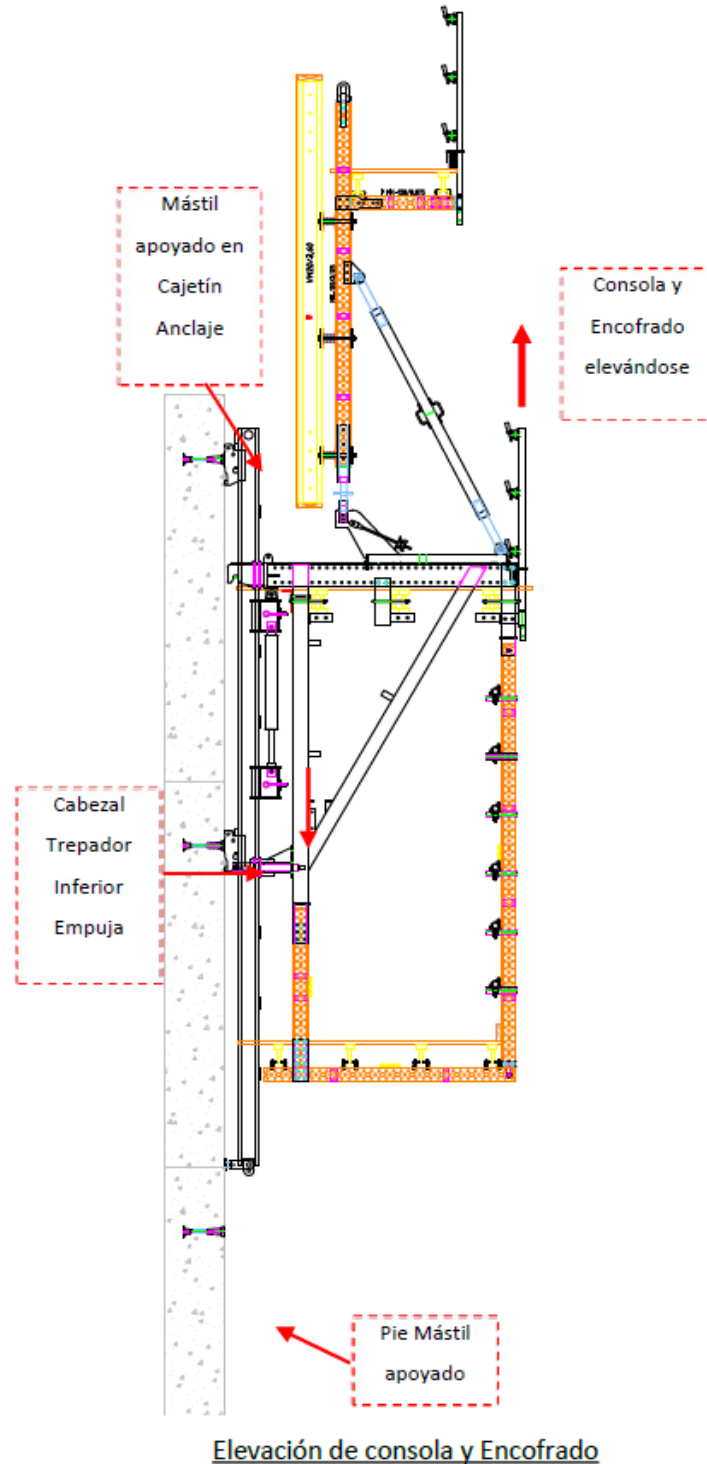


Fig. 32. Se muestra el procedimiento general de elevación de la consola junto con el encofrado.

Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

Nota: La capacidad máxima de elevación es de 130 kN por consola.

Recordemos que, para sostener a un encofrado trepante o autotrepante se necesita de por lo menos dos consolas que sirven de soporte. Si se tiene una capacidad de poco más de 13 toneladas por consola, es un factor importante a considerar en el diseño e implementación del sistema constructivo, esto afecta a la anchura de los paneles de encofrado y se tiene que revisar la viabilidad de la configuración de los elementos que se consideran en la implementación del autotrepado.

4.3 Consola autotrepante ATR-B

La consola autotrepante se une a un carro de retranqueo cuya distancia máxima de retranqueo es de 70 cm; son suficientes para que un hombre pueda limpiar la cara del encofrado una vez fraguado el elemento a colar. También se dispone de un puntal fijador que aploma los paneles en dirección horizontal y vertical.

Las plataformas de trabajo que se cuentan en el sistema autotrepante son las siguientes (ver fig. 33):

Plataforma principal: También llamada plataforma de trabajo, es muy similar en funcionalidad a la plataforma del sistema trepante. Se utiliza como pasillo de trabajo para aplomar al panel del encofrado, descimbrar, limpiar y para hacer el armado del acero de refuerzo; esta plataforma aloja al carro de retranqueo y permite la manipulación del panel para acercar o alejar al tablero de la función de colar.

Plataforma de accionamiento: Esta plataforma tiene la utilidad de accionar los cilindros hidráulicos y mover los cabezales trepadores, además de controlar la elevación del sistema por medio de un operario.

Plataforma de recuperación de conos: Dicha plataforma tiene la funcionalidad de recuperar los conos que sirvieron para colocar al cajetín de anclaje, además de su propósito de sostener a la estructura de encofrado.

Plataforma de colado: Su fin además de colar, es colocar los anclajes que servirán de apoyo para la estructura del encofrado. Dependiendo de la altura de la tongada (del muro o elemento colado) puede suprimirse la plataforma vela.

Plataforma vela: Se utiliza para colocar y soltar los tirantes de las líneas de riostras superiores de la cimbra, así como para sostener a la plataforma de colado y plataforma vela. Dicha vela o riostra se une a la estructura por medio del sistema de desencofrado.

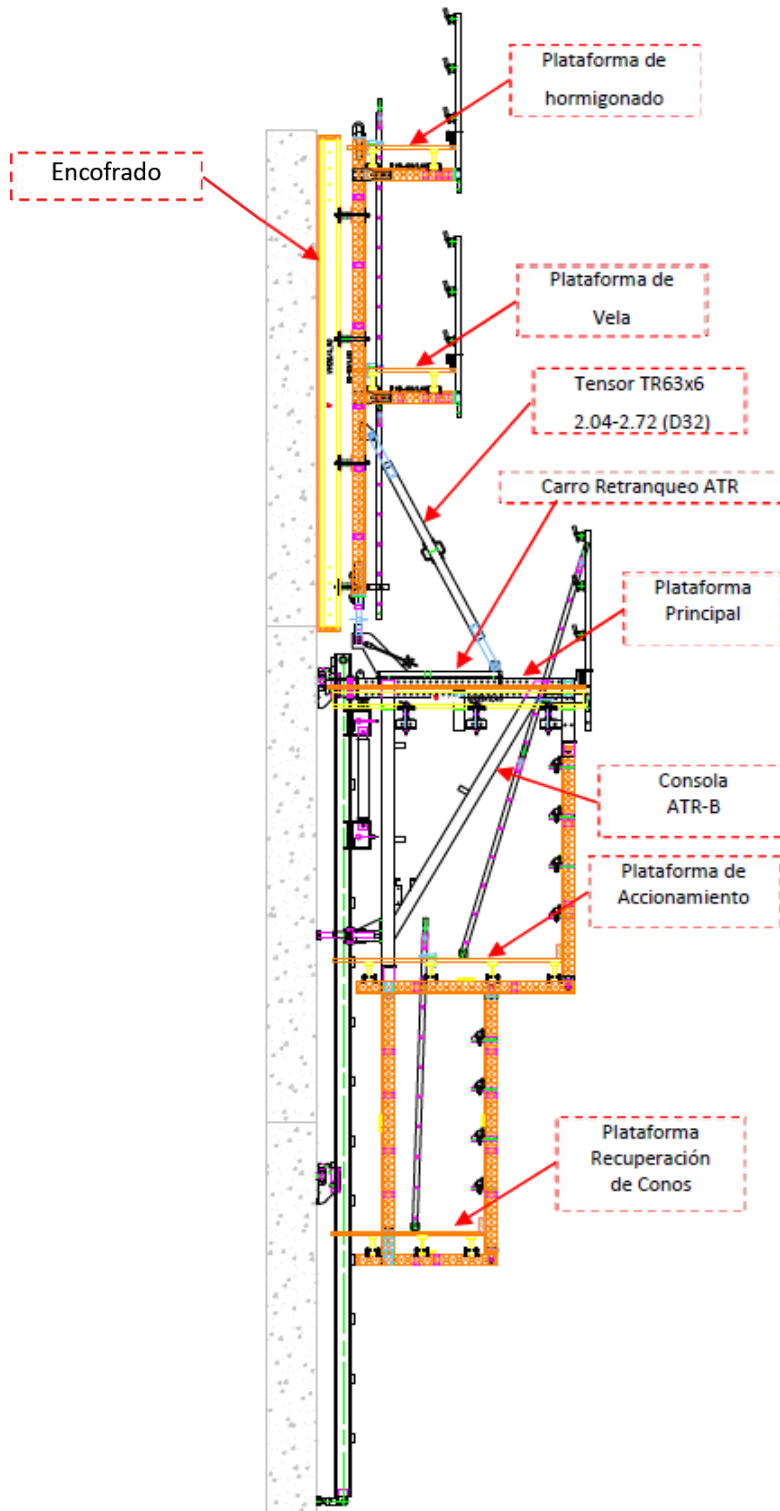


Fig. 33. Esquema de la consola autotrepante **ATR-B**. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

La consola ATR puede prescindir de la plataforma vela, a menos que se tenga una tongada de cimbra muy alta y se requiera de este aditamento. Así mismo, la estructura autotrepante puede estar comunicada por medio de escaleras que permiten al personal moverse con seguridad de una plataforma a otra.

La consola autotrepante además de tener las 3 plataformas de la consola trepante se aumentan dos plataformas: la plataforma de accionamiento que puede controlar un operario y la plataforma vela si se requiere.

4.4 Componentes del sistema autotrepante

4.4.1 Sistema de elevación

Cabezales trepadores: Estos dos cabezales son los apoderados de elevar al mástil y a la consola con ayuda de un cilindro hidráulico. Dichos cabezales se cuelgan de la consola mediante pernos que se guían en el mástil (ver fig. 34).

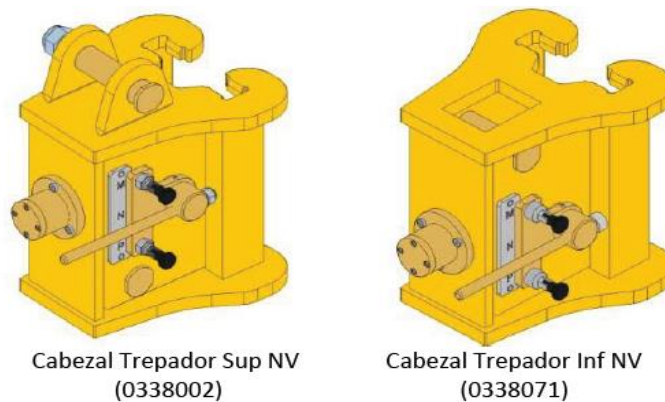


Fig. 34. Cabezales trepadores superior e inferior del sistema autotrepante.

Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

A continuación se analiza la atribución de los cabezales trepadores.

El cabezal, variando la posición del balancín interior¹⁸, dispone de tres posiciones:

¹⁸ Balancín: Palanca de metal que sirve para la elevación de cargas.

-Elevación de plataforma (P): El mástil está fijo. El balancín inferior se apoya en el taco del mástil y mediante el cilindro, empuja la consola. (Ver fig. 35)

-Elevación de mástil (M): La consola está fija. El balancín inferior mediante el cilindro tira del taco del mástil, elevándola.

-Posición neutra (N): El balancín no actúa sobre el mástil.

Dispone además de dos posicionadores que aseguran cada una de las ubicaciones.

A la hora de superar un taco del mástil, el muelle trasero posibilita el giro del balancín y su recuperación posterior a la posición original (Ulma Construction, s.f. c, p. 27).

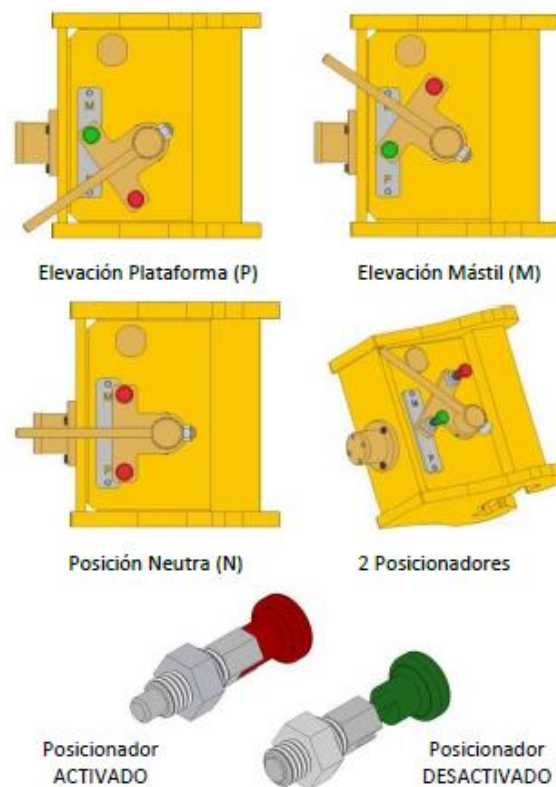


Fig. 35. Variación del balancín que tiene los cabezales trepadores. Recuperado de:
Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

La imagen 35 muestra la convención del movimiento de la palanca que mueve al sistema autotrepante, las posiciones son fáciles de manejar por el operario variando la orientación del balancín.

Si se requiere elevar al mástil la palanca debe de estar en (M), inmediatamente después se debe de colocar la palanca en modo neutro, luego situar la palanca en posición (P) para que pueda subir la consola y el encofrado, finalizar con la puesta en modo neutro (N) y seguir el procedimiento de colado.

El sistema es fácil de utilizar por el operador, en el caso de los cabezales trepadores de modelo viejo solo se contaba con un único fijador de muelles para fijar la posición, caso contrario al modelo citado anteriormente, esto hace más eficaz la utilización de los cabezales.

Mástiles: Este aditamento es el encargado de guiar y apoyar a la consola en la elevación de la plataforma de encofrado.

Con las guías de la cabeza de la consola, el pie de consola, los cajetines de anclaje y los cabezales trepadores es como se guía la consola y el mástil entre sí.

En la parte superior del mástil, se coloca un perno de seguridad, diseñado especialmente para soportar los esfuerzos presentados en el sistema, este perno (ver fig. 36) evita que la consola se mueva de la guía del mástil.



Fig. 36. Perno de seguridad, también llamado bulón de seguridad. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

El mástil (ver fig. 37), en la parte baja del mismo cuenta con una oreja para el pie del mástil, dicho pie sirve para apoyar al riel durante la elevación de la consola.



Fig. 37. Del lado izq. una ejemplificación de un mástil. Del lado derecho el detalle del pie del mástil que funge como apoyo. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

El pie tiene una regulación que permite adaptarlo al cajetín anclaje, se fija por medio de un perno de seguridad.

Elementos Hidráulicos: Son los elementos que permiten accionar todo el sistema autotrepante, desde los cilindros hidráulicos, bomba hidráulica y mangueras que contienen aceites.

Bomba Hidráulica: Es un conjunto formado por un motor y mangueras que aportan aceite. Cuenta con un manómetro que permite medir la presión necesaria para aportar aceite a presión y se pueda elevar el sistema de encofrado.

Cilindros: La capacidad de izaje de los cilindros es de poco más de 13 ton por consola, dentro de cada cilindro existe una cámara en donde se distribuye el aceite por medio de las mangueras, esto permite subir un pistón que eleva a la consola y al encofrado. Dicho cilindro se encuentra entre el cabezal trepador superior e inferior.

4.4.2 Sistema de anclaje

El sistema de anclaje varía con respecto a los anclajes vistos en los sistemas trepantes. Los anclajes ATR (Autotrepantes) son elementos que nos sirven para fijar y soportar la consola autotrepante al muro del elemento a colar, soportando los esfuerzos generados por la acción de toda la estructura de encofrado.

Los hay de dos tipos:

Cajetín simple

El cajetín se coloca en el muro y se ancla a un cono que se ajusta en el encaje (ver fig. 38).

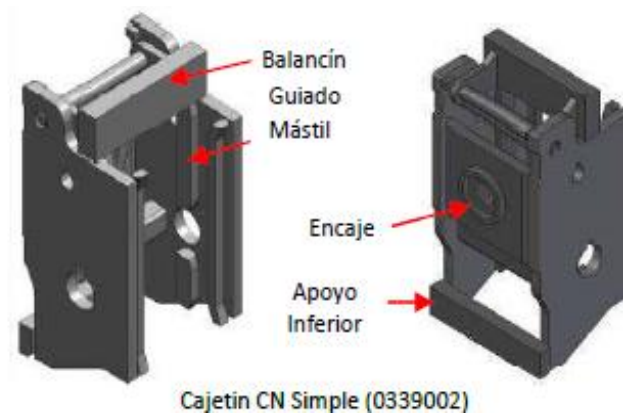


Fig. 38. Detalle del cajetín simple utilizado para la fijación y soporte del sistema ATR. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

La anterior imagen muestra los elementos que componen al cajetín, este cajetín además de fijarlo al cono embebido en el concreto, sirve como un paso del mástil durante el proceso de izado, es por esto que es más ancho y dispone de una abertura rectangular por la que se iza el mástil.

La consola y el riel se apoyan sobre el cajetín (ver fig. 39).

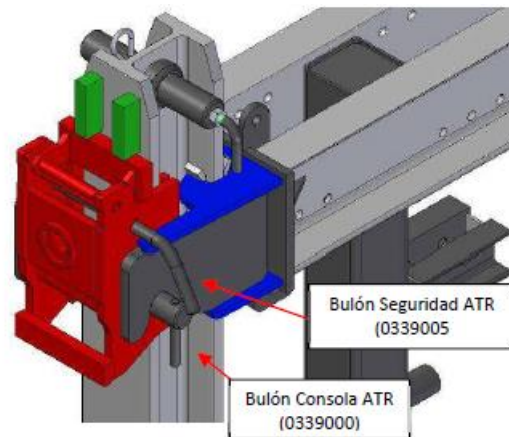


Fig. 39. Detalle de conexión para el anclaje ATR, en donde el cajetín funge como soporte del mástil y de la consola. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

La figura anterior muestra que el mástil se apoya sobre el balancín; por su parte la consola queda fijada al cajetín por medio del bulón consola ATR, así mismo, existe un perno adicional llamado bulón de seguridad ATR para asegurarse frente a una falla eventual en el sistema.

Con este anclaje se asegura la funcionalidad bajo cualquier condición de altura. Fue diseñado con la suposición de elevaciones superiores a los 100 m, por lo que el viento en condiciones normales no es problema de seguridad en estos sistemas.

Cajetín doble

Este cajetín tiene el mismo funcionamiento que el estudiado anteriormente, sin embargo requiere de un aditamento llamado amarre muro (ver fig. 40), dicho elemento permite el apoyo de la consola y del mástil utilizando dos conos en lugar de uno, lo que conlleva a un mayor soporte de cargas.



Fig. 40. Detalle del aditamento amarre muro. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

El aditamento amarre muro tiene dos encajes que permiten la colocación de dos conos en sus aberturas por medio de un posicionador, la configuración del cajetín doble es de la siguiente manera (ver fig. 41).

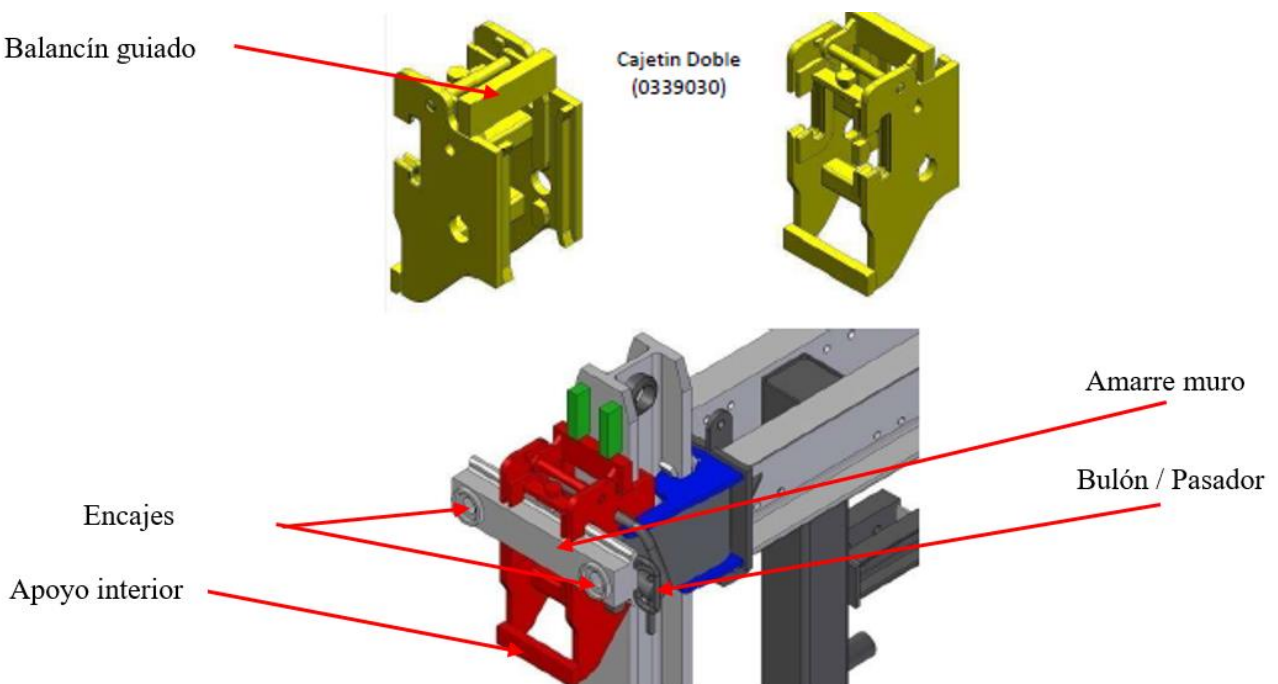


Fig. 41. Detalle de cajetín doble, para hacer el anclaje al muro. Adaptada de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

La fig. anterior muestra el detalle del amarre con el cajetín doble, una vez que el amarre está colocado en el muro se posiciona mediante tornillos para asegurar la colocación y el amarre del sistema.

Como se mencionó anteriormente, el acomodo de los conos embebidos para el soporte de la estructura se realiza mediante un posicionador doble, dicho posicionador nos sirve para fijar desde la cara del encofrado fenólico y posicionar a los conos (por tornillos como se muestra en la fig. 42) de frente para que queden anclados una vez fraguado el concreto.

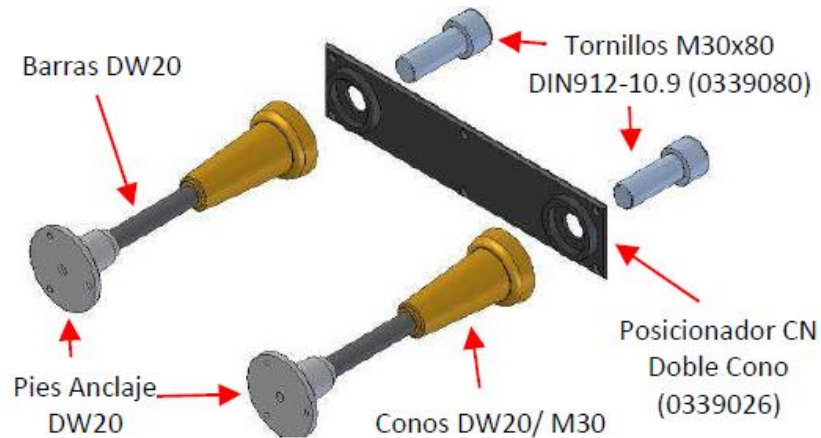


Fig. 42. Detalle del posicionamiento del anclaje doble al cajetín doble. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

Anclaje con pie embebido en el concreto

Lo compone el pie de anclaje que es consumible, la barra roscada que puede ser o no ser consumible y el cono que también está embebido en el concreto pero que es recuperable (ver fig. 43), el sistema ocupa un tornillo que se fija al cajetín.

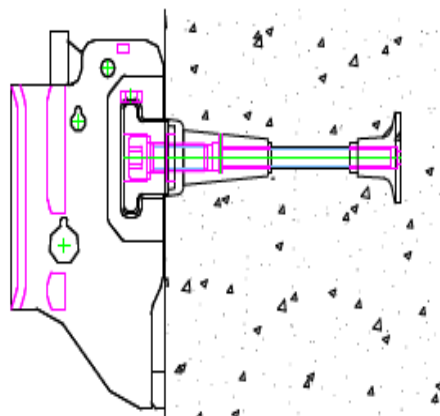


Fig. 43. Anclaje para cajetín simple. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

Al anterior anclaje se utiliza en los cajetines simples, debido al tamaño del encaje que posee el cajetín es compatible con el tornillo M30 y al cono DW20.

También existe otro tipo de anclaje que permite enfrentar dos conos, suprimiendo el pie de anclaje. De esta manera, se hace mucho más eficiente el encofrado de muros de concreto (ver fig. 44).

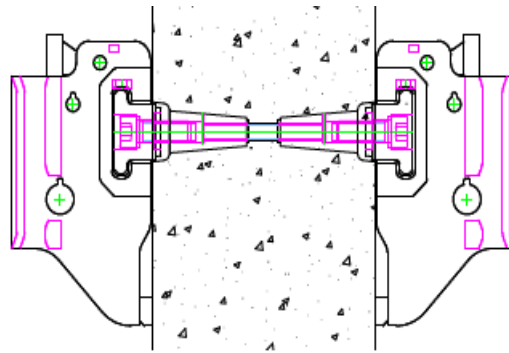


Fig. 44. Anclaje de lado a lado con dos conos y dos cajetines. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

El anclaje de lado a lado es conveniente en colados de muros de concreto. Debido al avance uniforme en ambos lados del encofrado, es el anclaje más utilizado para la construcción de muros de concreto.

Anclaje pasante

Se utilizan los mismos aditamentos que el anclaje con cajetín doble, como la ocupación del aditamento amarre de muro para fijar ambos anclajes. Empero, debido a que el anclaje sobresale hasta el otro lado del muro, se requieren de otras piezas para poder realizar el anclaje correspondiente (ver fig. 45).

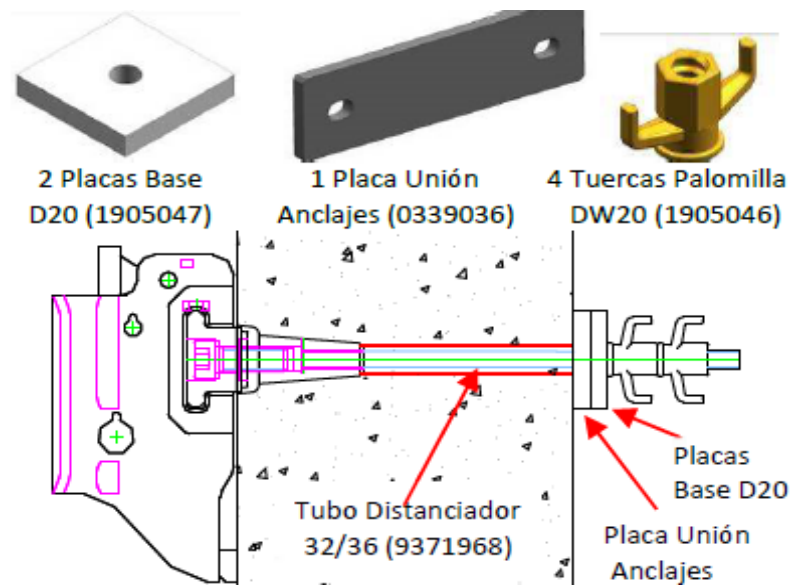


Fig. 45. Detalle del anclaje pasante, que sobresale hasta el otro lado del muro. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

Como se muestra en la figura anterior, se requiere de un tubo distanciador que cubra a la barra de anclaje, similar a la que se estudió en el capítulo 2 con el sistema modular Orma. Del lado que sobresale la barra de anclaje se utiliza una placa base y una placa unión, además de dos tuercas palomillas por cada barra de anclaje que resalta, de esta manera se asegura la estabilidad en el anclaje de los muros o del elemento a colar.

Esta solución aplica cuando es un muro lateral o cabecero, donde, por la parte interior se transporta al sistema de encofrado.

4.4.3 Sistema de retranqueo

El sistema de retranqueo es muy importante en la plataforma principal, lo compone un carro de retranqueo que sirve para contraer al panel del encofrado una vez fraguado el concreto. Esto facilita la entrada del personal para las labores de limpieza en la cara del panel que está en contacto con el concreto, el espacio es suficiente para que los trabajadores puedan acceder y salir sin mayor dificultad.

Una vez que se ha limpiado el panel, se autotrepa el mástil y luego la consola; después el carro de retranqueo acerca al panel y por la parte baja se asegura por medio de pernos especiales; se procede de nuevo al colado en la siguiente tongada.

El retranqueo ATR (ver representación 46 y 47) consta de tres elementos principales:



Fig. 46. Componentes principales del sistema de retranqueo. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

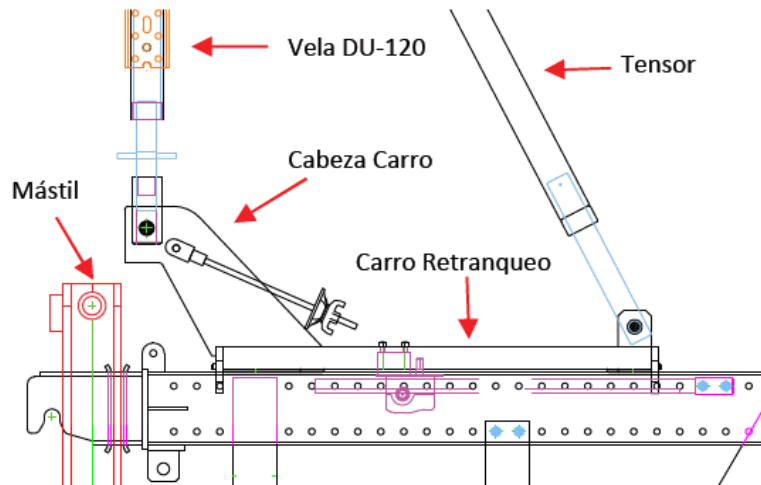


Fig. 47. Sistema de retranqueo en consola autotrepante. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

Conformado por un **carro de retranqueo**, las guías del carro permiten el montaje en el cuerpo de la consola y sobre los perfiles del encofrado. En la cabeza del carro se fija a la vela y en las orejas traseras se coloca la punta para nivelar al encofrado.

Cremallera de retranqueo: La cremallera está atornillada a una cara interior del perfil de la consola y en el otro extremo se introduce en el reductor; además va fijado debajo del carro de retranqueo como se muestra en la fig. 48.

Reductor de retranqueo: Facilita el movimiento del retranqueo, su accionamiento se realiza con una llave carraca de vaso largo (ver fig. 48).

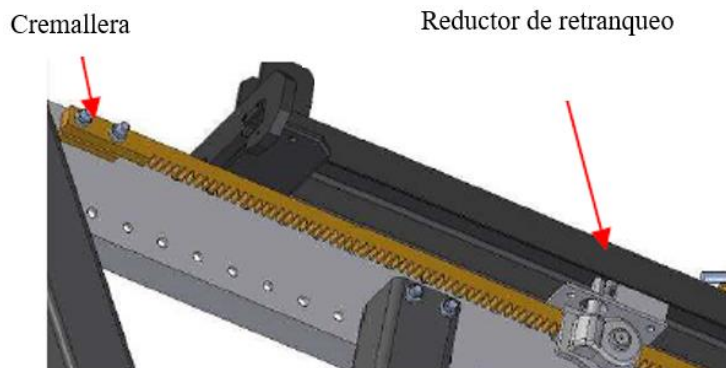


Fig. 48. Detalle del sistema de retranqueo. Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

En la imagen anterior se muestra a la cremallera que va atornillada por debajo del carro de retranqueo y del lado derecho se muestra el reductor que también va atornillado por debajo del carro y se desliza por la cremallera.

4.5 Instalación del sistema autotrepante

Primera etapa de armado:

Una vez ensamblados los paneles, se iza con grúa y se posiciona en el lugar adecuado.

Se colocan los puntales y se fijan los anclajes a los paneles del encofrado.

Se arma el acero de refuerzo, se colocan las barras roscadas con tuercas placa campana que servirán para contener al concreto fresco.

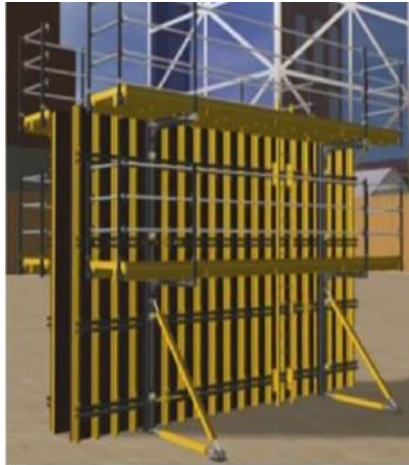


Fig. 49. Instalación de la primera tongada. Recuperado de: Ulma Construction.

Segunda etapa:

Una vez instaladas las consolas pre-armadas de trepado, se procede a izar y fijar a los conos embebidos en el concreto por medio del cajetín y tornillo.

Se instala el sistema hidráulico (toda la plataforma de accionamiento).

Los paneles del encofrado se unen al carro de retranqueo.

Se termina de instalar la plataforma de trabajo.

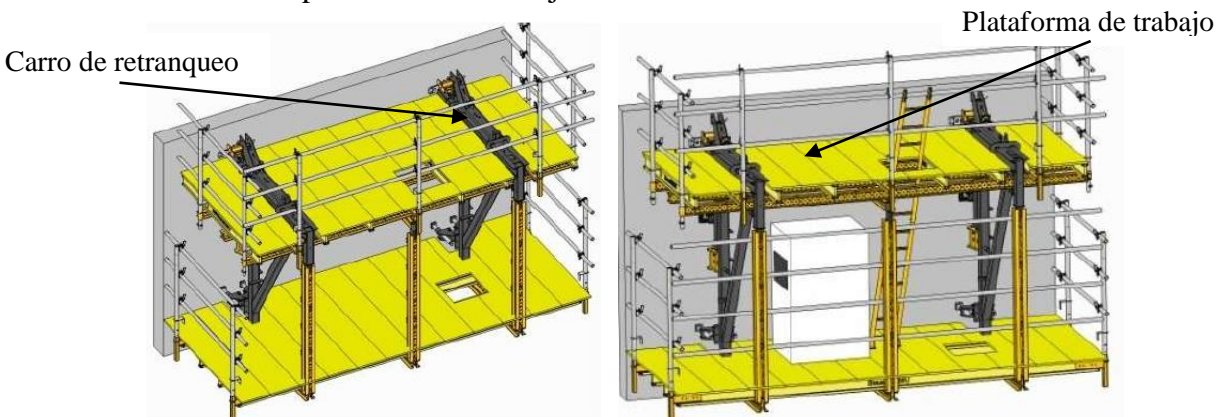


Fig. 50. Instalación de la plataforma de accionamiento. Adaptada de: Ulma Construction.

Tercera etapa:

Se procede a colar la segunda tongada.

Se retiran las barras y tuercas placa campana.

Se retrae y limpia el encofrado.



Fig. 51. Construcción de la segunda tongada. Recuperado de: Ulma Construction.

Cuarta etapa:

Se iza la consola unida y se fija por medio de los cajetines y conos embebidos.

Se dispone de la plataforma de recuperación de conos.

Se instalan los mástiles por grúa.

A continuación el sistema está listo para autotrear, prescindiendo de la grúa.

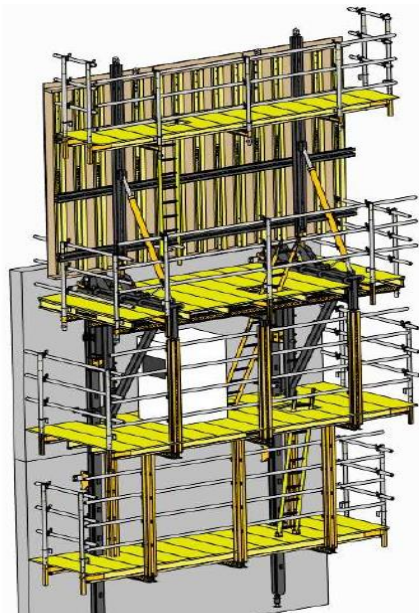


Fig. 52. Instalación de plataforma de seguimiento y mástiles. Recuperado de: Ulma Construction.

Quinta etapa:

El operario activa el sistema hidráulico.

La consola empieza a ascender, dependiendo de la posición del balancín de los cabezales.

Se realiza el montaje de la otra plataforma de recuperación de conos.

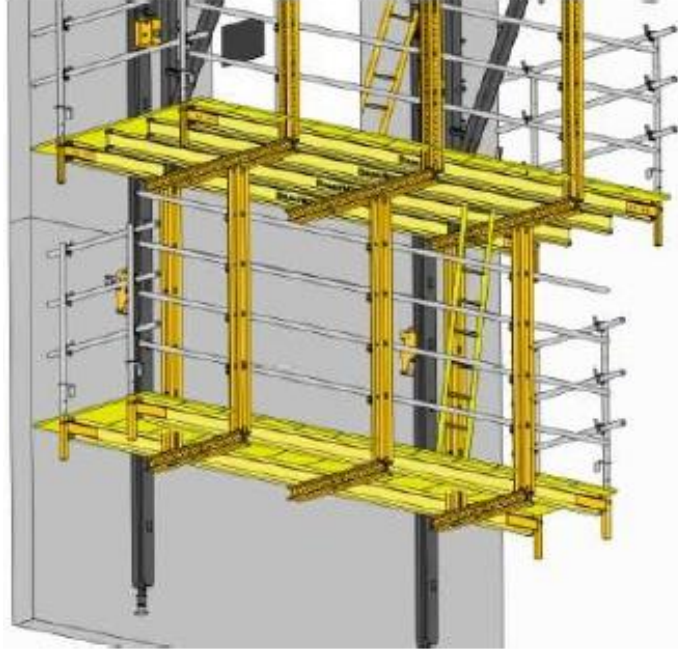


Fig. 53. Instalación de plataforma de recuperación de conos o de seguimiento. Recuperado de: Ulma Construction.

Sexta etapa:

Se contraen los paneles y se aploman correctamente.

Se procede a colar la tercera tongada (ver fig. 54).

Se termina la unión del sistema autotrepante.

La autotrepa asciende hidráulicamente.

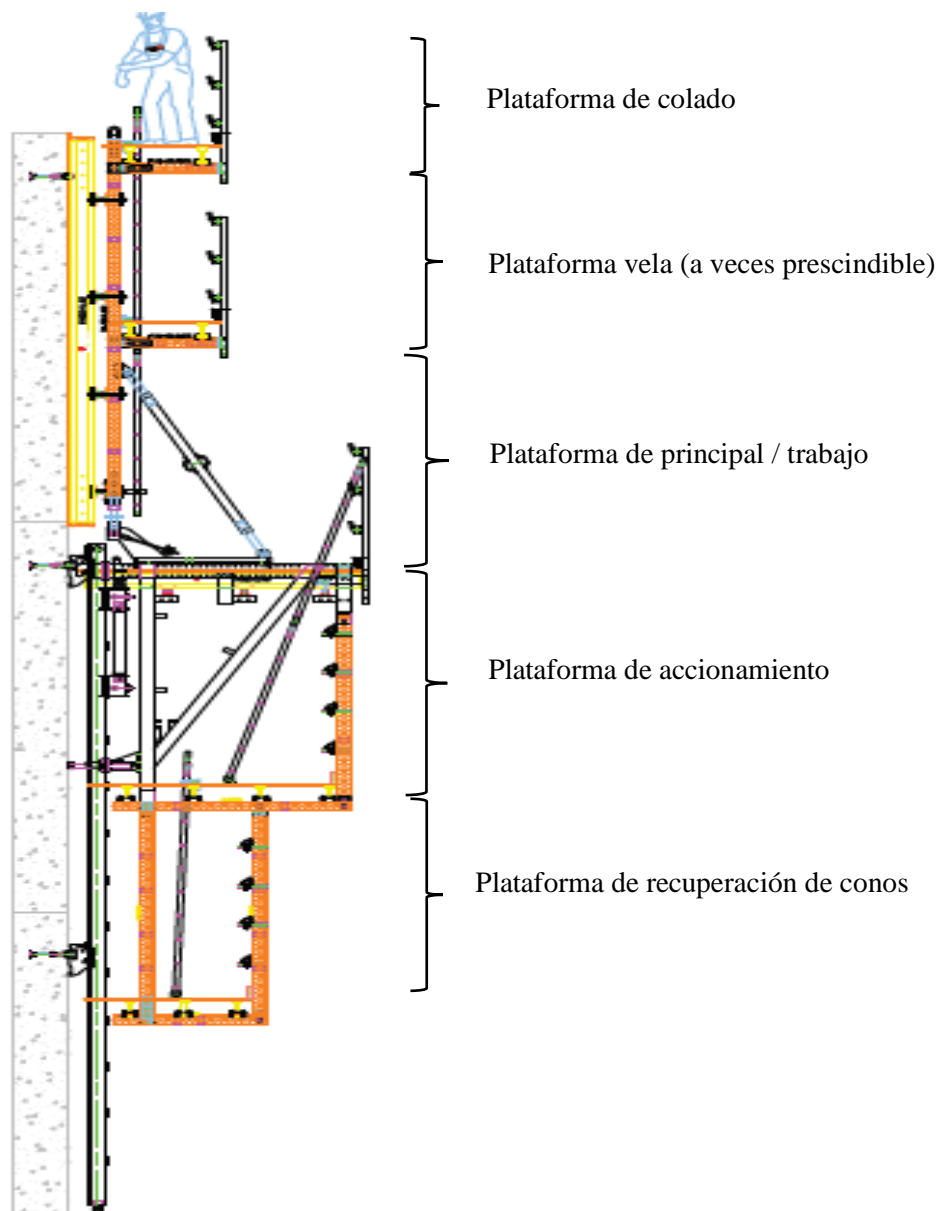


Fig. 54. Colado de la tercera tongada. Adaptada de: Ulma Construction.

Séptima etapa:

Con la ayuda del carro de retranqueo, se desencofra al panel.

Se colocan los cajetines que fungen como anclajes (ver fig. 55).

Se coloca la palanca en modo (M) para trepar al mástil.

Se recuperan anclajes inferiores por la plataforma de recuperación de conos.

Se coloca la palanca en modo (P) para subir a la consola completa.

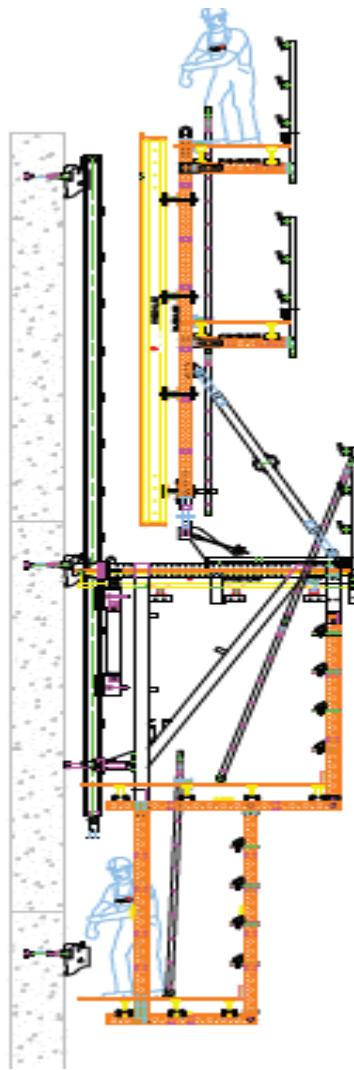


Fig. 55. Posicionamiento de los cajetines y recuperación de anclajes inferiores. Recuperado de: Ulma Construction.

Octava etapa:

Con el carro de retranqueo, se vuelven a juntar los paneles.

Se instalan los conos de anclaje.

Se procede a colar la cuarta tongada.

Se repiten las etapas 7 y 8, hasta acabar con la obra gruesa.

Finalización:

Al terminar con toda la construcción de muros y en la última tongada una vez endurecido el concreto, se procede a desmontar los paneles y al carro de retranqueo por medio de grúa. Se quitan las plataformas utilizadas de abajo hacia arriba y finalmente se retiran las consolas de trepado.

El uso de la grúa es mínimo en los sistemas autotrepantes, una vez instalado el sistema hidráulico que sirve para autotrear se prescinde de la grúa; solo hasta finalizar la obra se ocupa una vez más la grúa.

4.6 Cuidado y mantenimiento

Básicamente requiere el mismo mantenimiento que los sistemas tradicionales, tal es el caso del cuidado de la cara del tablero fenólico para garantizar múltiples usos a los paneles y tener buenos acabados al descimbrar. Sumado a ello, los nuevos componentes que ya se han analizado en este capítulo deben de realizarse sostenimiento periódico a sus elementos, especialmente comprobando que las conexiones a la fuente de poder sean óptimas; verificar que los cables eléctricos se encuentren funcionando adecuadamente, es decir, se tiene que hacer una revisión exhaustiva de la alimentación de central hidráulica, incluyendo luz, sin fugas de aceite en las mangueras, calidad de filtros adecuados y dar una manutención periódica en general para evitar fallas eventuales.

4.7 Inconvenientes en el uso de sistemas autotrepantes

Verticalidad

Es un parámetro muy importante porque si no se tiene una buena perpendicular traerá consigo problemas estéticos y estructurales. Es por ello que se debe cuidar la calidad de instalación del sistema autotrepante y trepante, una correcta supervisión de trabajo puede suprimir las fallas por mala verticalidad.

Como se analizó en el apartado 2.3 el ACI tiene diferentes tolerancias para la construcción en la edificación urbana, una mala vertical puede generar esfuerzos de torsión, cortante y momento flexionante que sobre-esfuercen a los elementos de anclaje y conexión de la consola autotrepante, provocando falla si son repetitivas las malas prácticas en tongadas superiores.

Anclajes

La colocación horizontal y vertical de los anclajes es fundamental, por ello es muy importante la verificación de la correcta instalación de los conos de anclaje y pies de anclaje. Un mal acomodo de los anclajes puede traer consigo una fallida posición en el encofrado, generando esfuerzos no contemplados en el diseño del elemento a colar.

Por ello, se han diseñado diferentes aditamentos y procedimientos constructivos que mejoran la instalación de anclajes y cajetines para minimizar fallas, tal es el caso de los posicionadores de anclaje y la constante evolución de las piezas autotrepantes para generar excelente ensamble entre los aditamentos como: el riel y el cajetín o el panel con el carro de retranqueo.

Espacio en obra

Es fundamental contemplar el espacio en obra, debido al proceso de ensamble del encofrado y de las diferentes plataformas de trabajo que se ocupan para el izado de las primeras tongadas de muro. Una mala planificación en el contexto constructivo, va a traer consigo retrasos en la ejecución de los elementos a colar; repercutiendo así en la efectividad en la implementación, interrupción del uso de la grúa y rápido avance por el autotrepado hidráulico, mermando la efectividad de los sistemas autotrepantes.

Personal calificado

A pesar de que se ha tecnificado y refinado el uso de estos sistemas, haciéndolos más grandes y fáciles de manipular, no cabe duda que la supervisión es esencial en el avance y triunfo de este tipo de sistemas, aun cuando los obreros reciban capacitación en el armado y uso del sistema autotrepante se comenten errores.

La construcción crítica puede ser durante los primeros ciclos de tongada debido a que el personal aún no tiene la soltura en el ensamble del encofrado, por ende él o los especialistas deben de hacer mayores intervenciones en los primeros ciclos de cimbrado, prestando total atención a la supervisión.

Alimentación de central hidráulica

Cuidar el consumo de recursos en la alimentación de central hidráulica para el ejercicio de autotrepado es de suma importancia en la correcta ejecución de los trabajos de instalación; por ello se debe verificar constantemente la corriente eléctrica requerida, el consumo de aceite en las mangueras y filtros. Por lo anterior es importante programar un mantenimiento preventivo que disminuya la probabilidad de falla en el procedimiento de izado.

Unión losa con muro

En la ejecución del sistema autotrepante, generalmente se tiene adelantada la construcción vertical de muros o de núcleos de edificación, esto trae consigo que las paredes verticales vayan adelantadas a las losas de entrepiso, lo que por sí mismo es un inconveniente constructivo. Si no se llega a unir correctamente la estructura implica problemas estructurales en el comportamiento previsto por el diseño estructural.

Hay un par de soluciones que se adoptan para resolver la unión losa-muro en muros con dos o tres pisos adelantados a la losa; la primera de ellas es la más económica que existe, sin embargo es la que mayor daño estructural genera.

En el encofrado se deja anclado horizontalmente acero de refuerzo al armado del muro, este tramo horizontal va doblado y escondido dentro del muro a colar, se cubre con una capa de poliestireno expandido para evitar que se pegue con el concreto endurecido. Terminado el colado y posterior avance de la autotrepa, se retira el poliestireno para proceder a enderezar el acero doblado para así enlazar el acero de refuerzo de la losa con las varillas descubiertas (ver fig. 56).



Fig. 56. Disposición de las varillas horizontales luego de volverlas a enderezar.

Recuperado de: Ulma Construction.

Lo anterior, además de ser complejo, no es recomendable debido a que el acero fluye, situación no contemplada en el diseño de los elementos, lo cual merma la calidad de conexión de la estructura, haciéndola propensa a fallas súbitas.

La segunda solución para la conexión losa-muro es empleando conectores mecánicos (ver fig. 57), esto es lo más recomendable por diversos motivos. El modo de preparación de los arranques del acero horizontal es uniéndolo con conectores, dichas puntas del conector se cubren para que no entre concreto y además se cubre con una capa de poliestireno para descubrirlo con facilidad y poder conectarlo al acero de la losa con la punta en hilo, ya preparada por una máquina roscadora antes de conectarlo.



Fig. 57. Detalle de posicionamiento de conectores de varilla. Recuperado de: Ulma Construction.

Esta solución es totalmente adecuada, la función de los conectores permite al acero trabajar correctamente bajo las suposiciones de diseño estructural adoptadas. Sin embargo, el uso de conectores es caro en grandes volúmenes.

En estructuras híbridas se hace más fácil el proceso de unión, debido a que se dejan placas embebidas en el concreto, las cuales luego se conectan a la estructura con el núcleo central, facilitando el trabajo de soldadura.

Con cualquier resolución que se adopte, debe de asegurarse la correcta postura de las puntas horizontales preparadas, cuidando mucho los desplazamientos que se puedan presentar en el acero, un desplazamiento significativo puede hacer que los conectores no embonen en el acero de la losa, conllevando a atrasos en la obra por tratar de resolver los problemas ocasionados.

Pérdida de piezas

Los desarrolladores de este tipo de sistemas de encofrado han hecho cada vez más grandes y manejables las piezas de este sistema, sin embargo puede haber pérdidas por el transporte continuo de las piezas, acarreando mermas económicas.

Los principales elementos que son susceptibles a la pérdida son las barras de anclaje debido a una mala ocupación de ellos en el sello de las barras. La barra de anclaje atraviesa al panel y sirve como soporte de la estructura de encofrado ante los empujes del concreto plástico. Su función es muy importante y la recuperación aún más valiosa.

Un mal sello de la barra roscada genera unión con el concreto fraguado, haciendo imposible su recuperación. Estas piezas no son baratas, por ello repercute económicamente cuando no se pueden recuperar del concreto.

Comentarios finales

El uso industrializado del sistema autotrepante puede acreditarse cuando se tienen alturas considerables, misma que debe de ser justificable económica-técnicamente para normalizar el uso en el contexto Latinoamericano.

Una de las grandes ventajas de los sistemas trepantes y autotrepantes es que no necesitan apoyarse en el suelo, esto es muy conveniente en las grandes urbes, dado que optimiza el espacio de cimbra que se llega a utilizar. A continuación se muestra una tabla del fabricante Ulma en el que pondera la justificación del uso de una u otra cimbra.

Selección de encofrado trepante o autotrepante:

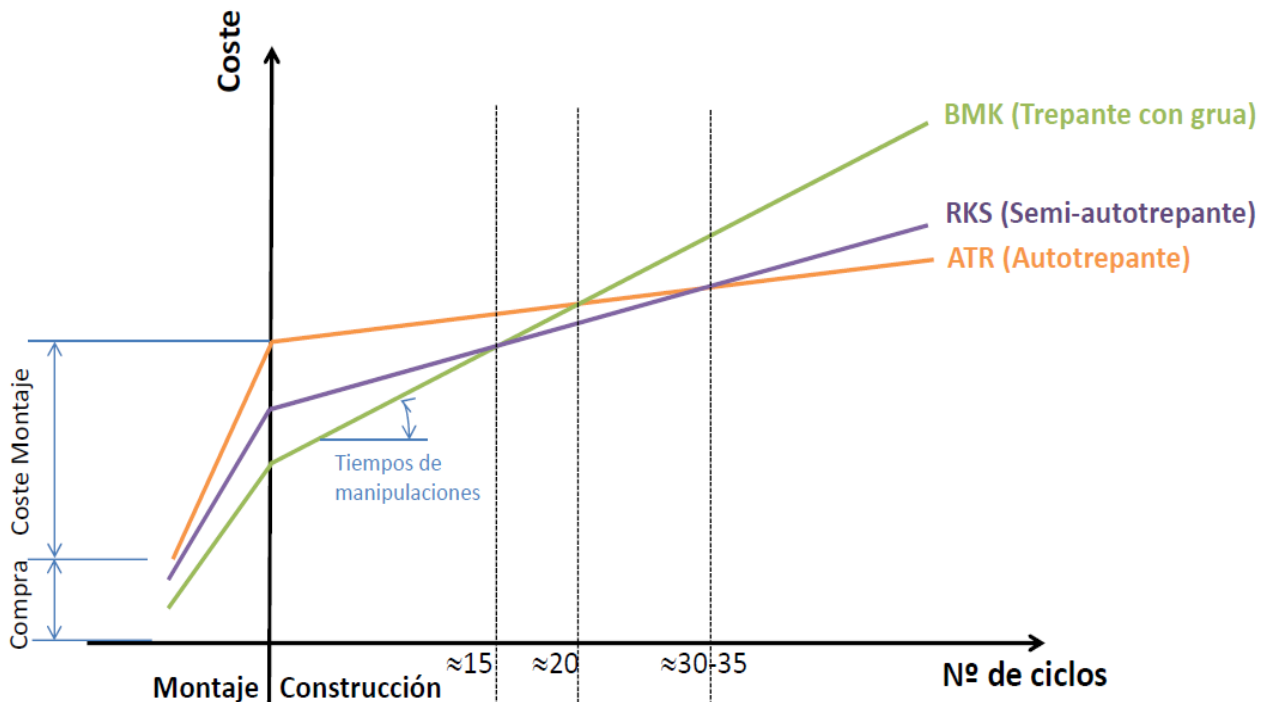


Fig. 58. Gráfica conforme al número de ciclos ocupados para la elección de cimbra.

Recuperado de: Ulma Construction, *Consolas autotrepantes*.

En la figura 49, se destaca que el sistema autotrepante se vuelve competitivo a partir de 20 ciclos de repetición, lo que nos conlleva a afianzar que en edificaciones superiores a 20 niveles es conveniente el uso del sistema autotrepante contra un sistema trepante.

Sin embargo, haciendo un análisis cualitativo para la elección de un sistema ATR, si consideramos una altura de entrepiso de 3.5 m por cada nivel, entonces se tendrá al multiplicar 3.5 m de altura * 20 ciclos de trepado, un resultado igual a 70 m de altura en la edificación. Esto no justifica su implementación inmediata en edificaciones con altura superior a la misma, porque para poder implementar un sistema autotrepante habría que considerar el costo de la mano de obra, uso del tipo de grúa, economía, velocidad de avance requerido, tiempo de ejecución establecido y seguridad en alturas superiores a los 100 m. De lo anterior y de la gráfica de la fig. 58 se sugiere que la implementación de un sistema ATR se puede llevar a cabo cuando el ciclo de repetición es mayor a 30 ciclos de trepado equivalente a 30 pisos de construcción. Solo ahí es cuando puede ser competitivo el sistema ATR.

Entonces, sí se puede trabajar con estos sistemas autotrepantes con mayor frecuencia si se conoce el trabajo que realizan en menores tiempos y destacando su importancia en edificaciones mayores a los 100 m de altura con el tema de la seguridad en grandes alturas.

Cabe destacar que en países desarrollados el costo de la obra de mano es más cara que en Latinoamérica, por ello resulta redituable con mayor facilidad la implementación en este tipo de países los sistemas tecnificados de autotrepado, y viceversa complicando un poco la puesta en marcha de los sistemas autotrepantes en países como México.

También hay que evaluar el costo de la grúa, dado que hay un impacto significativo en el uso de la misma. En México es un problema importante que requiere de un análisis especializado que resuelva y valore la eficacia en el trabajo de las grúas de diferentes capacidades, todo esto para tener un parámetro de adopción en la implementación del tipo de grúa más adecuada.

Lo anterior debe ser considerado como una invitación para su posterior estudio detallado.

Conclusiones

La presente investigación llevó a cabo un análisis exhaustivo de los encofrados trepantes y autotrepantes, primordialmente cuidando el aspecto técnico para el entendimiento de cada una de las partes que conforman a los encofrados verticales. Brindando herramientas concretas para la evaluación técnica en la implementación de encofrados verticales, discerniendo entre diferentes posibilidades constructivas ante las complicaciones que se puedan presentar en la adopción de cierto tipo de encofrado.

Además, en esta tesina se detalló de forma precisa el sistema de encofrado convencional Ulma y todos los aditamentos que lo conforman, las funciones primordiales para la puesta en marcha de encofrados trepantes y autotrepantes de la misma empresa, haciendo posible la decisión justificable en la adopción de procedimientos constructivos novedosos para la creación primordial de muros, cajones de elevador y núcleos centrales en edificaciones. En consecuencia se ha dado a conocer a la comunidad ingenieril estudiantil los métodos novedosos en el mercado de cimbras en el país, para su posterior complementación y mayor divulgación ante la poca información disponible que hay de estos sistemas de cimbras.

Cabe destacar que lo primordial al ejecutar una obra es hacer una correcta planeación de los recursos económicos, técnicos, de materia prima y recursos en general que permita un avance continuo en la construcción de elementos verticales, favoreciendo los tiempos de ejecución para la creciente demanda de edificios cada vez más altos.

Bibliografía

- ✚ Besomi Molina, M. (2009). *Comparación técnica y económica entre moldajes auto trepantes y otros tipos de moldajes especializados para su uso en construcción de edificios*. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil.
- ✚ Damiani, C. (29 de noviembre de 2011). *DISEÑO DE ENCOFRADOS [Imagen]*. Obtenido de Ing. Carlos Damiani: <http://carlosdamiani.blogspot.com/2011/11/disenio-de-encofrados.html>
- ✚ Hernández Soriano, A. (2014). *CIMBRAS DE PLÁSTICO ENSAMBLABLES, DISEÑO DE PIEZAS DE PLÁSTICO PARA CIMBRA*. México: UNAM, Programa de maestría y doctorado en ingeniería. Tesis de maestría en Ingeniería Civil.
- ✚ IMCYC. (2004). Propiedades del concreto. *Construcción y Tecnología en Concreto*.
- ✚ I.N.E.G.I. (s.f.). Clima. Distrito Federal. Recuperado de: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09#:~:text=En%20la%20mayor%20parte%20de,es%20de%2016%C2%B0C.&text=Carta%20de%20Climas%201%3A1%20000%20000.html>
- ✚ Ulma Construction. (Marzo de 2009). *Instrucción técnica de montaje “Consola trepante con trepa interior y encaje interior abatible”*, s.l, 24 p.
- ✚ Ulma Construction. (s.f. a). *Encofrado vertical modular Orma*, España, 74 p.
- ✚ Ulma Construction. (s.f. b). *Anclajes. Sistema de anclaje consola trepado*, España, 21 p.
- ✚ Ulma Construction. (s.f. c). *Consolas autotrepantes ATR*, España, 98 p.
- ✚ Ulma Construction. (s.f. d). *Sistemas de trepado convencionales*, España, 8 p.

- ✚ ULMA Construction. (29 de octubre de 2014). *Encofrados trepantes [Vídeo]*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=8DesVSJeDJE&t=12s.html>

- ✚ Variant Factory LTD. (s.f.). *Encofrado enmarcado Varimax [Imagen]*. Obtenido de Variant Factory LTD: <http://old.variant.kharkov.com/product/frame-formwork-varimax>

- ✚ ACI 117-90. (1989). *Standard Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-90)*. Recuperado de: <https://idoc.pub/documents/aci-117-90pdf-en5kjqlgrlno>

Anexo A

Según las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del 2017 en México, dispone de las siguientes definiciones.

Encofrado / cimbra

Toda cimbra se construirá de manera que resista las acciones a que pueda estar sujeta durante la construcción, incluyendo las fuerzas causadas por la colocación, compactación y vibrado del concreto. Debe ser lo suficientemente rígida para evitar movimientos y deformaciones excesivos; y suficientemente estanca para evitar el escurrimiento del mortero. En su geometría se incluirán las contraflechas prescritas en el proyecto.

Inmediatamente antes del colado deben limpiarse los moldes cuidadosamente. Si es necesario se dejarán registros en la cimbra para facilitar su limpieza. La cimbra de madera o de algún otro material absorbente debe estar húmeda durante un período mínimo de dos horas antes del colado. Se recomienda cubrir los moldes con algún lubricante para protegerlos y facilitar el descimbrado.

Descimbrado

Todos los elementos estructurales deben permanecer cimbrados el tiempo necesario para que el concreto alcance la resistencia suficiente para soportar su peso propio y otras cargas que actúen durante la construcción, así como para evitar que las deflexiones sobrepasen los valores fijados en el Título Sexto del Reglamento.

Curado

El concreto debe mantenerse en un ambiente húmedo por lo menos durante siete días en el caso de cemento ordinario y tres días si se empleó cemento de alta resistencia inicial. Estos lapsos se aumentarán si la temperatura desciende a menos de 278 K (5 °C); en este caso también se observará lo dispuesto en el inciso 15.3.7.

Para acelerar la adquisición de resistencia y reducir el tiempo de curado, puede usarse el curado con vapor a alta presión, vapor a presión atmosférica, calor y humedad, o algún otro proceso que sea aceptado. El proceso de curado que se aplique debe producir

concreto cuya durabilidad sea por lo menos equivalente a la obtenida con curado en ambiente húmedo prescrito en el párrafo anterior.

Tolerancias en la construcción de muros de concreto

a) Las dimensiones de la sección transversal de un miembro no excederán de las del proyecto en más de $10 \text{ mm} + 0.05x$, siendo x la dimensión en la dirección en que se considera la tolerancia, ni serán menores que las del proyecto en más de $3 \text{ mm} + 0.03x$.

c) En cada planta se trazarán los ejes de acuerdo con el proyecto ajustado, con tolerancia de un centímetro. Toda columna quedará desplantada de tal manera que su eje no diste, del que se ha trazado, más de 10 mm más dos por ciento de la dimensión transversal de la columna paralela a la desviación. Además, no deberá excederse esta cantidad en la desviación del eje de la columna, con respecto al de la columna inmediata inferior.

h) En ningún punto la distancia medida verticalmente entre losas de pisos consecutivos, diferirá de la de proyecto más de 30 mm, ni la inclinación de una losa respecto a la de proyecto más de uno por ciento.

i) La desviación angular de una línea de cualquier sección transversal de un miembro respecto a la dirección que dicha línea tendría según el proyecto, no excederá de cuatro por ciento.