



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

**COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE MOLDAJES AUTO
TREPANTES Y OTROS TIPOS DE MOLDAJES ESPECIALIZADOS PARA SU
USO EN CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

MARCO BESOMI MOLINA

PROFESOR GUÍA:
ARMANDO GABRIEL QUEZADA ORTÚZAR

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
DAVID ALBERTO CAMPUSANO BROWN
WILLIAM GEORGE WRAGG LARCO

SANTIAGO DE CHILE
AGOSTO 2009



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

**COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE MOLDAJES AUTO
TREPANTES Y OTROS TIPOS DE MOLDAJES ESPECIALIZADOS PARA SU
USO EN CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

MARCO BESOMI MOLINA

PROFESOR GUÍA:
ARMANDO GABRIEL QUEZADA ORTÚZAR

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
DAVID ALBERTO CAMPUSANO BROWN
WILLIAM GEORGE WRAGG LARCO

SANTIAGO DE CHILE
AGOSTO 2009

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: MARCO BESOMI MOLINA
FECHA: 25/08/2009
PROF. GUÍA: Sr. ARMANDO GABRIEL QUEZADA ORTÚZAR

COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE MOLDAJES AUTO TREPANTES Y OTROS TIPOS DE MOLDAJES ESPECIALIZADOS PARA SU USO EN CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS

El objetivo del presente trabajo de título es investigar el uso de un tipo de moldaje, poco usado en nuestro país, como una solución técnica para acelerar los trabajos de construcción de elementos verticales en edificios de hormigón armado. Este sistema es denominado auto trepante. Se espera entregar información suficiente para poder realizar una comparación entre éste y otras tecnologías presentes en el mercado actual.

Se trabajó con empresas líderes en el mercado, de donde se obtuvieron las características técnicas y económicas de todos los modelos y sistemas utilizados. Además, se conversó con usuarios con experiencia y se visitaron obras donde se utilizan las tecnologías, con lo que se completó la información necesaria para la realización del trabajo.

La técnica del sistema auto trepante consiste en construir una estructura vertical con un molde de altura variable (entre 2.4 y 6 [m]), el cual se apoya sobre los muros ya ejecutados por medio de pernos de anclajes embebidos en el hormigón. Los paneles son elevados mediante gatos hidráulicos que trepan sobre rieles a la posición siguiente.

También se realizó un análisis de los problemas que ocurren frecuentemente en cada sistema, así como las ventajas y desventajas que presentan, con lo que se identificaron los riesgos de cada tipo de moldaje.

Como resultado final se concluye que el sistema auto trepante permite acelerar los procesos de construcción de muros en comparación con los moldajes trepantes convencionales y tradicionales industrializados, manteniendo un alto nivel de calidad; pero su implementación en una construcción determinada, como lo es la caja de ascensores y escaleras de un edificio de oficinas, resulta de mayor costo por m². Sin embargo, al permitir una mayor velocidad de construcción, existen economías importantes no sólo en gastos generales, sino también en un mejor ordenamiento de la obra, aspecto difícil de cuantificar.

AGRADECIMIENTOS

Armando Gabriel Quezada Ortúzar: Gerente general de la empresa constructora Ingeniería y Construcción Quezada y Boetsch S.A., especialista en construcción con moldajes deslizantes.

Juan Pablo Costa: Constructor Civil de la empresa de moldajes PERI Chile Ltda.

Rodrigo Muñoz: Ingeniero Civil de la empresa de moldajes DOKA Chile Encofrados Ltda.

Gabriel Toro: Gerente técnico de la empresa de moldajes ULMA Chile Andamios y Moldajes S.A.

Antonio Machado: Gerente comercial de la empresa de moldajes ULMA Chile Andamios y Moldajes S.A.

Gonzalo Vicente: Ingeniero de la empresa de moldajes EFCO Chile S.A.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Introducción	1
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo general.....	3
1.2.2	Objetivos específicos	3
1.3	Metodología.....	4
2.	ANTECEDENTES	5
2.1	Presiones del hormigón fresco en encofrados	5
2.2	Aplicaciones de los distintos tipos de moldajes en edificios	9
3.	COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE MOLDAJES	14
3.1	Moldajes tradicionales	16
3.1.1	Tipos de encofrados tradicionales.....	17
3.1.1.1	ULMA.....	17
3.1.1.2	DOKA	23
3.1.1.3	PERI	29
3.1.1.4	EFCO	33
3.1.2	Rendimientos de los moldajes tradicionales.....	36
3.1.3	Problemas frecuentes en el uso de sistemas tradicionales	37
3.2	Moldajes trepantes y auto trepantes	39
3.2.1	Tecnología de los encofrados trepantes y auto trepantes	40
3.2.2	Elementos que conforman los moldajes trepantes y auto trepantes.....	42
3.2.3	Montaje y desmontaje de moldajes trepantes y auto trepantes	45
3.2.3.1	Encofrado trepante.....	45
3.2.3.2	Encofrado auto trepante.....	48
3.2.4	Tipos de encofrados trepantes y auto trepantes.....	53
3.2.4.1	ULMA.....	53
3.2.4.2	DOKA	61
3.2.4.3	PERI	66
3.2.4.4	EFCO	71
3.2.5	Rendimientos de los moldajes trepantes y auto trepantes	74
3.2.6	Problemas frecuentes en el uso de sistemas trepantes y auto trepantes	75

3.2.7	Ventajas y desventajas de los encofrados trepantes y auto trepantes	77
3.2.7.1	Ventajas.....	77
3.2.7.2	Desventajas.....	79
3.3	Moldajes deslizantes	81
3.3.1	Tecnología de los encofrados deslizantes.....	82
3.3.2	Elementos que conforman los moldajes deslizantes	87
3.3.5	Problemas frecuentes en el uso de sistemas deslizantes	94
3.2.6	Ventajas y desventajas de los encofrados deslizantes.....	98
3.2.6.1	Ventajas.....	98
3.2.6.2	Desventajas.....	99
3.4	Resumen comparativo.....	101
4.	COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE MOLDAJES.....	106
4.1	Moldajes tradicionales	108
4.2	Moldajes trepantes	109
4.3	Moldajes auto trepantes.....	110
4.4	Moldajes deslizantes	111
4.5	Resumen comparativo.....	113
5.	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	116
	BIBLIOGRAFÍA	119
	ANEXOS.....	121
	Anexo A: Detalles típicos de conectores mecánicos usados en Costanera Center:.....	121
	Anexo B: Tablas de costos de moldajes tradicionales:.....	123
	Anexo C: Tablas de costos de moldajes trepantes:.....	126
	Anexo D: Tablas de costos de moldajes auto trepantes:.....	129
	Anexo E: Tablas de costos de moldajes deslizantes:.....	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Porcentaje de cada partida en obra gruesa	1
Tabla 3.1: Unión de elementos verticales ORMA	18
Tabla 3.2: Unión de elementos horizontales ORMA	18
Tabla 3.3: Esfuerzos admisibles para cada tipo de grapa Framax	24
Tabla 3.4: Unión de elementos verticales Framax.....	25
Tabla 3.5: Unión de elementos horizontales Framax.....	25
Tabla 3.6: Unión de elementos verticales TRIO	30
Tabla 3.7: Unión de elementos horizontales TRIO	30
Tabla 3.8: Presión admisible de hormigón fresco.....	34
Tabla 3.9: Rendimientos moldajes tradicionales	36
Tabla 3.10: Capacidad de carga de las plataformas.....	44
Tabla 3.11: Rendimientos moldajes trepantes y auto trepantes	74
Tabla 3.12: Comparación moldajes tradicionales	101
Tabla 3.13: Continuación comparación moldajes tradicionales	101
Tabla 3.14: Comparación moldajes trepantes y auto trepantes.....	103
Tabla 3.15: Resumen de rendimientos de los sistemas.....	105
Tabla 4.1: Superficie de muros a considerar para cada altura.....	107
Tabla 4.2: Tipos de cambio	107
Tabla 4.3: Plazos moldajes tradicionales	108
Tabla 4.4: Costos moldajes tradicionales	108
Tabla 4.5: Plazos moldajes trepantes.....	109
Tabla 4.6: Costos moldajes trepantes	109
Tabla 4.7: Plazos moldajes auto trepantes.....	110
Tabla 4.8: Costos moldajes auto trepantes	110
Tabla 4.9: Plazos moldajes deslizantes.....	111
Tabla 4.10: Costos moldajes deslizantes	112

Tabla 4.11: Comparación de precios [UF] para alturas consideradas.....	113
Tabla B1: Gastos generales de los moldajes tradicionales para h = 70 [m].....	123
Tabla B2: Precios de moldaje tradicional EFCO para h = 70 [m].....	124
Tabla B3: Precios de moldaje tradicional DOKA para h = 70 [m].....	124
Tabla B4: Precios de moldaje tradicional PERI para h = 70 [m]	125
Tabla B5: Precios de moldaje tradicional ULMA para h = 70 [m].....	125
Tabla C1: Gastos generales de los moldajes trepantes para h = 70 [m].....	126
Tabla C2: Precios de moldaje trepante EFCO para h = 70 [m].....	127
Tabla C3: Precios de moldaje trepante DOKA para h = 70 [m].....	127
Tabla C4: Precios de moldaje trepante PERI para h = 70 [m]	128
Tabla C5: Precios de moldaje trepante ULMA para h = 70 [m].....	128
Tabla D1: Gastos generales de los moldajes auto trepantes para h = 70 [m].....	129
Tabla D2: Precios de moldaje auto trepante EFCO para h = 70 [m].....	130
Tabla D3: Precios de moldaje auto trepante DOKA para h = 70 [m].....	130
Tabla D4: Precios de moldaje auto trepante PERI para h = 70 [m].....	131
Tabla D5: Precios de moldaje auto trepante ULMA para h = 70 [m].....	131
Tabla E1: Gastos generales de los moldajes deslizantes para h = 70 [m].....	132
Tabla E2: Precios de moldajes deslizantes para h = 70 [m]	133
Tabla E3: Precios de moldajes deslizantes para h = 140 [m]	134
Tabla E4: Precios de moldajes deslizantes para h = 210 [m]	135
Tabla E5: Precios de moldajes deslizantes para h = 280 [m]	136
Tabla E6: Precios de moldajes deslizantes para h = 350 [m]	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Estructuras construidas con moldajes deslizantes.....	11
Figura 2.2: Torre CN, Toronto, Canadá.....	11
Figura 2.3: Torres Petronas, Singapur, construidas con moldajes auto trepantes.....	13
Figura 2.4: Estructura construida con moldajes auto trepantes.....	13
Figura 3.1: Ancho de paneles ORMA.....	17
Figura 3.2: Grapa de regulación ORMA.....	17
Figura 3.3: Modulación de encofrados ORMA.....	18
Figura 3.4: Escuadras de adaptación ORMA.....	19
Figura 3.5: Puntales estabilizadores ORMA.....	19
Figura 3.6: Sistema de anclaje ORMA.....	20
Figura 3.7: Barra rigidizadora ORMA.....	21
Figura 3.8: Plataforma de seguridad ORMA.....	22
Figura 3.9: Alturas de paneles Framax.....	23
Figura 3.10: Grapas de unión de elementos Framax.....	24
Figura 3.11: Sistemas de anclaje Framax.....	26
Figura 3.12: Riel de fijación Framax.....	27
Figura 3.13: Esquinas de adaptación Framax.....	27
Figura 3.14: Puntales estabilizadores Framax.....	28
Figura 3.15: Plataforma de seguridad Framax.....	28
Figura 3.16: Modulación de encofrados TRIO.....	29
Figura 3.17: Grapa de unión PERI.....	29
Figura 3.18: Disposición y sistema de anclaje TRIO.....	30
Figura 3.19: Barra rigidizadora TRIO.....	31
Figura 3.20: Plataforma de seguridad TRIO.....	31
Figura 3.21: Puntales estabilizadores TRIO.....	32
Figura 3.22: Perno rosca rápida y pasador rápido EFCO.....	33

Figura 3.23: Anclajes RT EFCO para encofrado Plate Girder.....	34
Figura 3.24: Piezas de ajuste Plate Girder.	35
Figura 3.25: Puntales estabilizadores Plate Girder.....	35
Figura 3.26: Plataforma de seguridad Plate Girder.....	35
Figura 3.27: Primera etapa del moldaje trepante.....	45
Figura 3.28: Segunda etapa del moldaje trepante.	45
Figura 3.29: Tercera etapa del moldaje trepante.....	46
Figura 3.30: Cuarta etapa del moldaje trepante.	46
Figura 3.31: Quinta etapa del moldaje trepante.....	47
Figura 3.32: Sexta etapa del moldaje trepante.....	47
Figura 3.33: Primera etapa del moldaje auto trepante.....	48
Figura 3.34: Segunda etapa del moldaje auto trepante.	48
Figura 3.35: Tercera etapa del moldaje auto trepante.	49
Figura 3.36: Cuarta etapa del moldaje auto trepante.....	49
Figura 3.37: Quinta etapa del moldaje auto trepante.....	49
Figura 3.38: Sexta etapa del moldaje auto trepante.	50
Figura 3.39: Séptima etapa del moldaje auto trepante.	50
Figura 3.40: Octava etapa del moldaje auto trepante.....	51
Figura 3.41: Etapa final del moldaje auto trepante.	51
Figura 3.42: Consola de elevación ULMA.	53
Figura 3.43: Acercamiento al cabezal trepador ULMA.	54
Figura 3.44: Cilindro hidráulico, cajetín con riel inserto y cabezal superior ULMA.	54
Figura 3.45: Posiciones de trabajo del cabezal trepador ULMA.	55
Figura 3.46: Elevación del riel ULMA.	55
Figura 3. 47: Elevación de la consola ULMA.....	56
Figura 3.48: Anclaje doble ULMA.....	57
Figura 3.49: Imágenes del anclaje doble ULMA.....	58
Figura 3.50: Anclaje cono pasante ULMA.	59

Figura 3.51: Consola de elevación DOKA.....	61
Figura 3.52: Acercamiento al sistema de trepado DOKA.....	61
Figura 3.53: Posiciones de trabajo del cabezal trepador DOKA.....	62
Figura 3.54: Elevación del riel DOKA.....	62
Figura 3.55: Elevación de la consola DOKA.....	63
Figura 3.56: Anclaje doble DOKA.....	64
Figura 3.57: Colocación del anclaje DOKA.....	64
Figura 3.58: Suspensión del cajetín en el anclaje DOKA.....	65
Figura 3.59: Consola de elevación PERI.....	66
Figura 3.60: Acercamiento a los cabezales trepadores PERI.....	66
Figura 3.61: Elevación del riel PERI.....	67
Figura 3.62: Posicionamiento del riel sobre el cajetín PERI.....	68
Figura 3.63: Elevación de la consola PERI.....	68
Figura 3.64: Elevación de la consola PERI.....	69
Figura 3.65: Anclaje doble PERI.....	69
Figura 3.66: Consola de elevación EFCO.....	71
Figura 3.67: Consola de elevación EFCO.....	72
Figura 3.68: Sistema de anclaje EFCO.....	73
Figura 3.69: Componentes del sistema de moldajes deslizantes.....	83
Figura 3.70: Conicidad del molde del encofrado deslizante.....	84
Figura 3.71: Gradiente de fraguado en moldajes deslizantes.....	85
Figura 3.72: Secuencia de trabajo del gato hidráulico.....	90
Figura 3.73: Componentes de los caballetes.....	91
Figura 4.1: Planta tipo de caja de ascensores de edificio supuesto.....	106
Figura 4.2: Distribución de gatos hidráulicos y barras metálicas.....	111
Figura A1: Unión losa – muro con conectores mecánicos.....	122
Figura A2: Acercamiento a conector mecánico.....	122

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

En las últimas décadas las innovaciones tecnológicas han marcado la pauta en el aumento de la eficiencia de los procesos productivos. La construcción de edificios es un área que no ha quedado ajena a este avance; teniendo en la partida correspondiente a los moldajes una mayor innovación tomando en cuenta la gran participación que tienen en los costos totales de un edificio.

Según la experiencia, la obra gruesa representa alrededor del 30% de los costos totales en un edificio. Considerando que las partidas más relevantes dentro de esta son: hormigón, acero y moldaje, se hace necesario realizar estudios que permitan optimizar los recursos invertidos en cada una de ellas. Tomando en cuenta que los costos del hormigón y del acero dependen de pocas variables, su optimización será mínima. Por otra parte, el caso de los moldajes es completamente diferente ya que existen diferentes tipos de sistemas que se adecuan mejor a distintos tipos de edificaciones, por lo que el simple hecho de escoger el sistema adecuado genera una disminución de los costos.

Para comprender empíricamente el porcentaje que representa la partida de moldajes en la obra gruesa de un edificio, se propone el siguiente ejercicio:

Supongamos que se tiene 1 m³ de hormigón en un muro de 20 [cm] de espesor. Luego, como el encofrado en muros va por ambos lados de este, se tienen 10 m² de moldaje. Además, tomando en cuenta los precios aproximados de mercado, se puede estimar el porcentaje que representa en los costos totales de la obra gruesa cada partida. Es decir:

Tabla 1.1: Porcentaje de cada partida en obra gruesa					
Partida	Unidad	Cantidad	Costo [\$/unidad]	Costo total [\$]	% Costos
Hormigón	m ³	1	50,000	50,000	26
Enfierradura	Kg	100	700	70,000	37
Moldaje	m ²	10	7,000	70,000	37
TOTAL [\$]				190,000	100

Con esto se puede afirmar que el moldaje representa cerca del 40% de la obra gruesa y es de las partidas más incidentes, por lo que optimizar su aplicación se hace necesario y productivo.

Por otra parte, los requerimientos comerciales y técnicos están reduciendo el plazo de ejecución de las obras, con lo que la velocidad en la construcción de éstas toma mucha importancia. Es por ello que para este trabajo de título se desea estudiar el uso de moldajes auto trepantes, que contribuyen al aumento en la velocidad de construcción de elementos verticales, permitiendo hacer más eficiente el proceso de hormigonado y en consecuencia más rápido el término de la obra gruesa en una construcción.

Si a lo anterior le sumamos la crisis por la que está pasando nuestro país y el mundo entero, que se ve reflejada directamente en la industria de la construcción, el escenario se complica. Además, la competencia en el sector de la construcción se hará mayor durante los próximos años; por lo tanto, la incorporación de nuevas tecnologías y técnicas constructivas va a marcar la diferencia.

Hoy en día, existen diversas técnicas que son poco conocidas por los profesionales chilenos que pueden entregar soluciones para hacer más rápidas, eficientes y hasta de mejor calidad las construcciones. Sin ir más lejos, el uso de moldajes auto trepantes es totalmente desconocido a nivel sudamericano, siendo Chile el gran referente de la región, ya que las torres del mega proyecto Costanera Center están siendo construidas mediante el uso de esta tecnología. Esto hace aún más interesante la realización de un estudio técnico y económico para comprender las debilidades y fortalezas del uso de estos encofrados en edificios.

Es por ello que la finalidad del estudio a realizar durante este trabajo es entregar la información necesaria para entender como funciona y cuanto cuesta implementar un sistema de moldajes auto trepante en comparación a otros tipos de moldajes¹, permitiendo así discernir que tipo usar para un determinado edificio.

¹ Tradicionales, trepantes convencionales y deslizantes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es investigar el uso de un tipo de moldaje, poco usado en nuestro país, como una solución técnica para acelerar los trabajos de construcción en edificios de hormigón armado.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudiar las especificaciones técnicas y de ejecución del moldaje auto trepante y las otras alternativas para poder realizar una comparación entre estos.
- Estimar los rendimientos diarios para los distintos tipos de moldajes en $\frac{m^2}{\text{hombre} \cdot \text{día}}$.
- Obtener los costos de adquisición y mantención para cada tipo de moldaje, así mismo los costos de montaje, descimbre y todo otro costo relevante.
- En base a los puntos anteriores, generar una evaluación económica para cada tipo de encofrados.

1.3 Metodología

- Recopilar información y antecedentes técnicos para cada tipo de moldaje.
- Visitar empresas que prestan servicios de encofrados para obtener los precios de venta y arriendo, los cuales se usarán para la evaluación propuesta.
- Obtener rendimientos para cada tipo de moldaje según catálogos.
- Obtener rendimientos para cada tipo de moldaje según la experiencia de distintos usuarios e información recopilada en obra.
- En base a los resultados obtenidos, realizar una comparación técnica y una evaluación económica que permita comparar moldajes auto trepantes con otros tipos de moldajes.

2. ANTECEDENTES

2.1 Presiones del hormigón fresco en encofrados

El encofrado debe ser concebido para limitar la deformación de los paneles que lo conforman; ellos, a su vez, deben tener rigidez suficiente y uniforme para resistir el empuje ejercido por el hormigón fresco, dándole forma y evitando las pérdidas por medio de las juntas.

Los sistemas de moldajes deben ser capaces de soportar las cargas verticales y horizontales mientras el hormigón no sea capaz de hacerlo por si mismo.

Durante el proceso de amasado del hormigón, el material se encuentra en un estado entre sólido y líquido, conocido como estado plástico. El cambio de un estado semi-líquido a un estado sólido es el resultado de diferentes procesos que se desarrollan en la masa de hormigón, tales como: inicio de la hidratación, fraguado y procesos químicos entre los elementos que lo componen. El tiempo que demore el proceso desde un estado plástico a uno sólido tiene un efecto en la disminución de las cargas que se ejercen sobre los moldajes.

Luego, la presión que ejerce el hormigón fresco sobre los encofrados es determinante para el diseño de estos mismo y los factores que más afectan a esta presión lateral son:

- Peso del hormigón:

El peso específico del hormigón tiene una directa influencia, ya que la presión hidrostática en cualquier punto de un fluido depende de este factor. Como sabemos la presión en un fluido es la misma en todas direcciones y actúa en forma perpendicular a la superficie de contacto que confina al fluido. Si se considera que el hormigón actúa como un fluido, la presión será equivalente a su peso específico, que se considera como $2.4 \text{ [ton/m}^3\text{]}$, por la profundidad hasta donde se considerará la acción de la presión. Sin embargo, el hormigón fresco es una mezcla de sólidos y agua, por lo tanto su comportamiento como fluido será sólo por un tiempo limitado.

- Velocidad de colocación:

A medida que el hormigón es colocado, la presión en el encofrado va aumentando. Si se supone una velocidad de colocación muy alta, se podría considerar que el hormigón en la parte superior del molde se encuentra en estado fresco, es decir: semejante a un fluido. Sin embargo, debido al inicio del proceso de fraguado, el concreto que se encuentra en la parte inferior del encofrado tiende a soportarse por sí mismo, eliminando la presión lateral que ejerce sobre el encofrado. Es por esto que la velocidad de colocación tiene un efecto primordial en la presión, relacionándose entre sí como una proporción directa.

- Vibración:

La vibración es un método utilizado para asegurar una buena compactación del hormigón. En la zona donde se está vibrando, la presión sobre los encofrados aumenta entre un 10% a un 20% respecto de la presión ejercida por una compactación natural o gravitacional. Algunas obras requieren de vibración y vibración externa, lo que aumenta este valor. Como vibrar es una práctica común en la actualidad, los encofrados tienen que considerar este factor en su diseño.

- Temperatura:

La temperatura del hormigón al momento de la colocación tiene una importante influencia sobre la presión ya que afecta directamente el tiempo de fraguado de este. A menores temperaturas, el hormigón tarda más en endurecer y por lo tanto se posee una mayor altura de hormigón fresco antes de que la porción inferior se endurezca lo suficiente para auto soportarse.

En cuanto al diseño del encofrado se deben tener en cuenta todas las variables mencionadas anteriormente. Sin embargo, después de largos años de discusión, tests de laboratorios e investigaciones, no existe un acuerdo en el nivel de importancia que debe tener cada una. Es por esto que el comité de la norma norteamericana ACI, sabiendo que entregar una fórmula de recomendación con un factor de seguridad muy pequeño puede generar fallas en el encofrado, prefirió recomendar el uso de la presión hidrostática como valor para la presión lateral ejercida por el hormigón fresco recién colocado; es decir:

$$p = \gamma \cdot h \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde,

γ = Peso específico del hormigón considerado como 2.5 [ton/m³].

h = Altura de hormigón fresco a colocar.

Por otra parte, la norma ASTM de moldajes hace una diferencia en el cálculo de la presión lateral ejercida por el hormigón sobre el encofrado según la velocidad de llenado y la temperatura del hormigón, tal como se muestra a continuación.

- Para una velocidad de colocación máxima de 2 [m/h]:

$$p = 0.073 + \frac{8 \cdot R}{T + 17.8} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

- Para una velocidad de colocación entre 2 y 3 [m/h]:

$$p = 0.073 + \frac{11.78}{T + 17.8} + \frac{2.49 \cdot R}{T + 17.8} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde,

p = Presión lateral en [kgf/cm²].

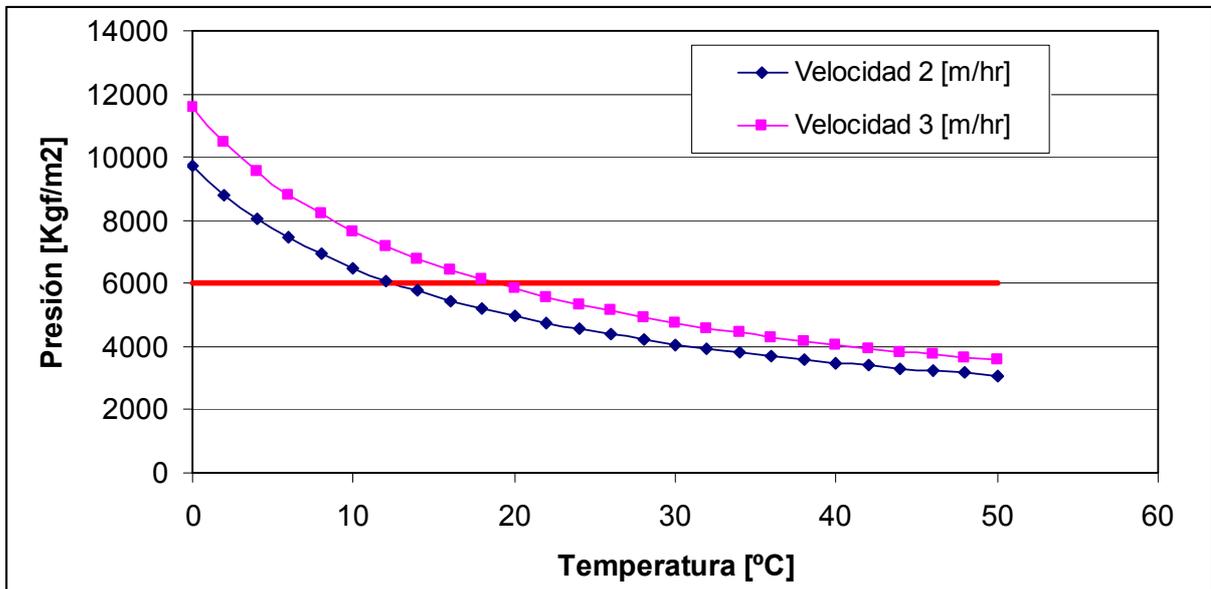
R = Ritmo de colocación en [m/hr].

T = Temperatura en [°C] del hormigón.

Ambas ecuaciones tienen como máximo el valor de la presión hidrostática dado por la Ec. 2.1.

Si se grafican las ecuaciones 2.2 y 2.3 se obtiene el valor de la presión en función de la temperatura para una velocidad de hormigonado dada. En el gráfico 2.1, que se muestra a continuación, se ve que a mayor velocidad de llenado, para una misma temperatura, la presión lateral ejercida sobre el encofrado es mayor. Además se aprecia que a medida que aumenta la temperatura del hormigón, disminuye la presión ejercida por este sobre el moldaje.

Gráfico 2.1: Presión lateral del hormigón fresco sobre el encofrado.



Se graficó una línea en los 6.000 [Kgf/m²] (60 [KN/m²]), porque representa una referencia de la presión lateral de hormigón fresco admisible para los moldajes industrializados que se utilizarán durante el desarrollo de la memoria.

2.2 Aplicaciones de los distintos tipos de moldajes en edificios

A lo largo de la historia y debido al aumento exagerado en tamaño y densificación de las ciudades, se ha hecho necesario construir edificaciones en altura para así poder satisfacer y compatibilizar las crecientes necesidades de las personas, ya sea en el área industrial, habitacional o de obras civiles.

Construcciones emblemáticas, de grandes alturas y buenas terminaciones han sido desde tiempos inmemoriales símbolo de progreso en el mundo. Con el avance tecnológico impulsado desde la revolución industrial se han abierto grandes posibilidades para realizar construcciones que antes eran impensables, abriendo espacios para el diseño arquitectónico e ingenieril. Además, la reducción sostenida de los costos también ha contribuido a aumentar los desafíos en cuanto a diseño y construcción se refiere, generándose así una carrera por construir edificios cada vez más altos. Todo este desarrollo acompañado de una mejora en la seguridad de los trabajadores que hacen posible estas construcciones.

Por otro lado, los costos pasaron a controlar la ejecución de proyectos, por lo que una mayor velocidad en la construcción marcará la diferencia entre las distintas soluciones. Esto hace que se comience a innovar en tecnologías y marca por lo tanto la creación de los moldajes trepantes, autos trepantes y deslizantes para la construcción de estructuras verticales.

Los moldajes trepantes consisten en un sistema modular de altura variable, donde el encofrado se une a una plataforma trepante que se afirma a muros ya construidos mediante anclajes que van introducidos en el hormigón. Se eleva la consola junto al encofrado mediante el uso de una grúa. El sistema auto trepante es básicamente un sistema de trepa convencional al que se le añaden soluciones mecánicas e hidráulicas para conseguir que la elevación del sistema se realice sin necesidad de grúa.

Por su parte, los encofrados deslizantes poseen una altura de aproximadamente 1[m], y se arman a nivel de la fundación o desde donde se quiere comenzar a deslizar. El molde se eleva continuamente mediante la utilización de gatos hidráulicos que trepan por barras metálicas que quedan introducidas en el hormigón.

Existen diversas estructuras que se pueden realizar utilizando estas tecnologías, sin embargo, este trabajo se concentrará en elementos verticales para la construcción de edificios. A continuación se darán ejemplos de estructuras construidas dentro y fuera de Chile para cada uno de los encofrados señalados anteriormente. Se decidió dejar fuera los moldajes tradicionales debido a su amplia y conocida aplicación.

Edificios construidos mediante moldajes deslizantes en Chile:

- Caja de ascensores y escaleras de la Torre Santa María.
- Edificio habitacional construido en Farellones, Santiago.
- Edificio habitacional ubicado en Av. Luís Thayer Ojeda, Providencia, Santiago.
- Núcleo de ascensores y escaleras del edificio de la CTC, Providencia, Santiago.

Edificios construidos mediante moldajes deslizantes en el mundo:

- Hong - Kong Hopewell Centre, de 374 [m] de altura, ubicado en Hong Kong, China.
- Torre CN, Toronto, Canadá. Con sus 553.3 [m] de altura es la segunda estructura más alta del mundo.

A continuación se muestran fotografías de estructuras construidas con moldajes deslizantes.



Figura 2.1: Estructuras construidas con moldajes deslizantes.



Figura 2.2: Torre CN, Toronto, Canadá.

El uso de moldajes trepantes es el más usado después del sistema tradicional. A continuación se presentan algunas las obras construidas en Chile:

- Cruz del milenio, de 92 [m] de altura, ubicada en Coquimbo, Chile.
- Estanque para el tratamiento de aguas servidas la Farfana, de 20 [m] de altura, ubicada en Santiago, Chile.
- Pilas del puente Amolana, de 100 [m] de altura en la cepa 3, ubicado en el kilómetro 309.5 de la ruta 5 Norte entre Los Vilos y La Serena, Chile.

La incorporación de gatos hidráulicos a la tecnología trepante permite automatizar el sistema obteniendo así el moldaje denominado auto trepante. Corresponde a una tecnología relativamente nueva que no había sido usada en Sudamérica hasta que Horst Paulmann, a través de Salfacorp, la hizo parte de su proyecto Costanera Center contratando a empresas de envergadura mundial como lo son PERI y DOKA.

Las obras de mayor altura han sido construidas con este sistema, entre ellas destacan:

- Torres Petronas, de 450 [m] de altura, ubicadas en Singapur.
- Torre Trump, de 415 [m] de altura, ubicada en Chicago, USA.
- Torre Telecom, de 320 [m] de altura, ubicada en Kuala Lumpur, Malaysia.
- One Bryant Park, de 280 [m] de altura, ubicada en New York, USA.
- Torre S y V, de 235 [m] de altura, ubicada en Madrid, España.



Figura 2.3: Torres Petronas, Singapur, construidas con moldajes auto trepantes.



Figura 2.4: Estructura construida con moldajes auto trepantes.

3. COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE MOLDAJES

Para la construcción de elementos verticales en edificios se pueden usar diferentes tipos de encofrados. Los que se tomarán en cuenta para esta comparación serán: tradicionales industrializados, trepantes, auto trepantes y deslizantes. En el caso de los tradicionales hay que acotar que no se trabajará con los sistemas que puedan ser transportados a mano, porque el uso que se les da no es comparable con los moldes auto trepantes, que es el nuevo tipo de encofrado que interesa estudiar en este trabajo.

En Chile los sistemas más utilizados son los tradicionales y trepantes, sin embargo, a mediados del siglo 20, se introdujo el sistema deslizante, el que se ha ido masificando lentamente. Por último, los auto trepantes recién fueron traídos a Chile y Sudamérica para la construcción de las torres del Costanera Center en el año 2000.

Para la construcción de edificios de hormigón armado existen tolerancias², independientes del sistema a utilizar, que representan variaciones permisibles en la alineación, pendientes o dimensiones señaladas en los planos del contrato. A continuación, se entregarán las tolerancias correspondientes al concreto colado en obra para muros en edificios.

- Alineación lateral:

- Para alturas de 30.5 [m] o menos:

- a) Líneas, superficies y aristas: 2.54 [cm].
- b) Juntas de concreto expuesto a la vista: 1.27 [cm]

- Para alturas mayores a 30.5 [m]:

- a) Líneas, superficies y aristas: 1/1000 veces la altura, pero no más de 15.2 [cm].
- b) Juntas de concreto expuesto a la vista: 1/2000 veces la altura, pero no más de 7.6 [cm].

² Obtenidas de la norma ACI 117 R-90.

- Dimensiones de la sección transversal:

- Elementos tales como: columnas, vigas, pilares, muros (únicamente espesor) y losas (únicamente espesor):

a) Dimensión de 30 [cm] o menos: + 0.9 [cm], - 0.6 [cm].

b) Dimensión de más de 30 [cm] pero no más de 0.91 [m]: + 1.27 [cm], - 0.9 [cm].

c) Mayor de una dimensión de 0.91 [m]: + 2.54 [cm], - 1.9 [cm].

- Alineación relativa:

- El desnivel entre piezas adyacentes de material de revestimiento de cimbra no excederá:

a) Clase A: 0.3 [cm].

b) Clase B: 0.6 [cm].

c) Clase C: 1.27 [cm].

d) Clase D: 2.54 [cm].

Las irregularidades clase A se sugieren para superficies que estén expuestas principalmente a la vista del público, en donde la apariencia es de especial importancia.

La clase B es para texturas rugosas en superficies que van a recibir yeso, estuco o paneles de madera.

La clase C es un estándar general para superficies expuestas permanentemente y en donde no se especifica otro tipo de acabado.

La clase D es un requisito de calidad mínima para superficies en que no importa la rugosidad y se aplica generalmente a superficies permanentemente ocultas.

3.1 Moldajes tradicionales

Inicialmente, las estructuras en altura eran construidas utilizando moldes tradicionales, sistema que actualmente está lejos de ser reemplazado o estar ausente al momento de escoger el moldaje a utilizar en un edificio. Sin ir más lejos, el edificio Titanium, de 52 pisos y 200 [m] aproximadamente, utiliza encofrados tradicionales que su dueño Abraham Senerman encargó directamente a China.

La función del encofrado es mantener el concreto en un molde, transmitiendo la forma geométrica y la textura superficial deseadas del hormigón durante su período de fraguado y endurecimiento inicial. Tanto la naturaleza de los materiales empleados (madera, plástico, metal, etc.) en la superficie de contacto entre encofrado y hormigón, como su textura, determinan el acabado superficial que se desea obtener. Los moldes deben ser limpiados cada vez que se utilizan, eliminando restos de hormigón y suciedad. Además se debe asegurar su estanqueidad, evitando fugas de lechada.

Los sistemas de moldajes tradicionales industrializados consisten en una estructura de paneles de acero a la cual se le agrega un tablero que es la base que está en contacto con el hormigón. Las dimensiones del encofrado varían según la altura que se quiere construir. Una mayor altura permite avanzar con mayor rapidez; sin embargo, puede presentar problemas como: nidos en el hormigón por dificultad de vibrado y problemas en su movimiento producto del mayor peso que tiene.

A la estructura de moldaje se le agregan puntales de acero ajustables (dependiendo de la altura del panel) que permiten mantener el molde nivelado, sin que se produzcan movimientos durante el hormigonado dadas las altas presiones que se alcanzan.

Es importante señalar que los paneles se pueden utilizar varias veces, cambiando o arreglando el tablero en mal estado debido al repetido uso en obra. Los tableros se deterioran producto del agente corrosivo que es el hormigón y al mal trato que le dan los trabajadores durante su manipulación.

3.1.1 Tipos de encofrados tradicionales

Para tener una mejor visión de lo que son estos tipos de moldajes y comprender de mejor manera su uso y especificaciones, se tomarán los sistemas que ofrecen las empresas ULMA, PERI, DOKA y EFCO.

3.1.1.1 ULMA

El sistema ofrecido por esta empresa se denomina ORMA. Está conformado por paneles de grandes dimensiones y propiedades físicas constantes, lo que permite superficies de acabado lisas y de fácil mantenimiento.

Como elementos básicos, este sistema está formado por paneles de hasta 2.7 [m] de altura, 12 [cm] de espesor³ y 5 anchos diferentes, más una grapa de regulación (figuras 3.1 y 3.2 respectivamente). Esta última es el elemento de unión y rigidización principal utilizada para la formación de conjuntos de paneles. Asegura la estanqueidad del hormigón en las uniones.

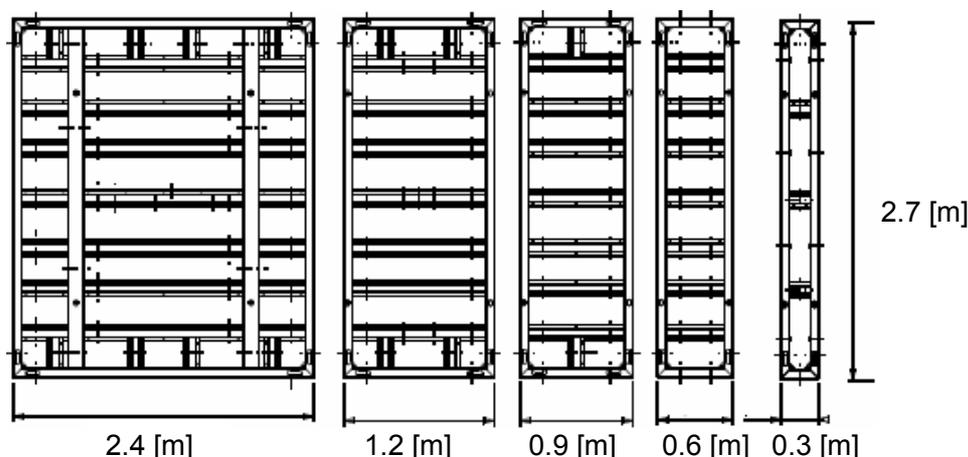


Figura 3.1: Ancho de paneles ORMA.

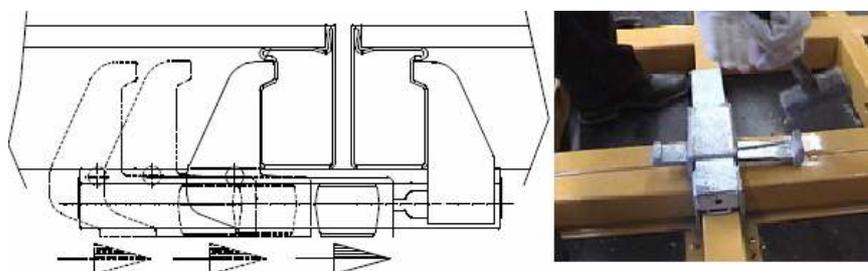


Figura 3.2: Grapa de regulación ORMA.

³ Se refiere al espesor de los perfiles que conforman el marco rígido del panel. Este valor no incluye el espesor del tablero.

Otra característica de la grapa es que es autoalineante, es decir: elimina la necesidad de alineadores cuando se unen los paneles. Además, permite formar una superficie de hasta 39 [m²] (6 paneles de 2.7 [m] x 2.4 [m]), posible trasladar con grúa en una sola pieza. La unión se caracteriza por ser rápida y sencilla, ya que sólo se necesita un martillo como herramienta de trabajo, tal como se aprecia en la figura 3.2.

La disposición de las grapas en el sentido vertical y horizontal depende de la dimensión de los paneles. La cantidad de unidades para la unión de paneles en el sentido vertical y horizontal se muestra en las tablas 3.1 y 3.2 respectivamente.

Tabla 3.1: Unión de elementos verticales ORMA	
Altura del elemento [m]	Número de grapas
0.9	2
1.2	2
2.7	2

Tabla 3.2: Unión de elementos horizontales ORMA	
Altura del elemento [m]	Número de grapas
0.3	1
0.6	1
0.9	2
1.2	2
2.4	2

Los esfuerzos de tracción y corte que es capaz de resistir una grapa son 15 [KN] y 6 [KN] respectivamente.

Como los paneles se encuentran en 5 anchos y 3 alturas diferentes, se puede obtener gran flexibilidad permitiendo realizar una modulación múltiplo de 30 [cm] tal como se muestra en la figura 3.3.

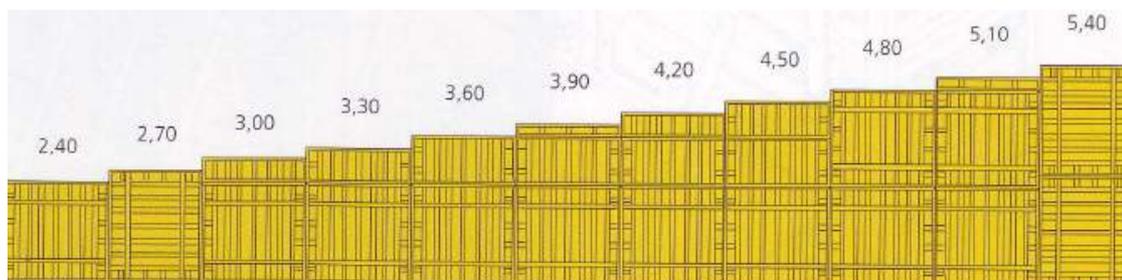


Figura 3.3: Modulación de encofrados ORMA.

Además existen elementos complementarios a este sistema que facilitan su adaptación a cualquier geometría de la obra como escuadras fijas, escuadras interiores y exteriores giratorias que permiten realizar encuentros de muros en el ángulo deseado.

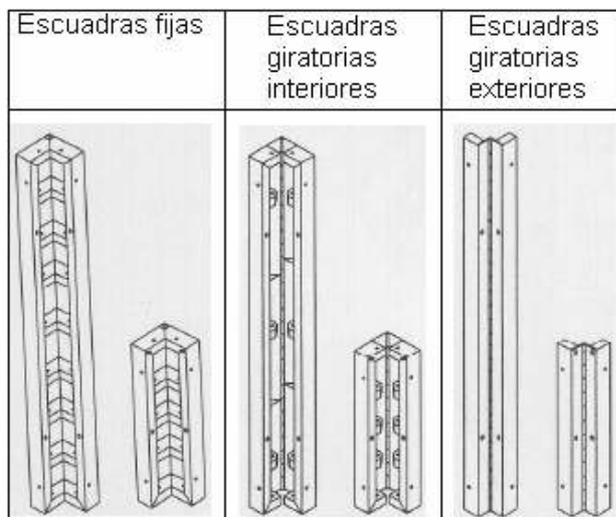


Figura 3.4: Escuadras de adaptación ORMA.

La capacidad de los paneles para soportar presiones del hormigón fresco es de 60 [KN/m²], equivalente a una altura de 2.4 [m] del mismo material.

Para dar estabilidad al molde se utilizan puntales que van rotulados a la losa mediante una placa base y al panel a través de cabezales. Además con estos se regula que el moldaje quede bien aplomado.

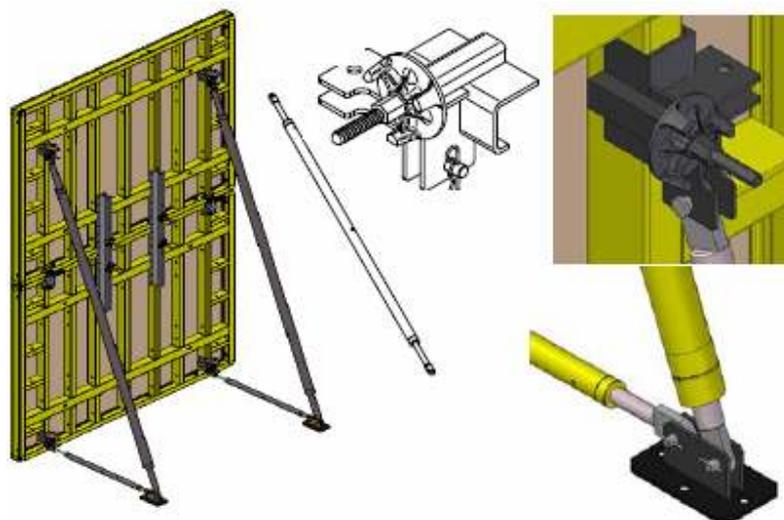


Figura 3.5: Puntales estabilizadores ORMA.

Los anclajes entre paneles están compuestos por una barra de anclaje (15 o 20 [mm] de diámetro, según el diseño a realizar en obra), un cono, un tapón, un tubo distanciador y un obturador (ver figura 3.6).

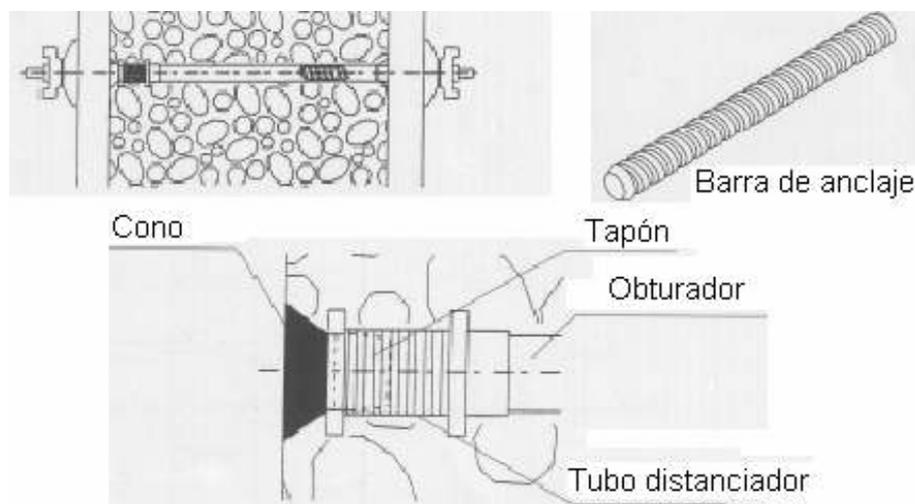


Figura 3.6: Sistema de anclaje ORMA.

Estos elementos poseen grandes resistencias a la tracción y son los encargados de unir las caras paralelas de los paneles evitando su abertura en el hormigonado.

Los orificios en el panel dejados por las barras de anclaje deben ser tapados para evitar una fuga de la lechada producida por el hormigón. Para esto, la barra de anclaje se envuelve con el tubo distanciador, al que a su vez se le coloca un obturador, que consiste en una pieza de plástico con anillos cilíndricos que recibe al tapón para completar la barrera que impide la salida de la lechada. El cono es la pieza encargada de sellar la barra, evitando que la lechada la aprisione dificultando así su recuperación una vez descimbrado el muro. El tubo distanciador, que queda embebido en el hormigón, cumple además con la función de permitir una fácil recuperación de las barras de anclaje, ya evita que estas queden atascadas en el hormigón ya fraguado.

En edificaciones no conviene que queden perforaciones en muros exteriores, ya que un inadecuado relleno de ellos es una vía de humedad. Una solución posible a este problema es fabricar una pieza con una tuerca en cada uno de sus extremos tal que se pueda apernar una barra de anclaje por cada lado. El sistema para evitar la fuga de lechada es idéntico al explicado con anterioridad. Las tuercas, al estar unidas y separadas entre si, permiten que entre ellas quede hormigón producto del relleno del muro, evitando así una perforación de lado a lado y entregando una solución al problema en cuestión. Hay que considerar que la pieza queda

embebida en el hormigón, lo que aumenta los costos de la ejecución de los muros exteriores. Los huecos que quedan al retirar las barras de anclaje son rellenados con mortero.

Para uniones en altura se utilizan rigidizadores que permiten transmitir las fuerzas del anclaje a los elementos del marco, actuando también como alineadores.

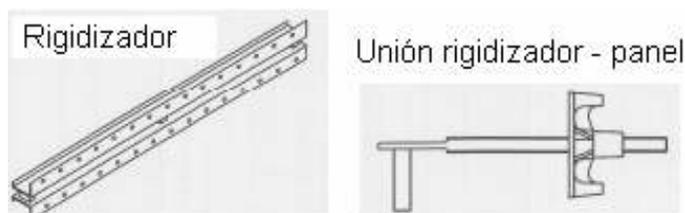


Figura 3.7: Barra rigidizadora ORMA.

La cara de contacto del encofrado con el hormigón corresponde a un tablero con recubrimiento fenólico⁴, compuesto por madera contrachapada cubierta de un elemento plástico que evita la inserción de humedad, enemigo principal de este tipo de tableros. Posee 18 [mm] de espesor, asegurando una vida útil de 50 usos aproximadamente.

Desde el punto de vista de la seguridad, existen accesorios para el encofrado tomando en cuenta los principales riesgos en el uso de encofrados verticales. Estos son:

- Caída del encofrado: ya sea debido a fuertes vientos, desnivelación de apoyos, etc.
- Caída de altura del personal en cualquiera de sus fases de ejecución.
- Caída de encofrados por desprendimientos debido a golpes fortuitos, rotura de anclajes, etc.

Para enfrentar estos problemas proponen 2 reglas de prevención:

- 1) Viento: Es una de las principales causas de derribo de los encofrados, por lo que se debe asegurar su estabilidad para velocidades medias entre 45 y 50 [Km/h] como viento de servicio y 150 [Km/h] como viento máximo.
- 2) Plataformas de trabajo de hormigonado: Para evitar la caída en altura se diseñó una plataforma libre de 120 [cm] de ancho y 110 [cm] de alto, que posee barandas, rodapiés y soporta 200 [Kg/m²]. Esta plataforma va dispuesta a ambos lados del encofrado.

⁴ En lo sucesivo este término hará referencia a un recubrimiento de alta densidad (del orden de 440 [gr/m²]), empleado para impermeabilizar y eliminar asperezas o zonas de bajo relieve en el tablero.

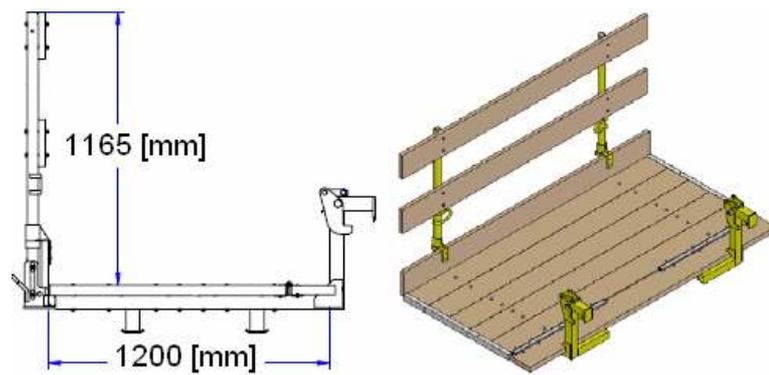


Figura 3.8: Plataforma de seguridad ORMA.

Finalmente, el peso promedio de este sistema considerando paneles, tablero y todas las piezas que conforman el moldaje es de: $80 \text{ [kg/m}^2\text{]}$

3.1.1.2 DOKA

Framax Xlife es el moldaje que ofrece la empresa DOKA. En edificios es utilizado para grande muros de hormigón.

Sus paneles compuestos por marcos de acero de 12 [cm] de espesor (sin considerar espesor de tablero) con perfiles que forman una retícula cada 15 [cm] lo que permite que los elementos de este sistema se puedan combinar en sentido vertical y horizontal, creando así unidades de desplazamiento compactas.

Los marcos de acero de los paneles son galvanizados y con recubrimiento pulverizado, que permite una fácil limpieza. Existen paneles de 4 alturas (ver figura 3.9) y 6 anchos⁵ diferentes.



Figura 3.9: Alturas de paneles Framax.

Estos son unidos mediante 2 tipos de grapas, la de uso rápido denominada Framax RU, y la de unión universal denominada Framax universal. Ambas requieren sólo de un martillo como herramienta de trabajo. La primera es capaz de hacer uniones verticales con madera perfilada, mientras que la segunda puede ser utilizada para unir compensaciones de madera entre paneles hasta de 15 [cm] y unión de panel con tablón de madera hasta de 20 [cm]. Lo anterior lo refleja la figura 3.10.

⁵ Anchos de 0.3, 0.45, 0.6, 0.9, 1.35 y 2.4 [m].

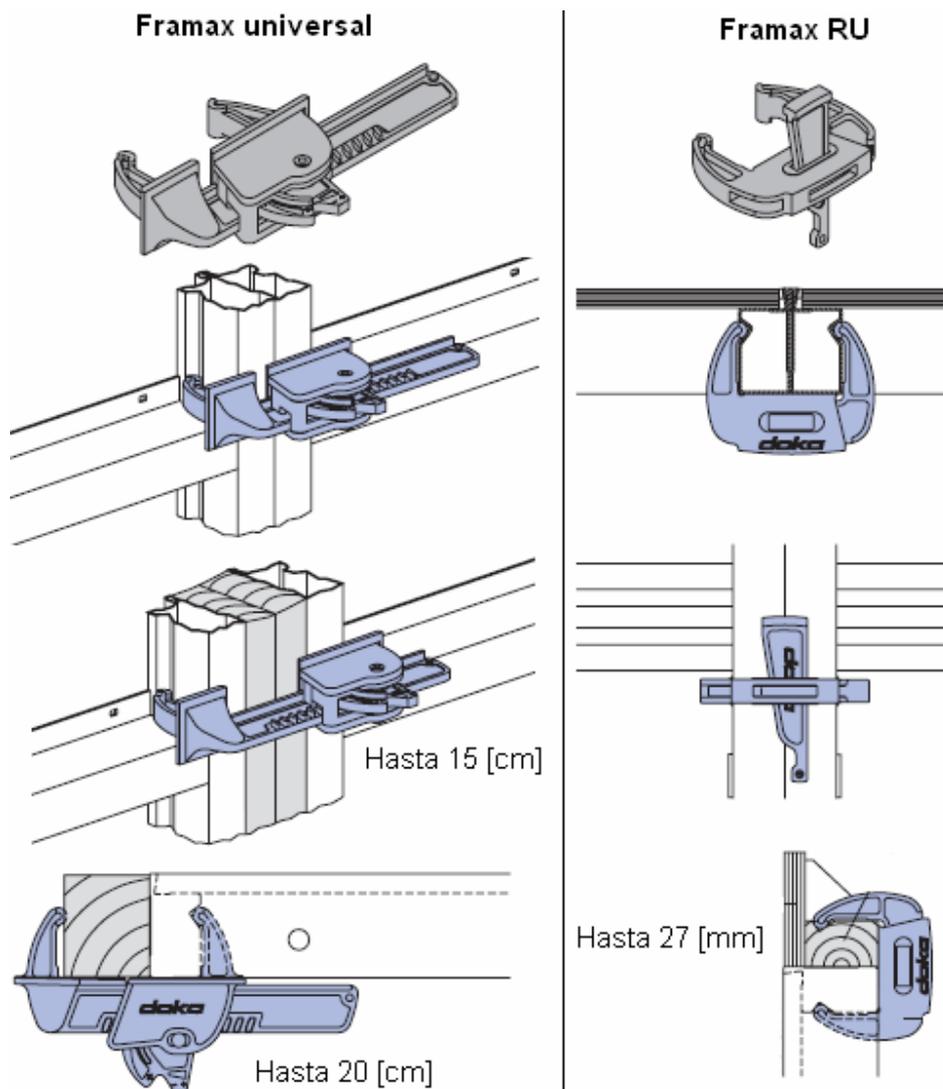


Figura 3.10: Grapas de unión de elementos Framax.

La diferencia entre ellas son los esfuerzos que resisten, esto se ve representado en la siguiente tabla:

Tabla 3.3: Esfuerzos admisibles para cada tipo de grapa Framax		
Grapa	Tracción [KN]	Corte [KN]
Framax RU	15	6
Framax universal	15	9

Además para unir paneles en sentido vertical se usan distintos números de grapas dependiendo de la altura del panel, es decir:

Tabla 3.4: Unión de elementos verticales Framax	
Altura del elemento [m]	Número de grapas
0.9	2
1.35	2
2.7	2
3.3	3

Para unir elementos horizontales la distribución de grapas es la siguiente:

Tabla 3.5: Unión de elementos horizontales Framax	
Altura del elemento [m]	Número de grapas
0.3	1
0.45	1
0.6	2
0.9	2
1.35	2
2.4	2

El tablero consiste en una combinación de núcleo de madera contrachapada con un recubrimiento plástico de 1.5 [mm], lo que evita la absorción de humedad y aumenta el número posible de usos. Es de 21 [mm] de espesor y, dependiendo del trato que se le dé en obra, su vida útil es de 60 usos aproximadamente.

La presión admisible de hormigón fresco que soportan los paneles para toda la superficie varía entre 60 y 80 [kN/m²], lo que equivale a una altura de 2.4 [m] y 3.2 [m] respectivamente.

Dependiendo la capacidad requerida, el anclaje que se utiliza para los paneles, usando el sistema Doka 15.0 para presiones de 60 [kN/m²] y el sistema Doka 20.0 para 80 [kN/m²]. La diferencia entre ellos es que la barra de anclaje posee diferente diámetro; de 15 y 20 [mm] respectivamente.

Los anclajes deben estar dispuestos siempre en el marco del panel. Debido a la retícula antes mencionada, pueden estar distanciados hasta por 1.35 [m] en la horizontal. En la vertical

se recomienda usar 2 líneas de anclaje para los paneles de 3.3 y 2.7 [m], asegurando así la capacidad de resistir la presión admisible del hormigón fresco.

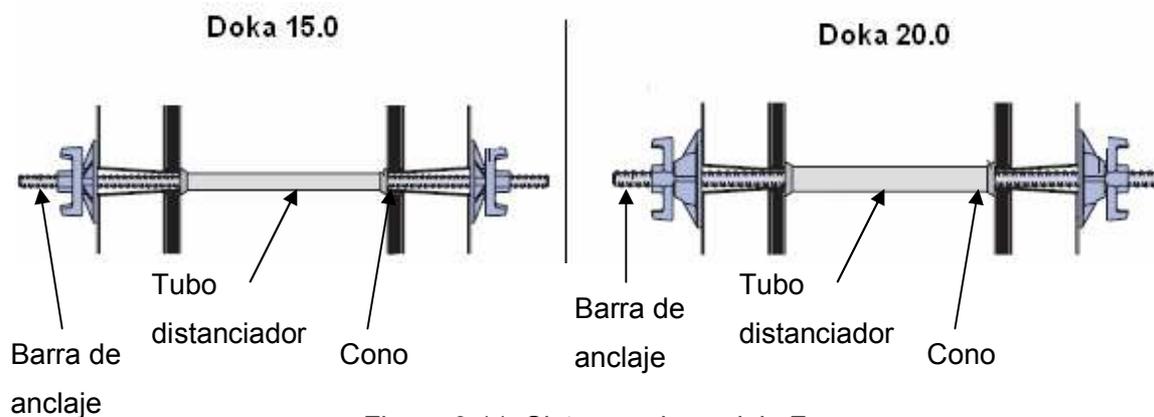


Figura 3.11: Sistemas de anclaje Framax.

La diferencia entre ambos sistemas radica principalmente en el tamaño y dimensiones de sus piezas, que es lo que les permite soportar diferentes presiones laterales de hormigón sobre el encofrado para una misma disposición.

Los tubos espaciadores, que permanecen en el hormigón, se cierran con tapones los que impiden una posible fuga de la lechada producida por el hormigón.

En uniones verticales de mayor altura se utilizan los rigidizadores o rieles de fijación. Con estos se logra una colocación y distribución de elementos mediante el uso de grúa sin problemas. En las uniones y compensaciones que se hacen con las grapas, los rieles de fijación se encargan de alinear los paneles y transmitir las fuerzas del anclaje a los elementos del marco.

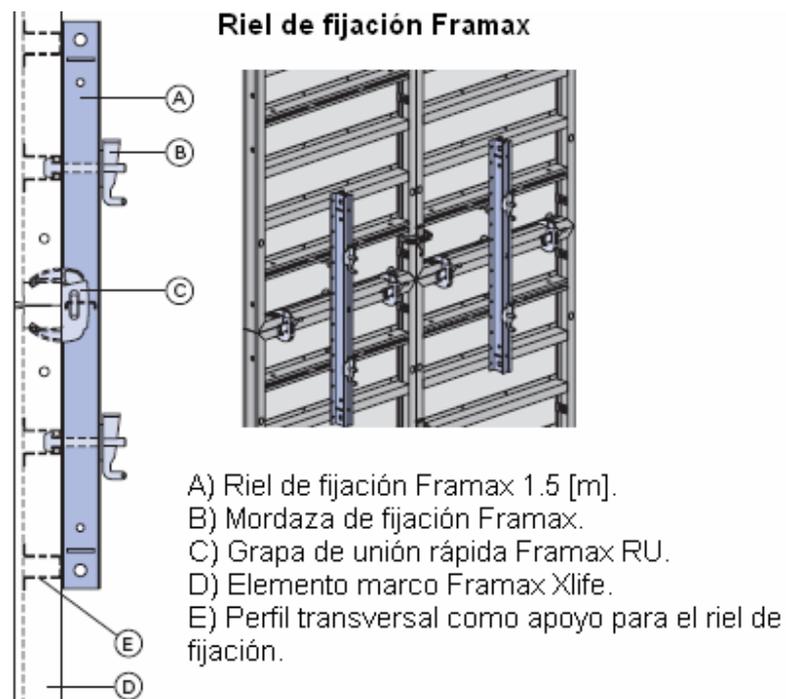
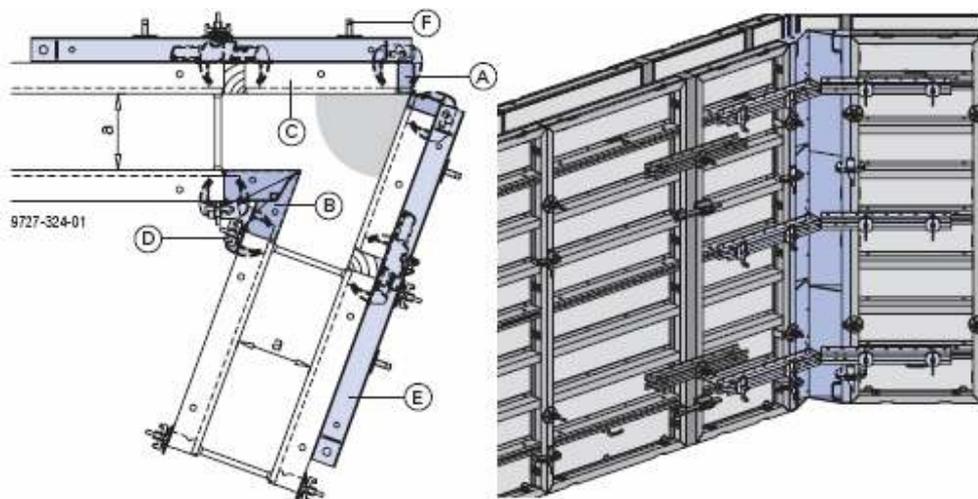


Figura 3.12: Riel de fijación Framax.

Para la adaptación del moldaje a diferentes geometrías, esquinas con bisagras de ángulos agudos y obtusos son la solución ofrecida. Además, es posible fijarlas en ángulos de 90° si es necesario.



- A) Esquina de bisagra Framax.
 B) Esquina de bisagra Framax.
 C) Elemento marco Framax Xlife 0.6 [m].
 D) Grapa de unión rápida Framax RU.
 E) Riel de fijación Framax 1.5 [m].
 F) Mordaza de fijación Framax.

Figura 3.13: Esquinas de adaptación Framax.

Para dar estabilidad y aplomado se utilizan los llamados puntales estabilizadores que van rotulados al suelo y a los paneles tal como muestra la siguiente figura:

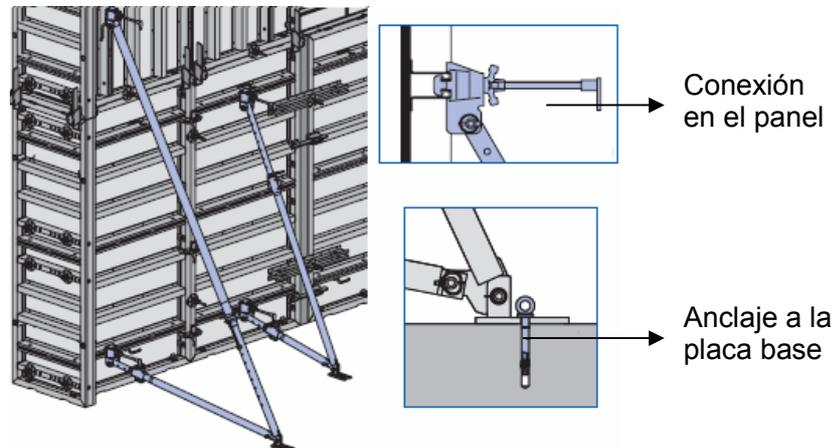


Figura 3.14: Puntales estabilizadores Framax.

Desde el punto de vista de la seguridad, para evitar las caídas en altura se usa una plataforma de hormigonado plegable de 1.25 [m] de ancho. Esto permite trabajar con mayor comodidad y seguridad. Su sobre carga de uso admisible es de 1.5 [KN/m²] (150 [Kg/m²]).

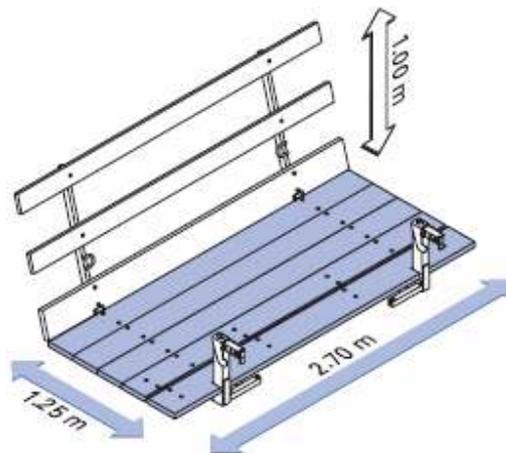


Figura 3.15: Plataforma de seguridad Framax.

Para asegurar trabajabilidad frente a condiciones de viento, los encofrados se calcularon para poder trabajar con velocidades de viento de servicio de 50 [Km/h].

El peso promedio del moldaje, tomando en cuenta todos los elementos que lo componen, es de 75 [Kg/m²].

3.1.1.3 PERI

TRIO es el nombre del moldaje desarrollado por PERI para grandes puestas. Con pocas piezas y rápido armado aseguran una mayor velocidad de montaje de los encofrados.

Los paneles, están conformados por perfiles de acero de 15 [cm] de espesor⁶, que forman un marco rígido y reticulado, el cual va pintado permitiendo una mejor y más rápida limpieza. Poseen 3 alturas y 5 anchos⁷ diferentes. El más grande es de 2.7 x 2.4 [m]. Esto permite generar una modulación que posee 2.7 [m] en la horizontal y varía en altura cada 30 [cm] en la vertical (ver figura 3.16). Por otra parte, los paneles son capaces de soportar una presión de hormigón fresco de 67.5 [KN/m²], lo que equivale a una altura de 2.7 [m] del mismo material.

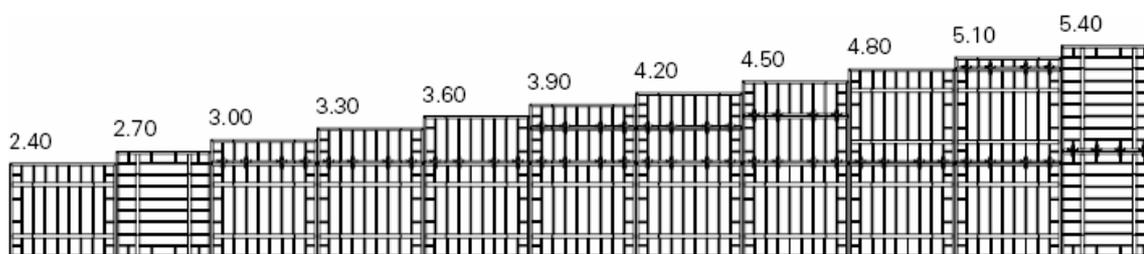


Figura 3.16: Modulación de encofrados TRIO.

Para unir los distintos tipos de paneles se cuenta con una grapa de unión que, con el uso de un martillo, asegura un rápido ajuste y alineación de los paneles. Además, permite compensaciones de más de 10 [cm] y extensiones de madera hasta 20 [cm].



Figura 3.17: Grapa de unión PERI.

⁶ Corresponde al espesor de los perfiles que conforman el marco rígido del panel. El espesor del tablero no está considerado en esta medida.

⁷ Anchos de 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 y 2.4 [m].

Las distribuciones de grapas para las uniones verticales y horizontales se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 3.6: Unión de elementos verticales TRIO	
Altura del elemento [m]	Número de grapas
0.9	2
1.2	2
2.7	2

Tabla 3.7: Unión de elementos horizontales TRIO	
Altura del elemento [m]	Número de grapas
0.3	1
0.6	1
0.9	2
1.2	2
2.4	2

Esta grapa resiste 15 [KN] a la tracción y 6 [KN] al corte.

El tablero es de madera contrachapada y va cubierto con un producto especial que evita que la humedad dañe la madera. Posee 21 [mm] de espesor lo que asegura una mayor vida útil; aproximadamente 50 usos en obra.

Para asegurar la presión admisible de 67.5 [KN/m²], se disponen 2 líneas de anclaje en la vertical y en la horizontal para paneles de hasta 2.7 [m] de altura; por lo que un panel completo usa 4 anclajes en total.

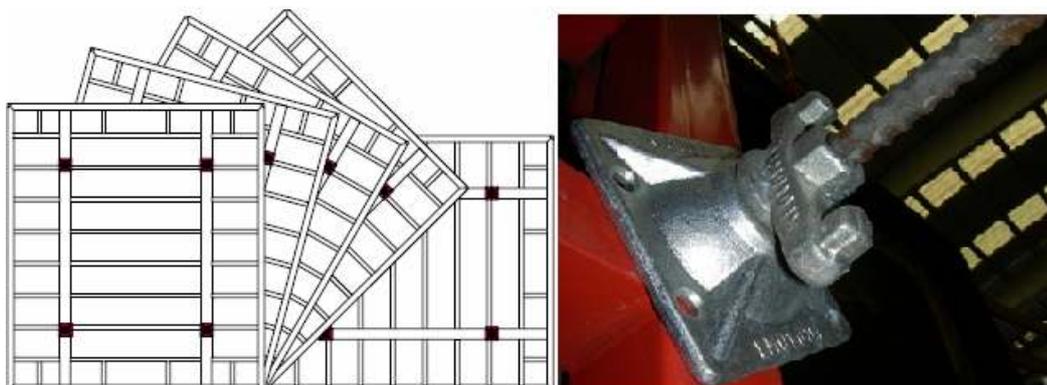


Figura 3.18: Disposición y sistema de anclaje TRIO.

Para realizar extensiones en altura y compensaciones de madera de más de 10 [cm], se utiliza una barra de compensación que actúa como rigidizador. Sus aplicaciones son: ajustes de longitud, extensiones en altura y hormigonado convencional, entre otras.

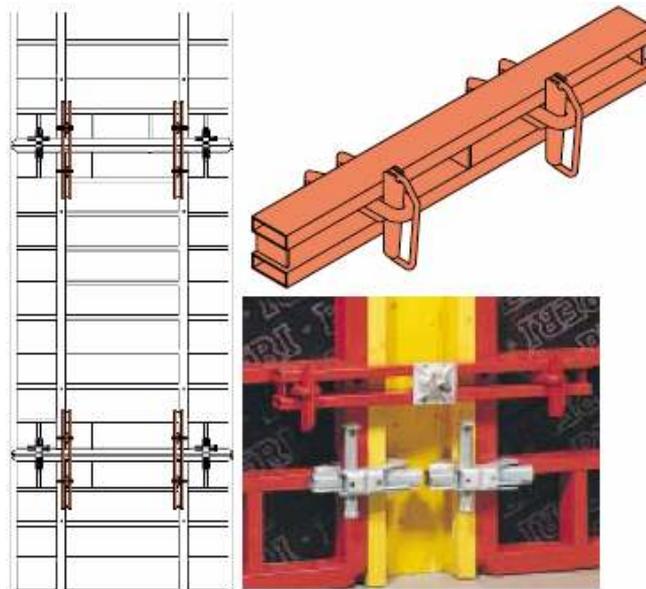


Figura 3.19: Barra rigidizadora TRIO.

Como accesorios al encofrado, existen esquinas interiores y exteriores con ángulos regulables, permitiendo así ajustar el moldaje a la disposición especificada en obra. Si es necesario, el ángulo de dichas esquinas se puede fijar en 90°.

Por otra parte, una plataforma de hormigonado de 1.25 [m] de ancho y 1.25 [m] de alto, que soporta 150 [kg/m²], permite a los obreros trabajar en condiciones de confort y seguridad apropiadas.



Figura 3.20: Plataforma de seguridad TRIO.

Al igual que los moldajes de las empresas anteriores, el TRIO está calculado para trabajar con una velocidad de viento de servicio 50 [Km/h] y máxima de 150 [Km/h].

El problema de estabilidad y correcto aplomado del encofrado está resuelto mediante el uso de puntales ajustables que van rotulados al suelo y al panel. Permiten hacer correcciones de aplomado tanto en la parte baja como en la parte alta del panel (ver figura 3.21).

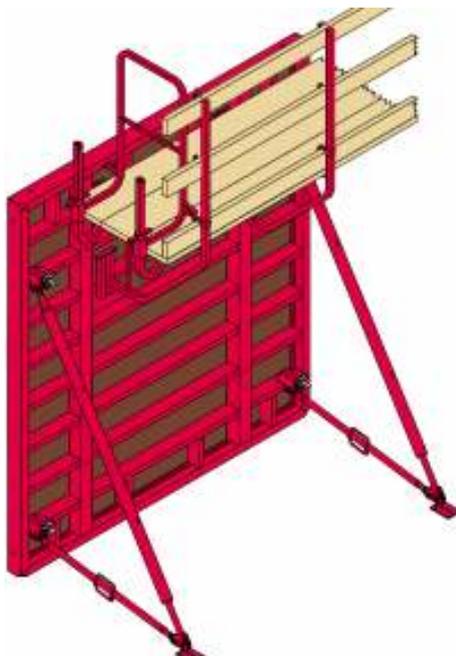


Figura 3.21: Puntales estabilizadores TRIO.

El peso promedio del encofrado, considerando las piezas descritas anteriormente, es de 70 [Kg/m²].

3.1.1.4 EFCO

A diferencia de los encofrados ofrecidos por las empresas anteriormente señaladas, el moldaje PLATE GIRDER de EFCO es metálico, es decir: tanto la estructura del panel como el tablero son de acero.

Los paneles tienen un espesor de 21.5 [cm] y poseen 6 alturas⁸ y 10 anchos⁹ diferentes, lo que junto a las variadas piezas de ajuste elimina el uso de compensaciones de madera en obra.

La conexión y alineamiento de los paneles se lleva a cabo mediante el perno rosca rápida, que es un fijador liviano y de rápido uso que se inserta en la unión de paneles, se le coloca una tuerca y se aprieta utilizando una llave hexagonal. Cuando se requiere una conexión de uso más rápida se puede utilizar en combinación el denominado pasador rápido, que puede reemplazar muchas conexiones apernadas reduciendo aún más los tiempos de ensamble. Además, un solo trabajador puede acarrear del orden de 12 pernos en su cinturón de herramientas.



Figura 3.22: Perno rosca rápida y pasador rápido EFCO.

Uno de los beneficios que trae el utilizar estos elementos de unión es que no se necesitan elementos externos que actúen como rigidizadores, ya que la capacidad de trabajo que posee el perno rosca rápida es de 84.5 [KN] a la tracción y 40 [KN] al corte.

La cara de contacto con el hormigón está compuesta por una lámina de acero de 5 [mm] de espesor soldada al marco que conforma el panel. La vida útil teórica de estos paneles es muy alta, ya que supuestamente el acero siempre estaría trabajando en su rango elástico. Sin embargo, considerando las posibles abolladuras del moldaje y que el trato que se les da en obra nunca es el supuesto en la teoría, la vida útil de este encofrado es de 150 usos aproximadamente.

⁸ Anchos de 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.1, 2.4, 2.7, 3.0, 3.6 [m].

⁹ Alturas de 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 2.4, 3.6 y 6.0 [m].

La presión admisible de vaciado de hormigón fresco que resiste este sistema varía según los anchos de los paneles de la siguiente forma:

Tabal 3.8: Presión admisible de hormigón fresco		
Ancho [m]	Presión [KN/m2]	Altura de hormigón fresco [m]
0.6 - 1.8	67	2.68
2.7	62	2.48
2.1 - 3.0	57	2.28
3.6	48	1.92

El anclaje es un elemento reutilizable que se encuentra en 2 diámetros diferentes dependiendo de la capacidad requerida. Para presiones menores se utilizan barras de anclaje entre 25 y 32 [mm], en cambio, para presiones mayores se utilizan diámetros que varían de los 32 [mm] a los 38 [mm]. Las longitudes de las barras de anclaje varían entre los 0.76 [m] y los 2.135 [m]. Para su ensamble se utiliza la llamada tuerza mariposa, que combina la tuerca y la arandela en una sola pieza. Para eliminar las fugas de hormigón se utilizan tubos plásticos, que envuelven la barra de anclaje, tapados con tapones de cierre.



Figura 3.23: Anclajes RT EFCO para encofrado Plate Girder.

El espaciamiento entre los anclajes puede llegar a ser de 1.2 [m] en la vertical y de 2.4 [m] en la horizontal, asegurando así la capacidad de resistir la presión ejercida por el hormigón fresco.

Como se mencionó en un principio, este encofrado tiene variadas piezas de ajuste para poder trabajar bajo cualquier geometría que se presente en obra. Dentro de estas destacan los ángulos o esquinas que pueden ser fijas o con bisagras, que permiten hacer incrementos desde 50 [mm] en cada lado de un esquina independientemente, tal y como se muestra en la figura 3.24.



Figura 3.24: Piezas de ajuste Plate Girder.

Al igual que los moldajes anteriores, para aplomar y dar estabilidad a los paneles, existen puntales que se fijan la losa ya hormigonada jalar o empujar el encofrado dependiendo de lo que se quiera lograr.



Figura 3.25: Puntales estabilizadores Plate Girder.

Para asegurar seguridad durante el proceso de hormigonado, estos encofrados cuentan con una plataforma de trabajo de 1.25 [m] de ancho y 1.5 [m] de alto, capaz de soportar 200 [Kg/m²]. Además, los puntales estabilizadores de la figura 3.25 permiten trabajabilidad frente a condiciones de viento de hasta 50 [km/hr].



Figura 3.26: Plataforma de seguridad Plate Girder.

Por último, el peso promedio de este sistema de moldajes tomando en cuenta todas las piezas descritas con anterioridad es de: 88 [Kg/m²].

3.1.2 Rendimientos de los moldajes tradicionales

Los rendimientos de cada uno de los tipos de encofrados tradicionales detallados en el punto 3.1.1 se entregan en la tabla # 3.9.

Tabla 3.9: Rendimientos moldajes tradicionales		
Empresa	Rendimiento [m²/HD]	
	Por obra	Por arrendadores
ULMA	10 - 15	15 - 30
DOKA	10 - 15	15 - 30
PERI	10 - 15	15 - 30
EFCO	10 - 15	15 - 30

El análisis de estos datos se realizará más adelante.

3.1.3 Problemas frecuentes en el uso de sistemas tradicionales

Los principales problemas a tener en cuenta al momento de construir con este sistema son los siguientes:

- Nidos:

Son producidos por un mal vibrado que genera una mala compactación del hormigón fresco, lo que obtiene como resultado sectores sin hormigón que son revelados al momento de descimbrar el encofrado.

Otro factor que puede provocar este problema es el escape de agua, mortero o lechada a través de juntas mal selladas. La lechada que se pierde por escape es reemplazada por cerca de 8 veces su volumen en burbujas de aire, creando así grades bolsas de aire, cambios de color y áridos expuestos en la superficie del hormigón.

Este problema es de mayor gravedad cuando el acabado de la construcción es de hormigón arquitectónico a la vista, ya que se deteriora la imagen del muro aún si son reparados.

La capacitación de los trabajadores es sin duda la mejor manera de evitar que ocurran este tipo de problemas; logrando que la colocación del hormigón sea efectuada por capas rellenando así todos los sectores del molde. Si se quiere tener una mayor seguridad de que el llenado quede correcto, se pueden utilizar plastificantes que aumentan la fluidez del material sin afectar su resistencia.

Si la densidad de la armadura es muy alta se puede recurrir a tecnologías como el hormigón autocompactante, que consiste en un hormigón muy líquido que permite cubrir cualquier sección sólo con la acción de su propio peso y sin la necesidad de otro método de compactación. El problema es que demora más de 24 horas en alcanzar su resistencia mínima de apoyo, por lo que se debe diseñar con una baja razón agua/cemento (A/C), con cementos de alta resistencia o con aceleradores de fraguado.

- Poco recubrimiento.

Las denominadas calugas son las encargadas de asegurar un recubrimiento mínimo en los muros de hormigón. Si estos separadores no están colocados uniformemente en la

armadura del muro, al momento de descimbrar, estas quedan a la vista o se caen pedazos de hormigón que hacen que queden expuestas.

- Poros en el hormigón

Son huecos pequeños que quedan en la superficie del hormigón producto de burbujas de aire que quedan atrapadas durante su fraguado. Esto empeora la superficie vista y aumenta el trabajo en las terminaciones. Para evitar este problema hay que asegurar un correcto vibrado para obtener una buena compactación. Si es necesario, se puede utilizar un vibrador con mayor frecuencia.

Un error típico es usar capas de desmoldante muy gruesas en la cara de contacto de los moldes, ya que las burbujas presentes en este producto se adhieren a la superficie del hormigón, generando el mismo problema explicado anteriormente. Luego, para lograr una superficie sin poros, además de ser cuidadoso con el vibrado, el desmoldante se debe aplicar con un aspersor en capas finas menores a 0.05 [mm].

- Fisuras en el hormigón:

Las fisuras en el hormigón pueden ser producidas por variaciones de su volumen ya sea por una retracción hidráulica producto de la humedad o por retracción térmica producto de la temperatura. Para prevenirlas se debe asegurar un buen curado del hormigón manteniéndolo mojado con agua o cubierto con membranas de curado durante todo su proceso.

Fisuras menores a 0.2 [mm] no son dañinas para la estructura; pero si son de gran tamaño, sin llegar a producir un riesgo estructural, se deben tratar porque pueden ser un conducto a agentes dañinos para las armaduras, afectando la durabilidad, integridad y apariencia de la estructura.

- Desplomes:

La inclinación del moldaje hacia un lado genera desplomes de los muros después de hormigonados. Este problema puede generar un alto costo a la obra considerando que hay veces que se debe rehacer el muro completo. Para que no ocurra esto, se debe chequear la verticalidad de los encofrados (con una manguera por ejemplo) y verificar durante la construcción con un plomo cada uno de los moldajes utilizados.

3.2 Moldajes trepantes y auto trepantes

Los encofrados trepantes son la derivación de los tradicionales. Se usa un mismo panel que se afirma al muro endurecido por medio de pernos de anclaje que quedan insertos en el hormigón.

A pesar de que los moldajes trepantes marcaron un hito en la forma de trabajar con los moldes, disminuyendo los tiempos de montaje y descimbre, el uso de la grúa seguía siendo una limitante. Es por esto que se tecnificó incorporando gatos hidráulicos que hacen subir el moldaje independientemente de la grúa a través de rieles que se fijan al hormigón ya endurecido. A este sistema se le denominó auto trepante.

El sistema de paneles que utilizan los moldajes trepantes y auto trepantes de las distintas empresas en cuestión son los mismos que se detallaron en el punto 3.1, por lo que se detallarán sólo las piezas adicionales que hacen posible la trepa de estos mismos a través de los muros. Como la superficie de contacto con el hormigón es la misma tanto para los sistemas tradicionales como para los trepantes, la calidad del hormigón visto será prácticamente la misma, por lo que la calidad final de la obra no es un aspecto a considerar cuando estos sean comparados.

Además, debido a la similitud de los sistemas, se detallarán en forma conjunta, agregando al auto trepante los gatos hidráulicos y los distintos componentes adicionales que poseen.

3.2.1 Tecnología de los encofrados trepantes y auto trepantes

Los encofrados trepantes están compuestos por moldes de altura variable según las exigencias del edificio a construir. Estos van anclados a los muros ya hormigonados mediante pernos de anclaje que van siendo dejados en la etapa anterior. El ciclo del moldaje es de 4 días aproximadamente, los que se distribuyen de la siguiente manera:

- Día 1: Se colocan las enfierraduras.
- Día 2: Se prepara y se coloca el moldaje en el muro ya enfierrado.
- Día 3: Se hormigona el muro.
- Día 4: Se espera que el hormigón alcance la mínima resistencia para poder empezar nuevamente el ciclo.

Si se quiere minimizar el tiempo de este ciclo, se puede construir la armadura en terreno, subirla ensamblada y colocarla con la grúa a medida que se va subiendo el molde trepante. Como en todo proceso constructivo inicialmente los tiempos pueden ser mayores, sin embargo, al ser un proceso repetitivo, la eficiencia va aumentando debido al aprendizaje que los operarios van ganando entre cada puesta.

Por otra parte, el encofrado auto trepante, desarrollado para la construcción de estructuras de gran altura sin la necesidad del uso de una grúa, consiste básicamente en un sistema trepante convencional, que a través de gatos hidráulicos suben el encofrado al siguiente nivel mediante rieles que van apoyados al muro ya hormigonado.

Con esta breve explicación de cómo funciona el molde auto trepante es fácil darse cuenta que su gran ventaja es la independencia que tienen de la grúa, ya que esta es usada para realizar movimientos en las partidas de hormigón, fierros y moldajes. En consecuencia, al liberarla del traslado de encofrados, se necesitan menos recursos, lo que a la larga determina una disminución de los costos de la obra.

El ciclo de hormigonado en este caso es de sólo 3 días, distribuidos de la siguiente forma:

- Día 1: Se coloca la armadura y se sube el encofrado con los gatos.
- Día 2: Se hormigona el muro.
- Día 3: Se espera que el hormigón alcance su resistencia mínima de 150 [Kg/cm²] para poder apoyar el molde en la siguiente posición.

La resistencia especificada es para que el hormigón pueda resistir las cargas que ejercen las armaduras sobre el muro. Si no se respeta esta disposición, se pueden generar fisuras en el hormigón lo que disminuye su resistencia final y por ende la resistencia de la estructura completa.

Para que este equipo sea rentable se requieren construcciones sobre los 120 [m] de altura, es por esto que en nuestro país no fueron considerados hasta que se comenzaron a estudiar los proyectos Titanium y Costanera Center, que tendrán alturas aproximadas de 200 [m] y 300 [m] respectivamente. Sin embargo, en países desarrollados como EEUU se utiliza esta tecnología para edificios de menor altura; la razón es que la mano de obra es considerablemente más cara que la de Chile.

3.2.2 Elementos que conforman los moldajes trepantes y auto trepantes

Con el objetivo de comprender mejor los elementos que conforman estos sistemas, se dará una explicación general de los elementos que los componen. Como ambas tecnologías son parecidas, se detallarán en manera conjunta agregando al molde auto trepante los gatos hidráulicos y los distintos componentes adicionales que incorpora.

a) Moldajes

Detallados en el punto 3.1

b) Elementos de conexión

Como es sabido, en la construcción las pérdidas que se tienen por concepto de pérdida de piezas son muy altas, es por ello que estos sistemas tienen elementos de conexión que se han logrado simplificar aumentando su tamaño; evitando así pérdidas por traslado desde un frente de trabajo a otro.

El sistema de anclaje del molde y de las consolas al muro incorpora piezas que se pueden recuperar a medida que va trepando el sistema, entre las que se encuentran (por cada anclaje): un perno y un cono de anclaje. Por otra parte, existen piezas que quedan embebidas en el hormigón como por ejemplo: una barra de anclaje con hilo a la cual se atornilla el cono por un lado y por el otro una contraplaca o pie de anclaje. Tanto la barra como la contraplaca, al quedar insertas en el hormigón, permiten fijar el sistema al muro.

c) Cilindros y bombas hidráulicas.

Estos están presentes sólo en los moldajes auto trepantes. La elevación de las consolas, que tienen incorporadas los encofrados y las plataformas de trabajo, se logra a través de cilindros hidráulicos distribuidos uniformemente, los que están conectados a un motor hidráulico que distribuye aceite mediante un circuito de mangueras para que sea posible elevar el sistema de encofrado.

La capacidad de izaje de los cilindros es de aproximadamente 10 [ton] por unidad, la que debe ser mayor a la carga vertical que actúa sobre cada uno de ellos. Este es un punto a considerar en el diseño cuando se determina la separación entre ellos.

Dentro de cada cilindro existe una cámara donde se introduce el aceite a presión por medio de mangueras. Esto permite subir un pistón que eleva toda la consola. El cilindro posee en su extremo superior e inferior un cabezal de trepado que se afirma al riel. Se libera el superior al momento de subir la consola de trepado. Luego, se fija el cabezal superior y se libera el inferior para así permitir que el pistón se recupere producto del efecto vacío que se genera al salir el aceite de la cámara.

La bomba hidráulica es el conjunto formado por un motor y un estanque de aceite, el cual posee un manómetro para medir la presión necesaria para distribuir el aceite a presión, mediante mangueras, a los cilindros hidráulicos. Es capaz de abastecer entre 15 y 30 mecanismos de trepado.

La forma de operar el sistema hidráulico completo, bomba y cilindros, es por medio de un control remoto. Con este se puede activar la extensión o retracción de los cilindros con los que se desea trabajar, así como encender o apagar la bomba hidráulica.

Como el sistema depende de estos elementos para funcionar, se debe realizar una mantención de los mismos. Particularmente: verificar que las conexiones a la fuente de poder estén operativas; verificar que los cables eléctricos estén en buenas condiciones; chequear que el suministro eléctrico sea el adecuado al número de bombas que se van a mover en conjunto; verificar un correcto funcionamiento de bombas y cilindros hidráulicos; chequear el nivel de aceite del sistema hidráulico en general y verificar que el circuito hidráulico se encuentre en buenas condiciones, particularmente las mangueras que transportan el aceite a los cilindros.

d) Rieles

A diferencia del sistema trepante, en que el encofrado y las plataformas se sostienen directamente en los elementos de conexión puestos en el muro; el sistema auto trepante cuenta con un riel en el que se afirman estos mismos elementos. El riel se apoya sobre bases, que se denominarán cajetines, ancladas al muro de hormigón utilizando los mismos elementos de conexión que los moldajes trepantes. Además, es el medio por el cual los cilindros hidráulicos van trepando.

Una vez hormigonado el muro, el molde es desplazado horizontalmente en la plataforma de trabajo perdiendo el contacto con el muro. Luego, el cilindro se encarga de subir el riel que

se fija al cajetín puesto en el muro recién desencofrado con los pernos de anclaje insertos en él, para después elevar la estructura completa.

f) Plataformas de trabajo

Tanto el sistema trepante como el auto trepante cuentan con 3 plataformas básicas. La superior es por donde se hormigona; la intermedia o de trabajo es donde se coloca la enfierradura, el moldaje y los pernos de anclaje; la tercera es la de seguimiento, donde se recuperan cono, pernos y se rellenan los orificios dejados por los elementos de anclaje. En la plataforma de seguimiento también se pueden realizar retoques al hormigón de ser necesario.

En el caso de los moldes auto trepantes, existe una cuarta plataforma, de las mismas características que la de seguimiento, llamada plataforma de operación. En esta va instalada el sistema hidráulico.

Cada plataforma está diseñada para soportar cargas según su función (ver tabla 3.11).

Tabla 3.10: Capacidad de carga de las plataformas	
Plataforma	Capacidad [Kg/m²]
Hormigonado	150
Trabajo	500
Seguimiento y operación	75

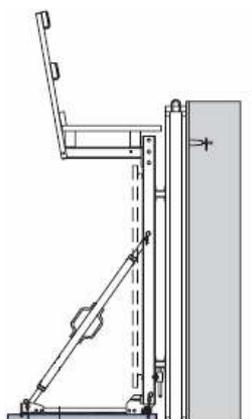
La plataforma de trabajo es la principal y la más exigida, ya que sostiene el moldaje, los puntales que lo afirman y el o los operarios que trabajan en ella.

Además, las plataformas están diseñadas para cumplir con los requerimientos de seguridad, tal que los trabajadores no se entorpezcan unos con otros y se asegure, por medio de barandas, una superficie de trabajo sin riesgo para realizar trabajos en altura. Es por ello que la plataforma intermedia o de trabajo tiene un ancho mayor a 2 [m] por el perímetro de toda la estructura que se está construyendo. Las otras 2 poseen dimensiones menores, con un ancho aproximado de 1.5 [m].

3.2.3 Montaje y desmontaje de moldajes trepantes y auto trepantes

Para entender mejor su funcionamiento, en este punto se explicará la secuencia que se emplea para la construcción de muros verticales utilizando moldajes trepantes y auto trepantes.

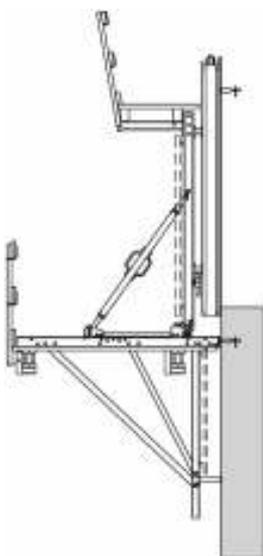
3.2.3.1 Encofrado trepante



Primera etapa:

Se coloca la armadura y los pernos de anclaje con sus piezas correspondientes. Luego, se dispone el molde y la unidad de desplazamiento sobre los cimientos de la obra tal como muestra la figura 3.27. Se nivelan y comienza la primera fase de hormigonado.

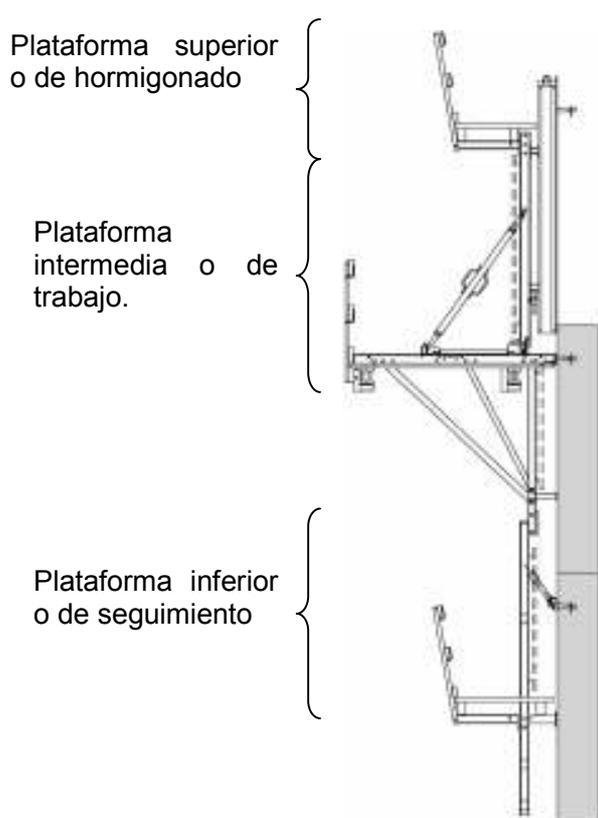
Figura 3.27: Primera etapa del moldaje trepante.



Segunda etapa:

Se descimbra. Luego, una vez que el hormigón alcanza una resistencia mínima de $150 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$, se suspende la plataforma de la etapa anterior mediante la grúa y se agrega la plataforma intermedia. Se fija la consola de trepado, se coloca la armadura, los pernos de anclaje y posteriormente se hormigona.

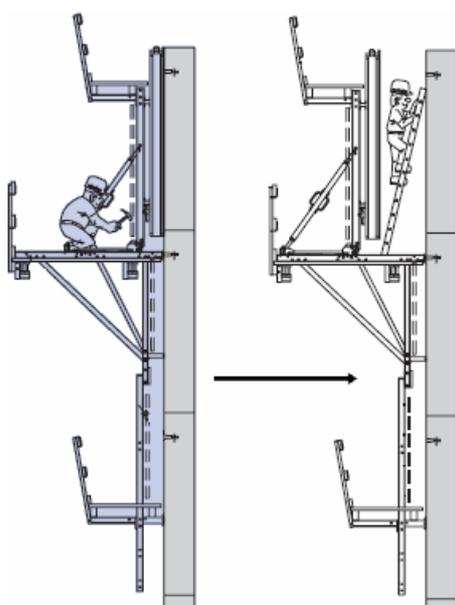
Figura 3.28: Segunda etapa del moldaje trepante.



Tercera etapa:

Se descimbra mediante un movimiento horizontal de los encofrados por medio de rieles con cremalleras que se tienen en la base de la plataforma intermedia. Cuando el hormigón alcanza una resistencia de $150 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$, se suspende el sistema de la etapa 2 y se completa la unidad agregando la plataforma inferior. Se fijan las consolas de trepado, se coloca la armadura, los pernos de anclaje y posteriormente se hormigona. En esta etapa se completa el sistema trepante a utilizar durante toda la partida de obra gruesa.

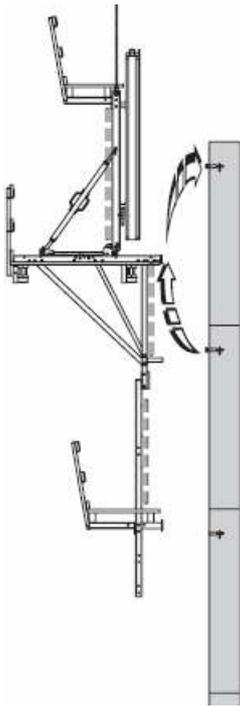
Figura 3.29: Tercera etapa del moldaje trepante.



Cuarta etapa:

- Se sueltan y se desmontan los anclajes del encofrado.
- Se desplaza hacia atrás la unidad de desplazamiento con el elemento de encofrado y se fija.
- Se preparan los siguientes puntos de suspensión colocando los anclajes con sus piezas correspondientes y se retiran las piezas de anclaje recuperables de la plataforma inferior.

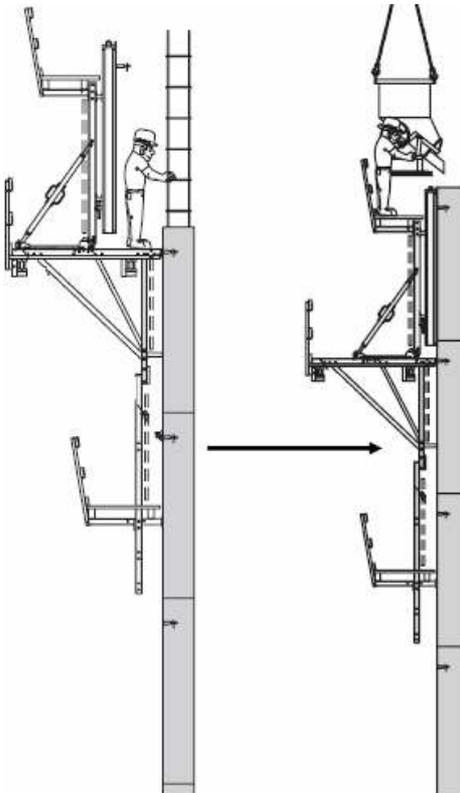
Figura 3.30: Cuarta etapa del moldaje trepante.



Quinta etapa:

- Se fija la unidad completa en la posición más estable.
- Se engancha el cable de la grúa en los perfiles verticales a través de un gancho de izado.
- Se bajan los operarios del sistema de trepa.
- Se eleva con la grúa la unidad de encofrados y se suspende en los puntos anteriormente preparados.
- Se fijan las consolas para dar estabilidad a la estructura.

Figura 3.31: Quinta etapa del moldaje trepante.



Sexta etapa:

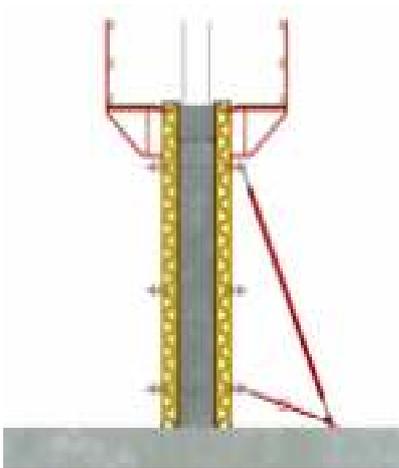
- Se coloca la armadura.
- Se limpia el encofrado y se coloca desmoldante.
- Se desplaza el elemento de encofrado hasta la parte de hormigón existente, se fija y presiona contra el hormigón.
- Se ajusta el encofrado con el puntal de ajuste.
- Se colocan los anclajes de encofrado.
- Se procede a hormigonar.

Figura 3.32: Sexta etapa del moldaje trepante.

Es importante señalar que para cada movimiento de la unidad completa y para cada colocación de armadura el hormigón debe tener la resistencia mínima requerida de 150 [Kg/cm²].

Por otra parte, la secuencia que sigue el sistema trepante una vez que se encuentra armado en su totalidad es desde la cuarta a la sexta etapa. Una vez finalizados los muros a construir, la unidad completa es bajada mediante la grúa.

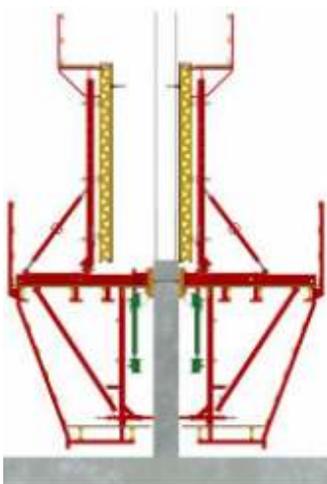
3.2.3.2 Encofrado auto trepante



Primera etapa:

- Se coloca sobre los cimientos de la obra el sistema de moldaje correspondiente.
- Se fijan los anclajes de las consolas de trepado a los paneles del encofrado.
- Se coloca la armadura y se instalan barras, tuercas y pernos de anclaje.
- El sistema está listo para hormigonar.

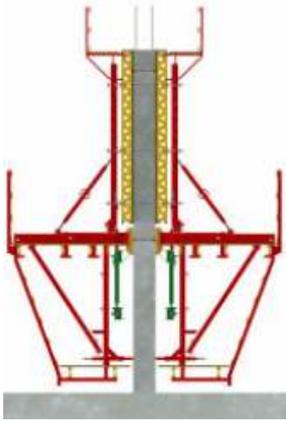
Figura 3.33: Primera etapa del moldaje auto trepante.



Segunda etapa:

- Se fijan las unidades pre-armadas en las consolas de trepado.
- Se instalan los sistemas hidráulicos
- Se une el encofrado a los carros de retranqueo que funcionan con rieles y cremalleras.
- Se completa la plataforma de trabajo y operación.

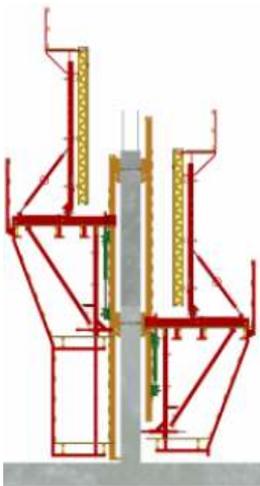
Figura 3.34: Segunda etapa del moldaje auto trepante.



Tercera etapa:

- Se hormigona la segunda etapa.
- Se retiran barras y tuercas de los anclajes del encofrado.
- Se retrae el encofrado.
- Se suben las consolas unidas al sistema mediante una grúa.

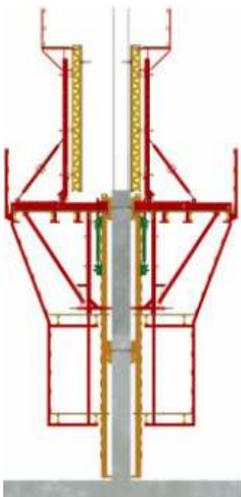
Figura 3.35: Tercera etapa del moldaje auto trepante.



Cuarta etapa:

- Se instala la plataforma de trepado inferior o plataforma de seguimiento.
- Se instalan los rieles utilizando la grúa.
- El sistema está listo para comenzar a auto trepar.

Figura 3.36: Cuarta etapa del moldaje auto trepante.



Quinta etapa:

- Se activan los sistemas hidráulicos.
- La auto trepa asciende hidráulicamente.
- Se realiza el montaje de la otra plataforma de seguimiento.

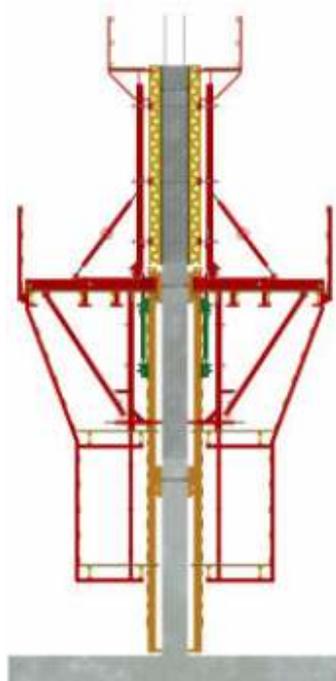
Figura 3.37: Quinta etapa del moldaje auto trepante.

Plataforma de
hormigonado

Plataforma de
trabajo

Plataforma de
operación

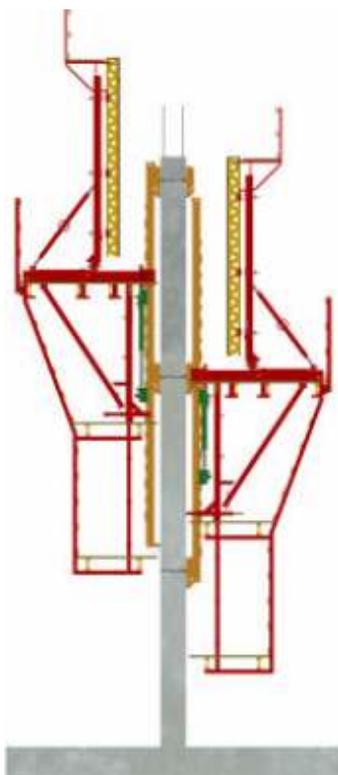
Plataforma de
seguimiento



Sexta etapa:

- Se juntan los paneles.
- Se hormigona la tercera etapa.
- Se termina el ensamble del sistema auto trepa.
- La auto trepa asciende hidráulicamente.

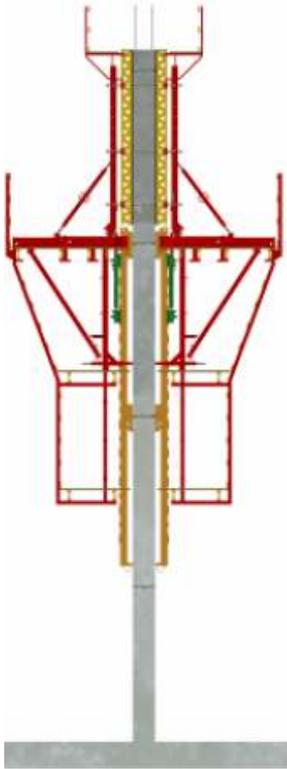
Figura 3.38: Sexta etapa del moldaje auto trepante.



Séptima etapa:

- Se retrae el encofrado.
- Se fijan las consolas de trepado.
- Se trepan los rieles hidráulicamente.
- Se trepa la unidad completa de plataformas y encofrado al siguiente nivel hidráulicamente.

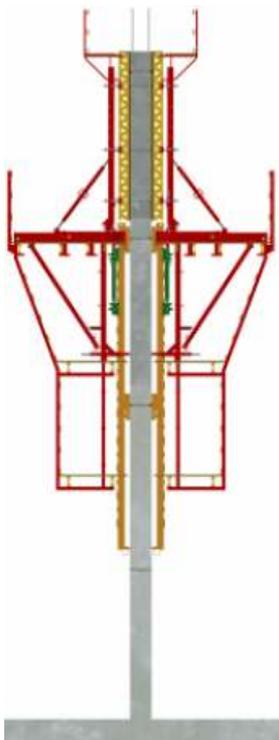
Figura 3.39: Séptima etapa del moldaje auto trepante.



Octava etapa:

- Se juntan nuevamente los paneles.
- Se colocan los anclajes de los encofrados.
- Se hormigona la cuarta etapa.
- Se repiten las etapas 7 y 8 sucesivamente hasta terminar con los muros de la obra gruesa.

Figura 3.40: Octava etapa del moldaje auto trepante.



Etapa final:

- Luego de haber hormigonado la última etapa se comienza el desmontaje.
- Primero se retrae el encofrado, se desmonta de los carros y se retira mediante el uso de una grúa.
- Se trepan los rieles y se retiran usando la grúa.
- A continuación, se desmontan las plataformas de trepado partiendo por las de seguimiento y luego por las de trabajo y operación.
- Finalmente se retiras las consolas de trepado.

Figura 3.41: Etapa final del moldaje auto trepante.

Al igual que para los sistemas de trepado convencionales, en los auto trepantes se debe esperar que el hormigón alcance la resistencia de 150 [kg/cm²].

Por otra parte, en cada retracción de los encofrados, los tableros de estos deben ser limpiados y se les debe colocar desmoldante, mismo procedimiento que se aplica a los moldajes tradicionales.

3.2.4 Tipos de encofrados trepantes y auto trepantes

En esta parte del capítulo se describirán los moldajes auto trepantes que ofrecen las empresas con las que se está trabajando. Particularmente las características de sus sistemas de elevación, anclajes y sistema hidráulico. No se verán en detalle los encofrados trepantes ofrecidos ya que, como se dijo anteriormente, usan el mismo encofrado tradicional descrito en el punto 3.1 y las consolas de trabajo son análogas a las del molde auto trepante. La única diferencia que hay que tener en cuenta es en el sistema de elevación, porque en vez del grupo hidráulico que hace trepar el encofrado por los rieles, se utiliza una grúa para la elevación del sistema. Además, el sistema trepante convencional no posee plataforma de operación que es la que soporta el sistema hidráulico.

3.2.4.1 ULMA

a) Sistema de elevación

La elevación de la estructura se realiza mediante la sucesiva elevación del mástil y encofrado a lo largo del muro a ejecutar.

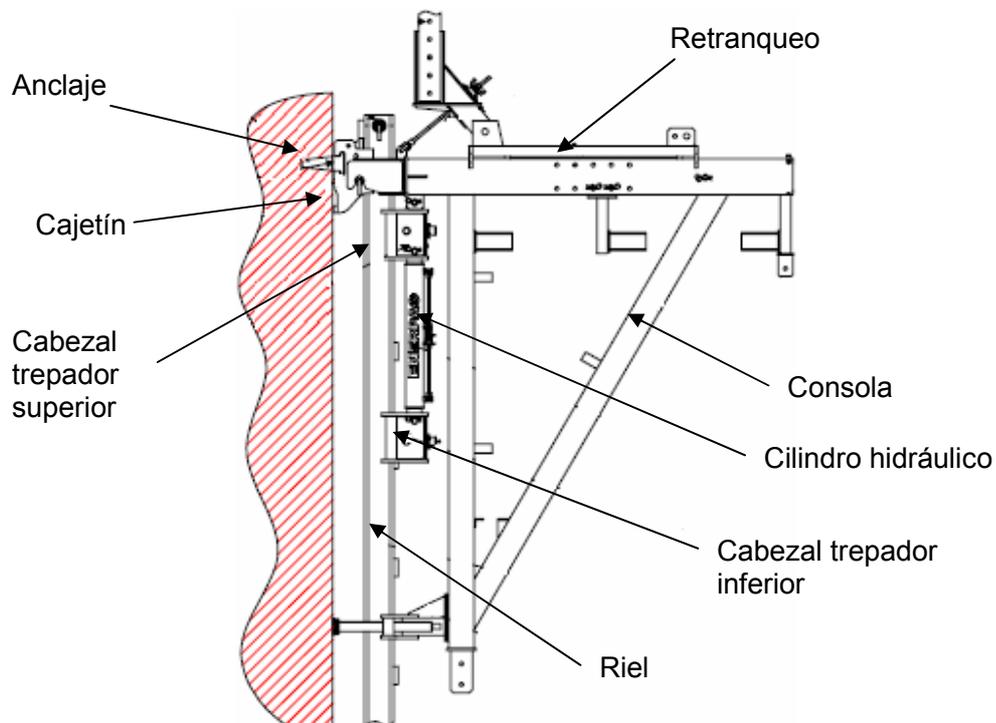


Figura 3.42: Consola de elevación ULMA.

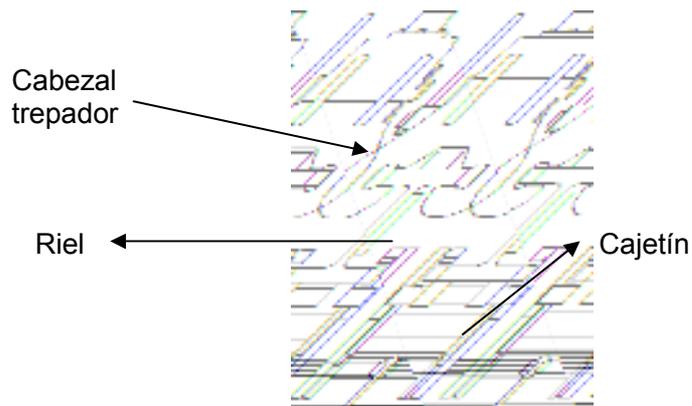


Figura 3.43: Acercamiento al cabezal trepador ULMA.

En lo sucesivo, el retranqueo se refiere al sistema compuesto por rieles y cremalleras utilizado para jalar o empujar el encofrado en la consola trepante.

El cabezal trepador superior está guiado en el riel y conectado a la consola, mientras que el inferior está guiado en el riel y conectado al cabezal trepador superior mediante el cilindro hidráulico. El riel a su vez va inserto en el cajetín tal como se aprecia en la figura 3.43.

A continuación se presentan algunas fotografías en terreno del sistema de elevación.



Figura 3.44: Cilindro hidráulico, cajetín con riel inserto y cabezal superior ULMA.

Los cabezales trepadores son los encargados de elevar la estructura y los rieles. Para esto, dependiendo de la posición de la palanca del cabezal, su posición de trabajo.

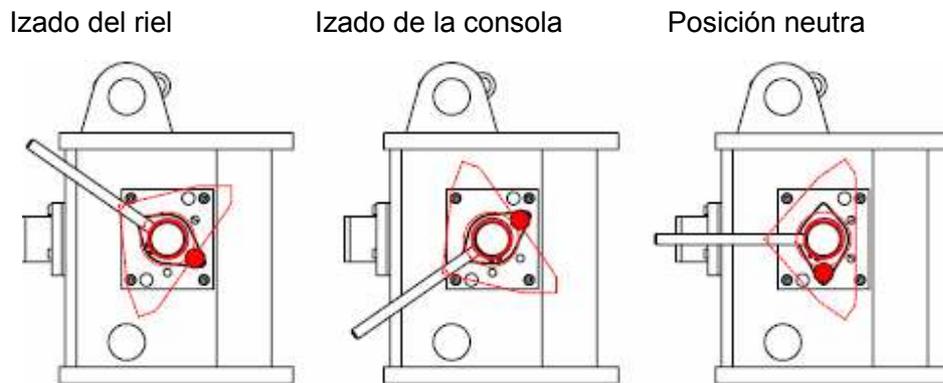


Figura 3.45: Posiciones de trabajo del cabezal trepador ULMA.

La elevación del riel se realiza de la siguiente manera:

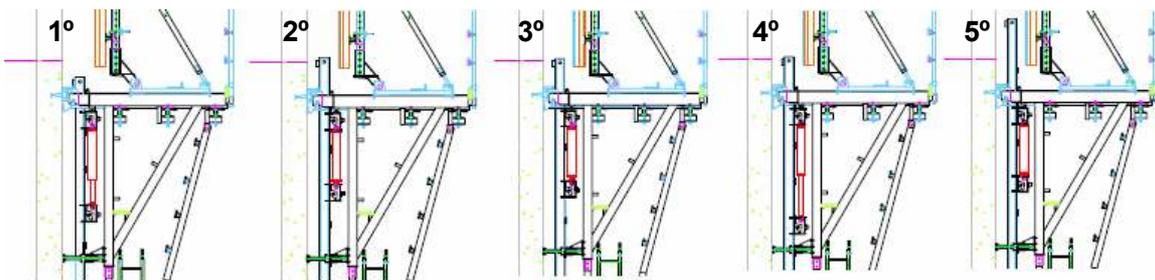


Figura 3.46: Elevación del riel ULMA.

- 1º: Inicio del izado. El cabezal trepador inferior empuja el riel.
- 2º: Retracción total del cilindro.
- 3º: Inicio de la extensión del cilindro. El mástil permanece sobre el cabezal trepador superior.
- 4º: Extensión total del cilindro. Cuando empieza la retracción de este, el cabezal trepador inferior empuja el riel.
- 5º: Retracción total del cilindro. El riel está izado 60 [cm].

La elevación de la consola se realiza de la siguiente manera:

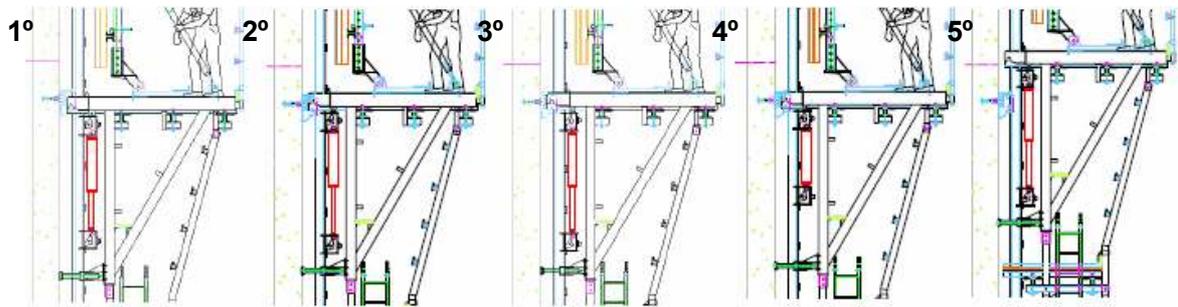


Figura 3. 47: Elevación de la consola ULMA.

1º: inicio de la elevación. La estructura reposa sobre el cabezal trepador inferior.

2º: Extensión total del cilindro.

3º: Inicio de la retracción del cilindro. La estructura reposa sobre el cabezal trepador superior.

4º: Retracción total del cilindro. Cuando empieza la extensión de este, la estructura reposa sobre el cabezal trepador inferior.

5º: Extensión total del cilindro. La estructura se eleva 60 [cm].

b) Sistema de anclajes

ULMA ofrece 2 tipos de anclajes diferentes.

- Anclaje doble cono con pie embebido en el hormigón

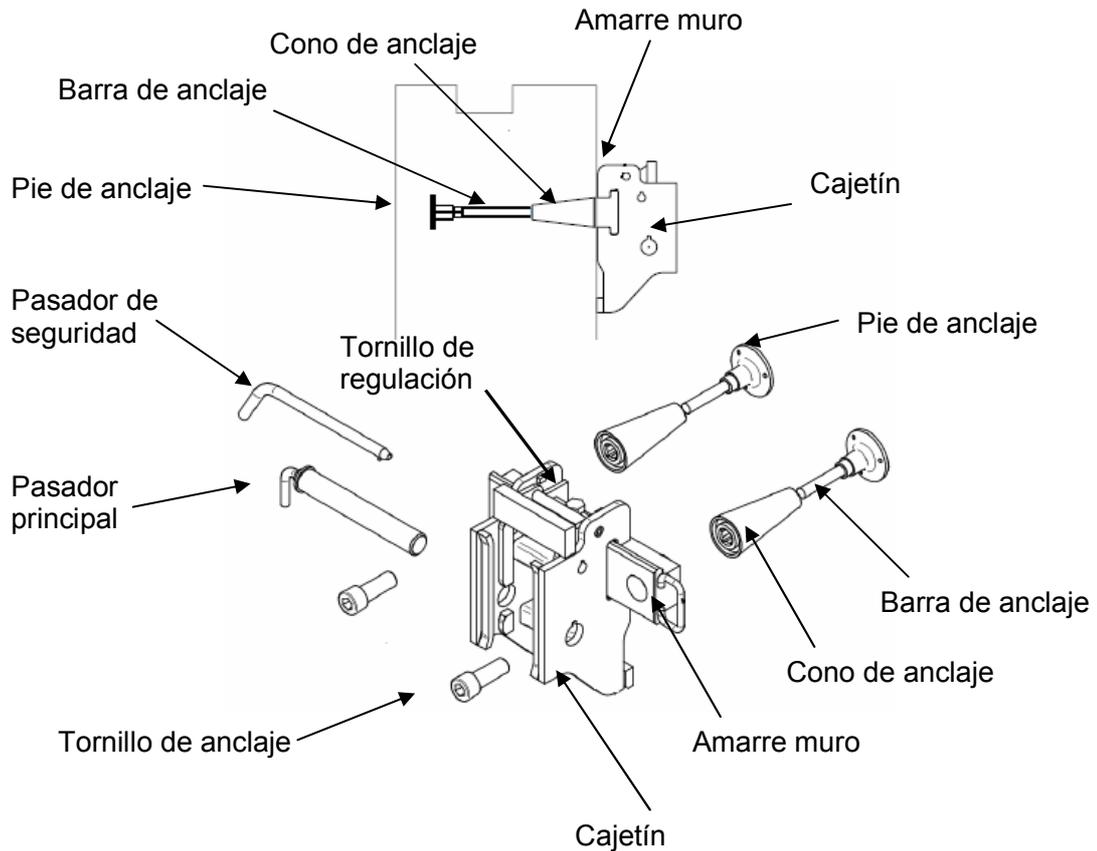


Figura 3.48: Anclaje doble ULMA.

El amarre muro se fija a los 2 conos embebidos en el hormigón mediante tornillos de anclaje. El cajetín doble desliza lateralmente sobre el amarre muro y se fija mediante el tornillo de regulación.

Las piezas recuperables en la plataforma inferior son los conos de anclaje y el cajetín, quedando embebido en el hormigón el pie y la barra de anclaje.

El pasador principal asegura que la consola quede fija al cajetín, mediante barras de apoyo, frente a una posible falla del sistema hidráulico. A modo de seguridad, existe un pasador adicional o de seguridad frente a una eventual falla del sistema.

La colocación de los conos se realiza mediante una pieza llamada posicionador doble cono, que va unida al tablero fenólico. Los conos se aprietan contra este mediante tornillos y tuercas.

Algunas imágenes del anclaje doble se presentan a continuación.

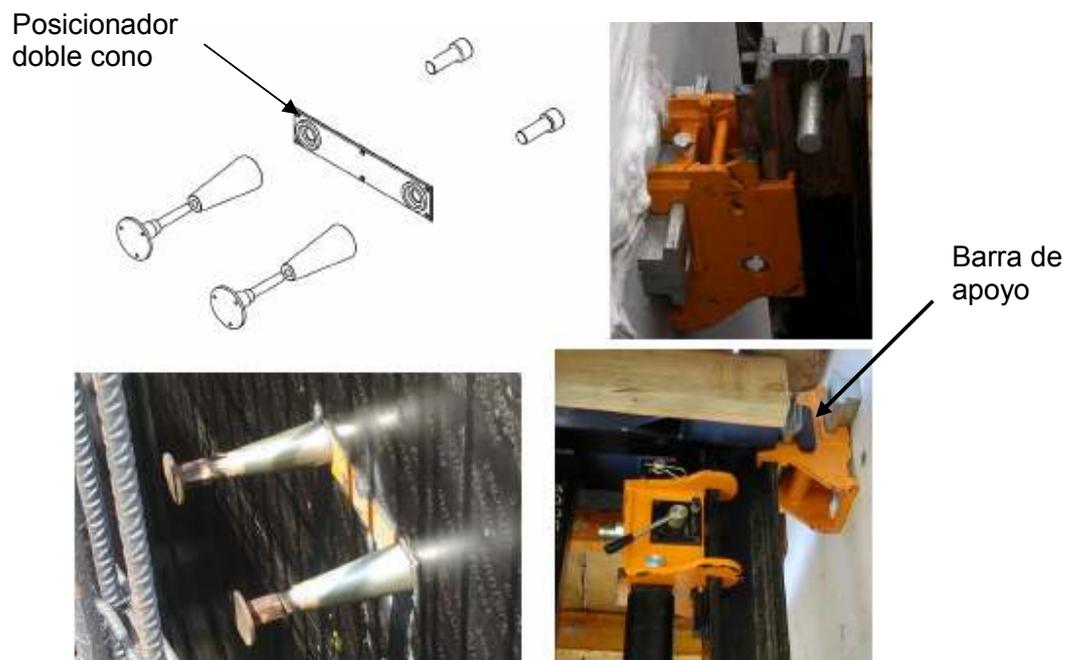


Figura 3.49: Imágenes del anclaje doble ULMA.

- Anclaje doble cono pasante

La diferencia con el sistema anteriormente explicado es que en este caso no queda material embebido en el hormigón. Sin embargo, se hacen necesarias más piezas para poder realizar el anclaje. Es un caso similar a lo que ocurre con el anclaje del moldaje tradicional, ya que se necesita de un tubo distanciador, un cono, placas y tuercas para poder hacer la fijación por ambos la dos del muro.

La utilización del amarre de muro y del cajetín es idéntica al sistema anterior.

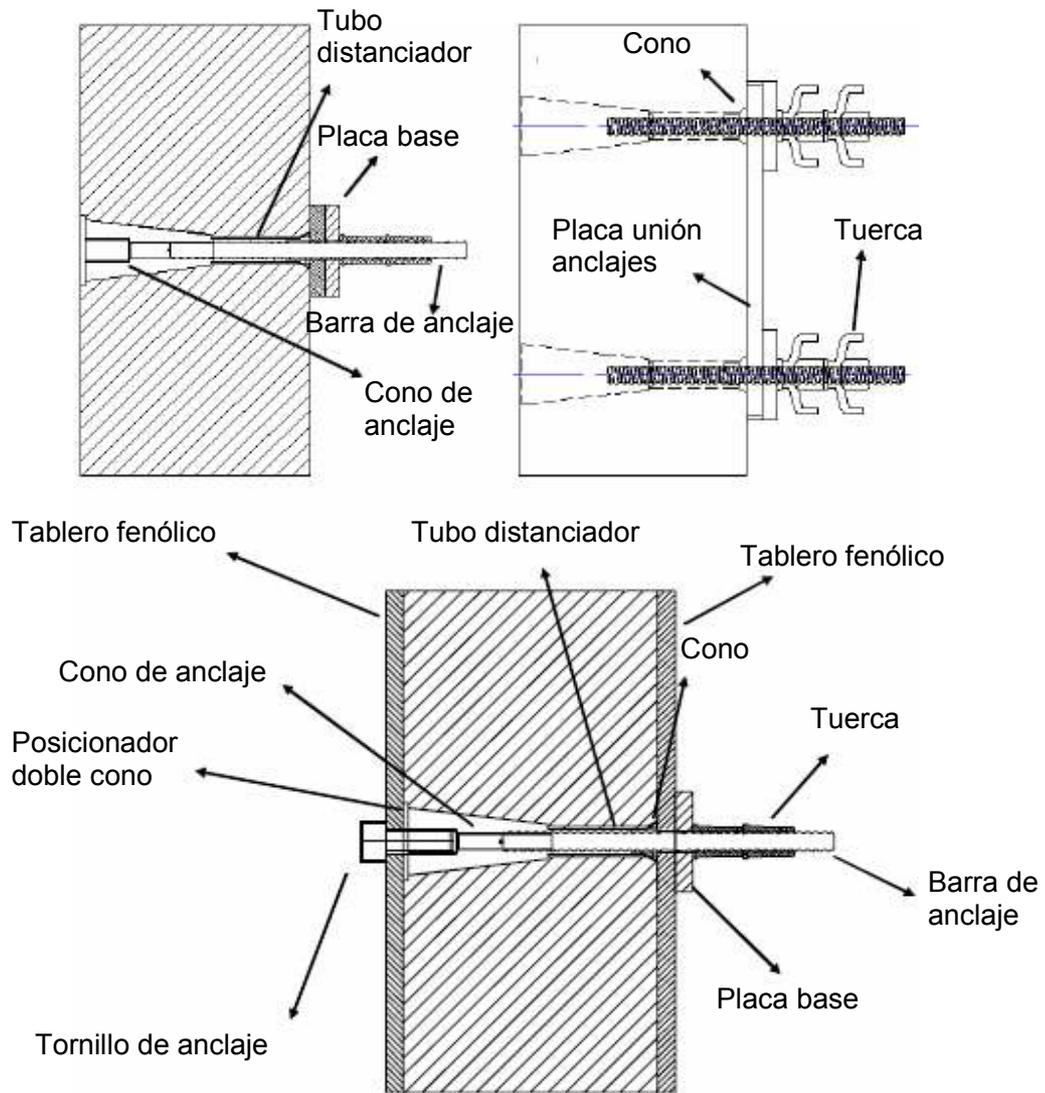


Figura 3.50: Anclaje cono pasante ULMA.

Notar que, a diferencia de un anclaje tradicional, en este caso se utilizan 2 tuercas por barra de anclaje. Esto es para evitar el aflojamiento debido a viento, vibrado o trabajo.

c) Sistema hidráulico

Las características del sistema hidráulico son las siguientes:

- Carga máxima de trabajo del cilindro: 100 [kN].
- Recorrido útil del cilindro: 650 [mm].
- Presión de trabajo: 300 [bar].
- Velocidad máxima de extensión del cilindro: 0.5 [m/min].

Además las velocidades de viento de operación del sistema son:

- Velocidad máxima admisible para realizar operaciones de movimiento del equipo auto trepante: 70 [km/hr].
- Velocidad máxima admisible para trabajar en el equipo auto trepante: 100 [km/hr].

3.2.4.2 DOKA

a) Sistema de elevación

Los mecanismos de los sistemas de trepado son dispositivos de elevación con accionamiento hidromecánico, que en conexión con las unidades de trepas sirven para elevar los encofrados. El sistema de elevación consiste básicamente en los elementos que se muestran en la figura 3.51.

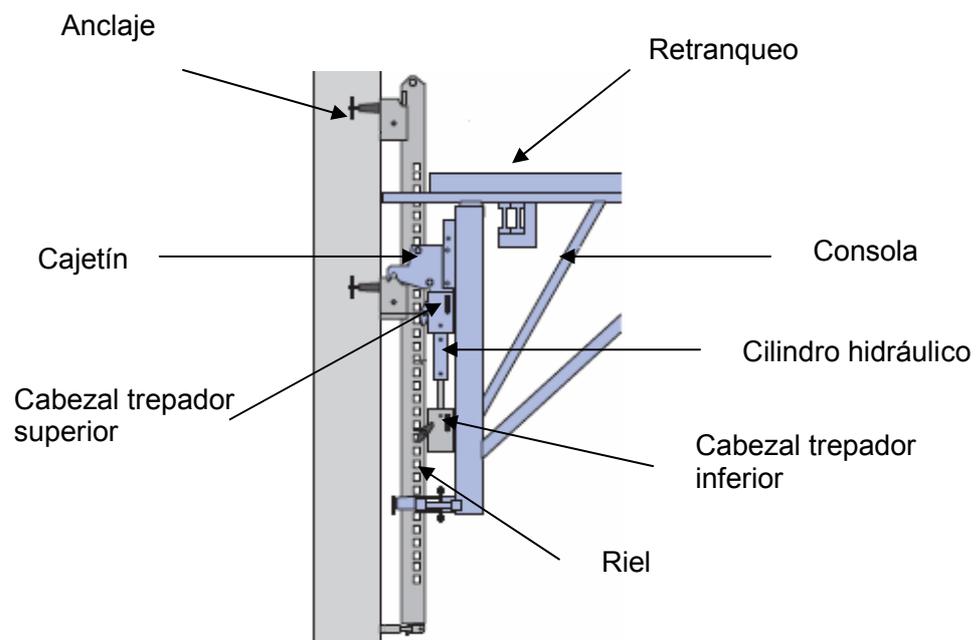


Figura 3.51: Consola de elevación DOKA.

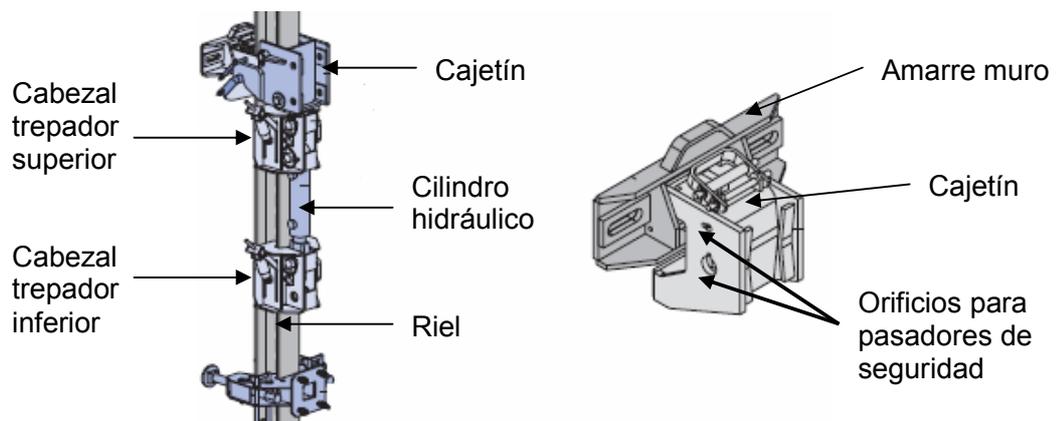


Figura 3.52: Acercamiento al sistema de trepado DOKA.

Los cabezales trepadores son los responsables, junto al cilindro hidráulico, de elevar el riel y la consola. Para el izado del riel y la consola, la palanca de de los cabezales trepadores poseen diferentes posiciones de trabajo.

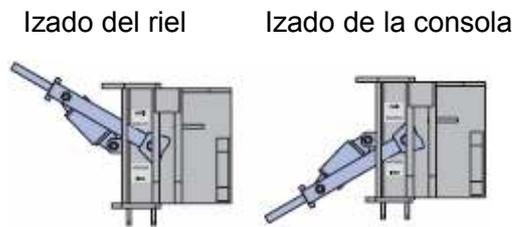


Figura 3.53: Posiciones de trabajo del cabezal trepador DOKA.

El trepado del riel se realiza de la siguiente manera:

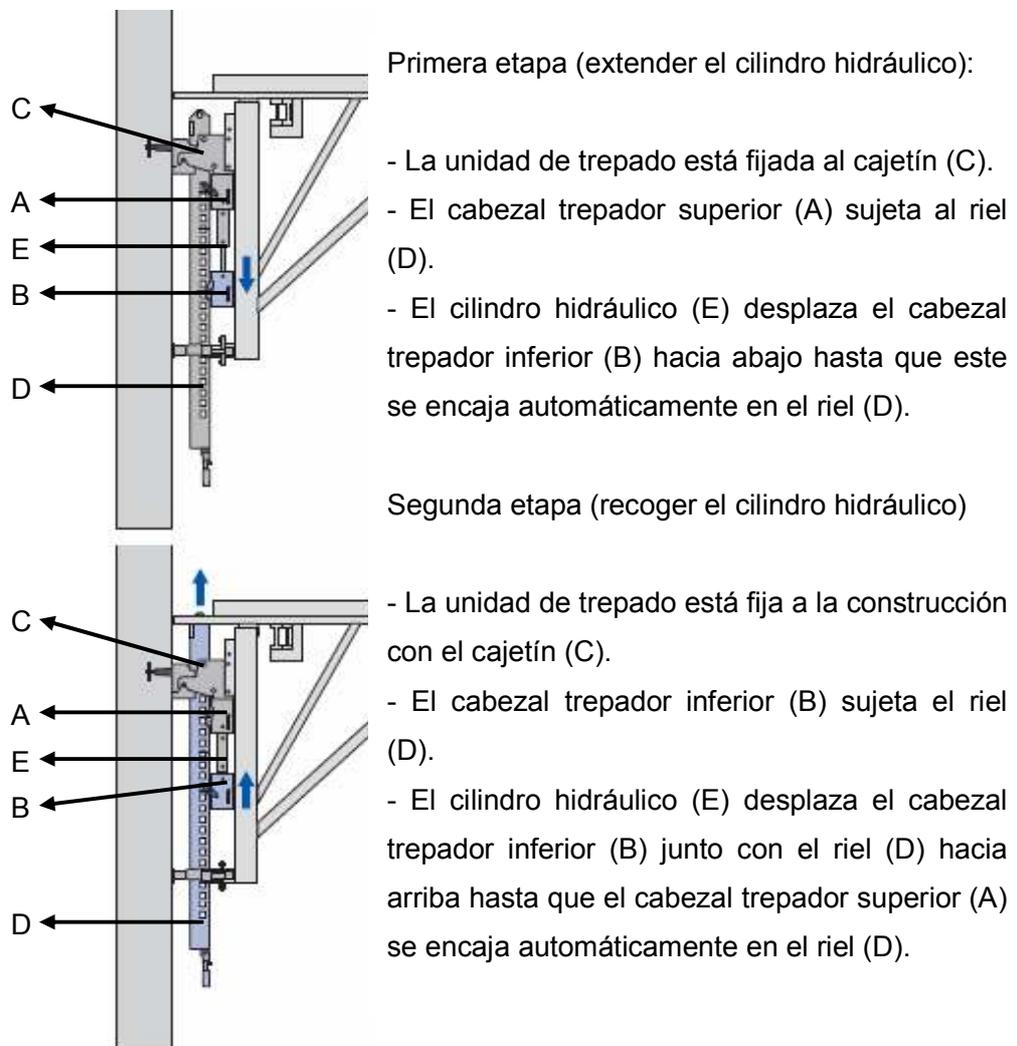
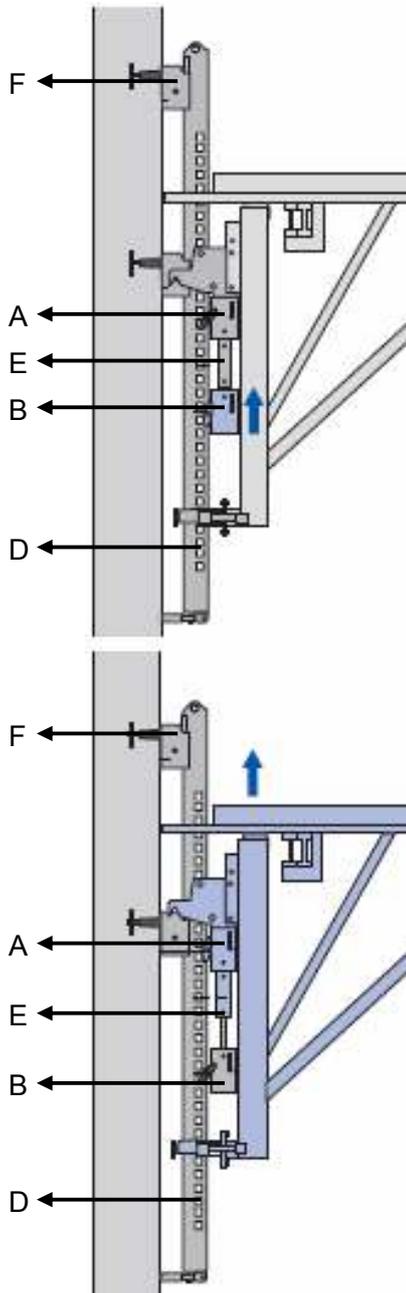


Figura 3.54: Elevación del riel DOKA.

El trepado de la consola se realiza de la siguiente manera:



Primera etapa (recoger el cilindro hidráulico):

- La unidad de trepado está fijada al cajetín superior (F).
- El riel está sujeto a la construcción con el cajetín superior (F)
- El cabezal trepador superior (A) sujeta el riel (D)
- El cilindro hidráulico (E) desplaza el cabezal trepador inferior (B) hacia arriba hasta que este se encaja automáticamente en el riel.

Segunda etapa (extender el cilindro hidráulico)

- El riel (D) está sujeto a la construcción mediante el cajetín superior (F).
- El cabezal trepador inferior (B) sujeta el riel (D).
- El cilindro hidráulico (E) desplaza el cabezal trepador superior (A) y con él toda la consola de trepado con encofrado hacia arriba hasta que el cabezal se encaja de nuevo en el riel.

Figura 3.55: Elevación de la consola DOKA.

b) Sistema de anclajes

El anclaje que utiliza este sistema auto trepante es uno solo. Va anclado al hormigón mediante 2 conos atornillados a 2 pies de anclaje que quedan embebidas en él.

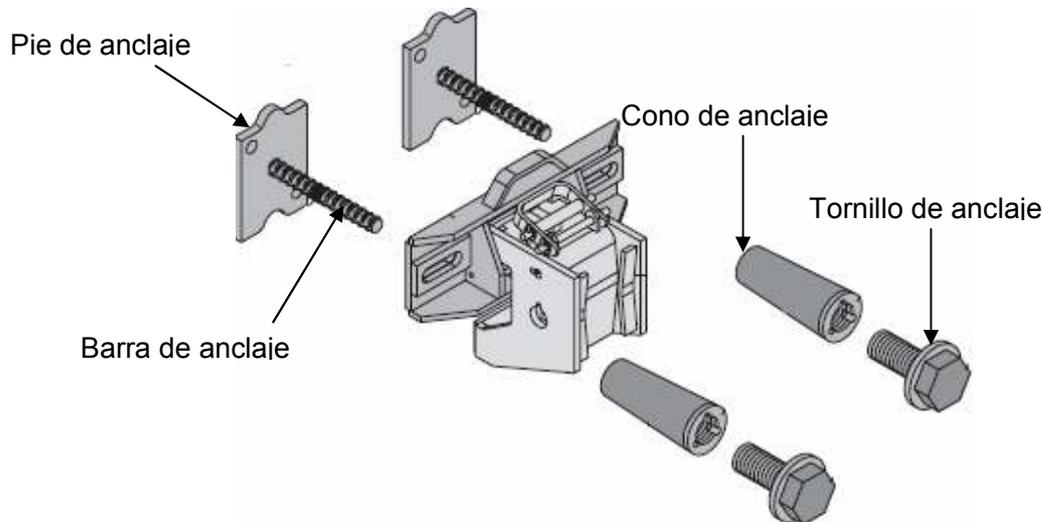
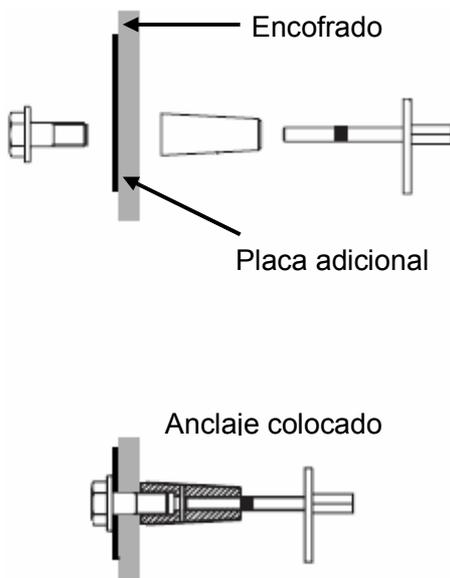


Figura 3.56: Anclaje doble DOKA.

La metodología para colocar el anclaje es la siguiente:



- Primero se fija la placa adicional, que puede ser metálica, en la superficie del encofrado que no está en contacto con el hormigón.
- Posteriormente, se perfora la placa en una posición según el plano del proyecto, luego se pasa el tornillo de anclaje a través del encofrado y se atornilla al cono de anclaje.
- Finalmente, se atornilla el pie de anclaje al cono, quedando el sistema completo y listo para ser hormigonado.

Figura 3.57: Colocación del anclaje DOKA.

Una vez hormigonado, para suspender la consola auto trepante y recuperar los tornillos y conos de anclaje se realiza la siguiente secuencia.

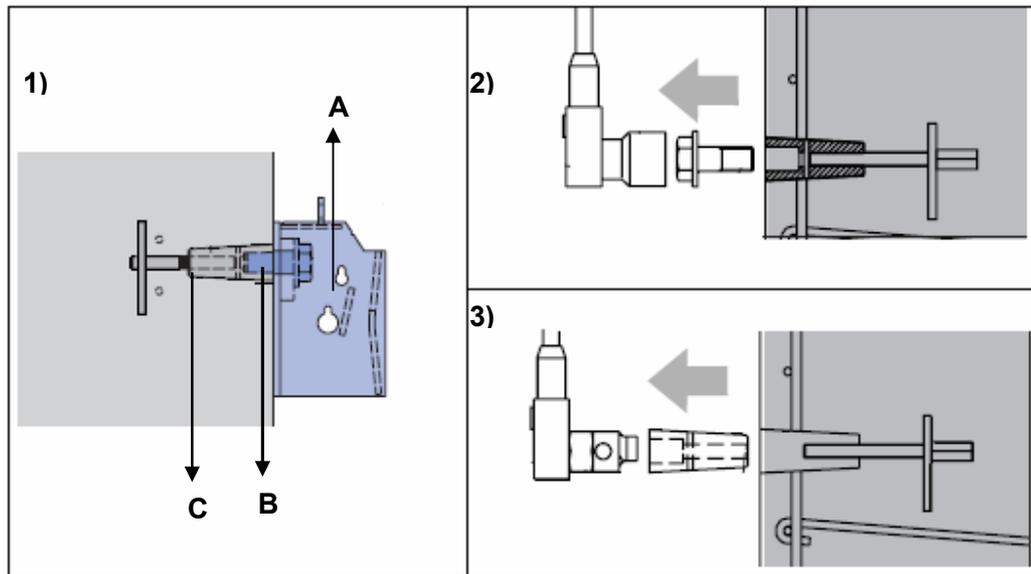


Figura 3.58: Suspensión del cajetín en el anclaje DOKA.

- 1) Se fija el cajetín (A) con el tornillo (B) en el cono de anclaje (C).
- 2) Después de realizar el trepado del riel y de la consola, se extraen de la plataforma suspendida inferior el tornillo.
- 3) Posteriormente se extrae el cono y se cierra el agujero del anclaje si se desea.

c) Sistema hidráulico

Las características del sistema hidráulico son las siguientes:

- Carga máxima de trabajo del cilindro: 100 [KN].
- Recorrido útil del cilindro: 600 [mm].
- Presión de trabajo: 300 [bar].
- Velocidad máxima de extensión del cilindro: 0.2 [m/min].
- Velocidad máxima admisible de viento para realizar operaciones de movimiento del equipo auto trepante: 70 [Km/hr].

3.2.4.3 PERI

a) Sistema de elevación

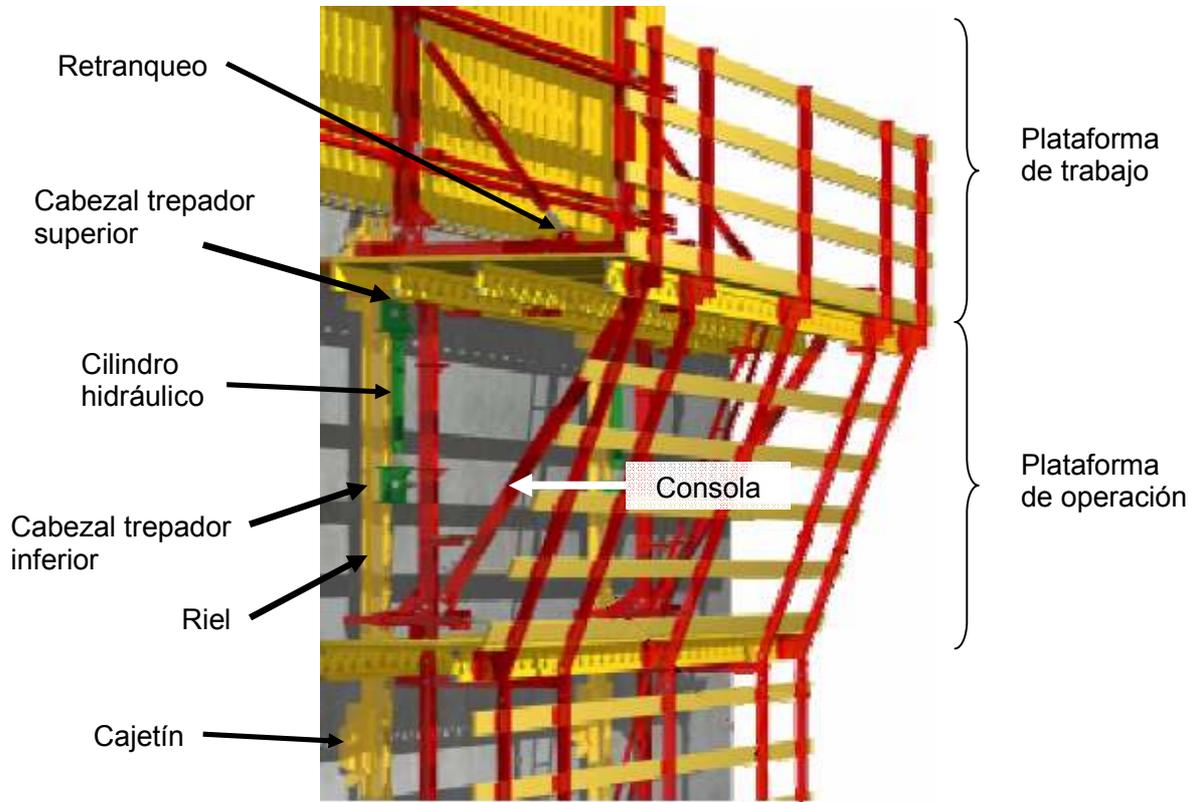


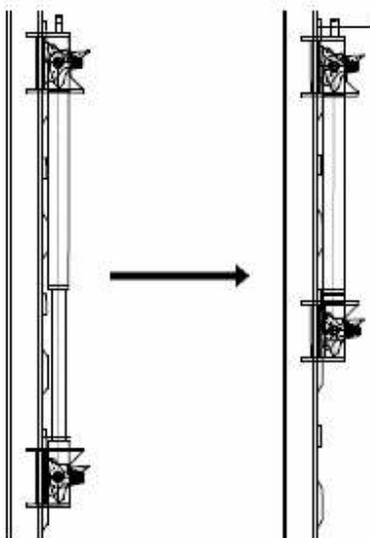
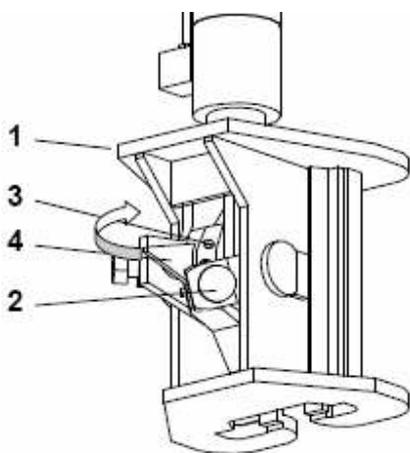
Figura 3.59: Consola de elevación PERI.



Figura 3.60: Acercamiento a los cabezales trepadores PERI.

Los componentes que permiten la elevación de las consolas de trepado y de los rieles son los mismos en cuanto a función que los descritos anteriormente. Una diferencia es que en vez de un pasador de seguridad, existe una cuña que se coloca en el cajetín para asegurar el apoyo de la consola. El riel se apoya en un pestillo de seguridad que va incorporado al cajetín. Además, los cabezales de trepado no poseen una palanca para fijar las posiciones de trabajo; en vez de esto cuentan con un pasador que cambia de posición según la maniobra que se quiera realizar. Esto quedará más claro a continuación, cuando se expliquen los mecanismos de trepado de los rieles y las consolas.

El izado del riel se efectúa de la siguiente manera:



- Primero hay que asegurarse que la consola de trepado esté anclada al cajetín.
- Luego, en todos los cabezales de trepado (1), el pasador debe cambiarse a la posición (3). Una vez hecho esto, se empuja el pasador hacia arriba hasta que el indicador (4) quede apuntando hacia arriba.
- Se seleccionan los cilindros a trepar con el control remoto.
- Se extiende completamente el cilindro y luego se retraen, con esto los rieles trepan un equivalente al largo del movimiento de un cilindro. Esto se repite hasta que el riel prácticamente alcance el cajetín.
- Se revisa que el cajetín y el riel estén alineados. Luego, se extienden los cilindros hasta que el riel haya pasado el pestillo de seguridad del cajetín.
- Se bloquea el pestillo y se retrae el cilindro hasta que el riel descansa completamente el pestillo (figura 3.62).

Figura 3.61: Elevación del riel PERI.

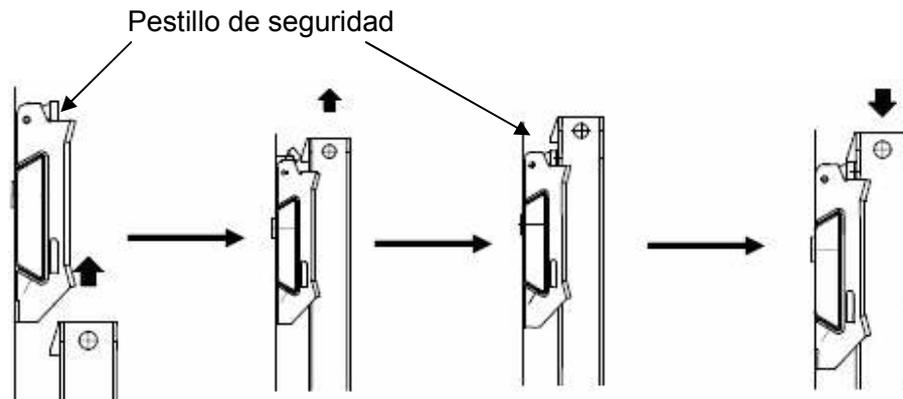
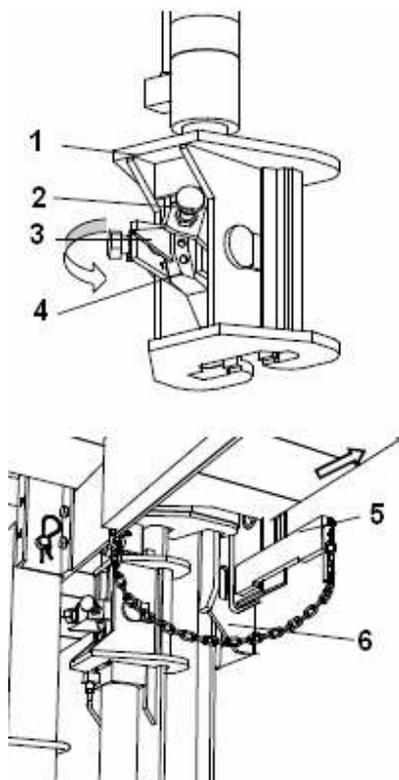


Figura 3.62: Posicionamiento del riel sobre el cajetín PERI.

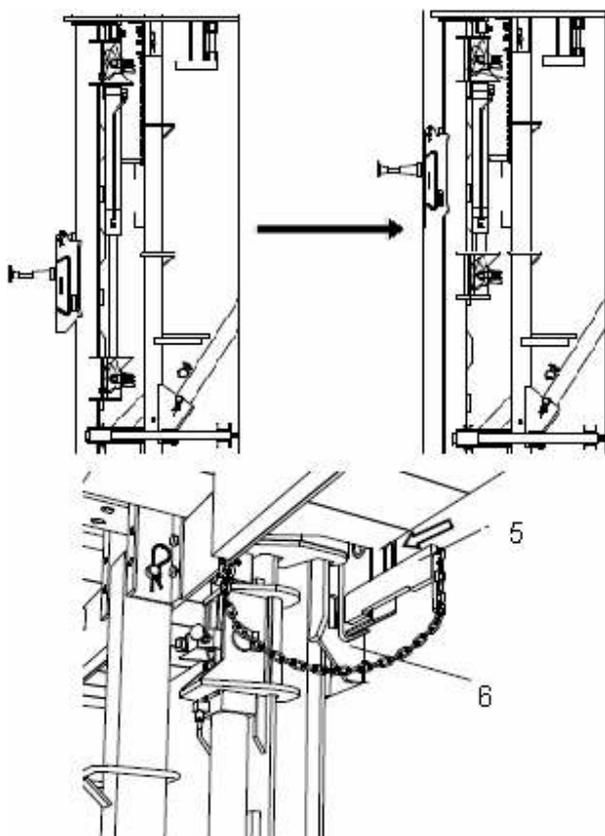
Finalmente, se recuperan los cajetines y los conos de anclaje desde la plataforma de seguimiento y se rellenan, de ser necesario, las perforaciones de los conos con hormigón.

El izado de la consola se efectúa de la siguiente manera:



- Primero hay que asegurarse que los rieles estén anclados al cajetín.
- Luego, se retraen completamente los cilindros hidráulicos y los moldes se separan del muro utilizando el sistema de cremalleras.
- Posteriormente, en todos los cabezales de trepado (1), el pasador se cambia a la posición (3). Se presiona el pasador hacia abajo hasta que el indicador (4) apunte hacia abajo.
- Se seleccionan los cilindros a trepar con el control remoto.
- Se extienden los cilindros unos 10 [cm] para sacar la cuña de seguridad (5) del cajetín (6).

Figura 3.63: Elevación de la consola PERI.



- Se extienden completamente los cilindros hasta que la consola se detenga por completo. Con esto la consola ha trepado el movimiento completo de un cilindro.
- El cabezal trepador superior se asegura al riel y se libera el inferior. Luego, se retraen completamente los cilindros.
- El cabezal trepador inferior se fija al riel y el superior a la consola, la que queda lista para el siguiente de trepado.
- Se sigue el este proceso hasta que la consola se puede fijar en el siguiente cajetín.
- Se coloca la cuña de seguridad (5) en el cajetín (6) para que la consola pueda ser apoyada.

Figura 3.64: Elevación de la consola PERI.

b) Sistema de anclajes

El anclaje ofrecido por esta empresa también es de doble cono y su metodología de anclaje es análoga a las explicadas para los sistemas anteriores.

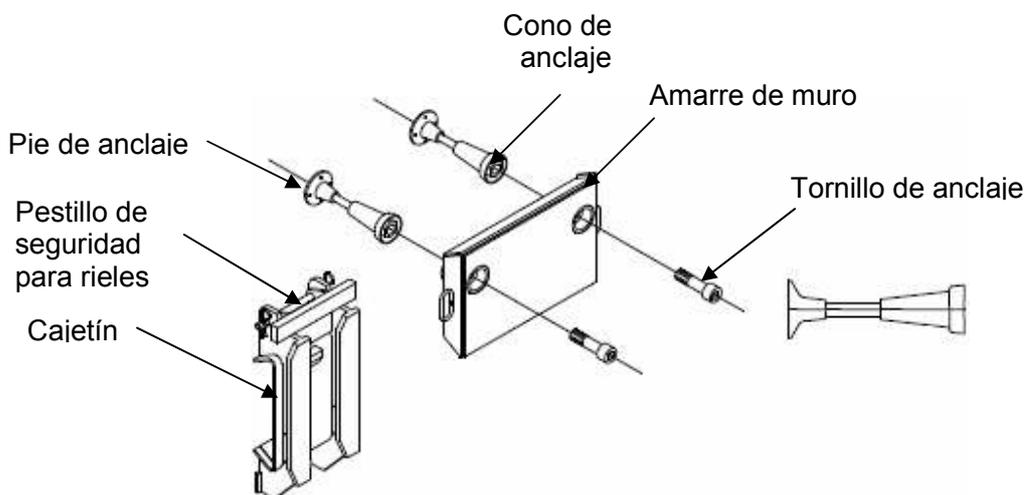


Figura 3.65: Anclaje doble PERI.

c) Sistema hidráulico

Las características del sistema hidráulico son las siguientes:

- Carga máxima de trabajo del cilindro: 100 [kN].
- Recorrido útil del cilindro: 700 [mm].
- Presión de trabajo: 210 [bar].
- Velocidad máxima de extensión del cilindro: 0.5 [m/min].

Además las velocidades de viento operación del sistema son:

- Velocidad máxima admisible para realizar operaciones de movimiento del equipo auto trepante: 70 [km/hr].
- Velocidad máxima admisible para trabajar en el equipo auto trepante: 80 [km/hr].

3.2.4.4 EFCO

a) Sistema de elevación

El sistema de elevación del moldaje auto trepante EFCO es similar a los descritos anteriormente. Para la elevación sucesiva del mástil y el encofrado se cuenta con un cilindro hidráulico compuesto por 2 cabezales de trepado. Mediante una palanca se fija la posición de izado del riel o de la consola en dichos cabezales.

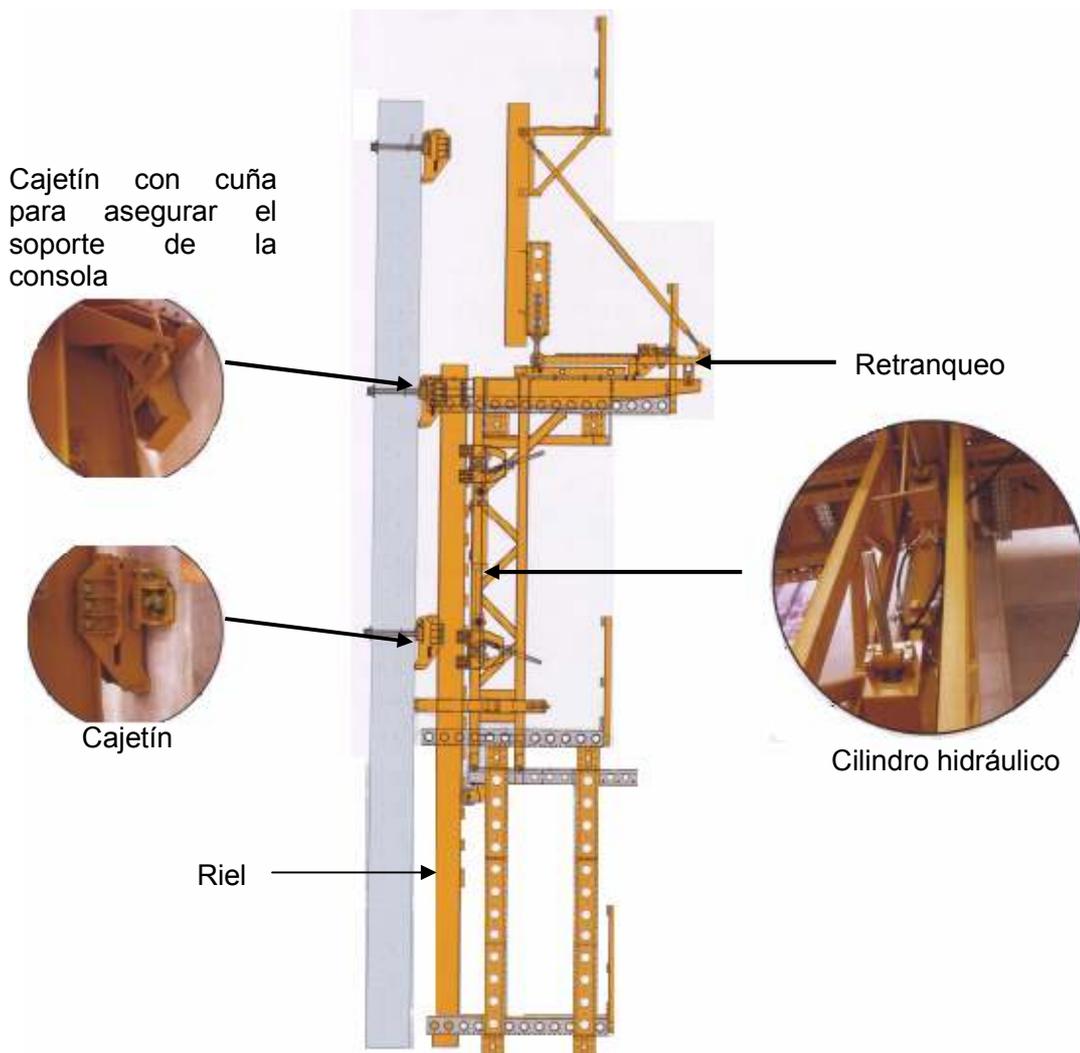


Figura 3.66: Consola de elevación EFCO.

El cajetín cuenta con una cuña de seguridad para apoyar la consola y un pestillo para apoyar el riel al igual que el sistema de PERI.

La elevación de la consola y del riel es análoga al caso de ULMA y DOKA. Sin embargo, este sistema tiene una innovación respecto de los anteriores, ya que además de poseer rieles y cremalleras que permiten el retranqueo para empujar o jalar los encofrados, existe una versión del auto trepa donde los moldes van colgados a unas vigas que se apoyan en la estructura, tal como muestra la figura #3.67.

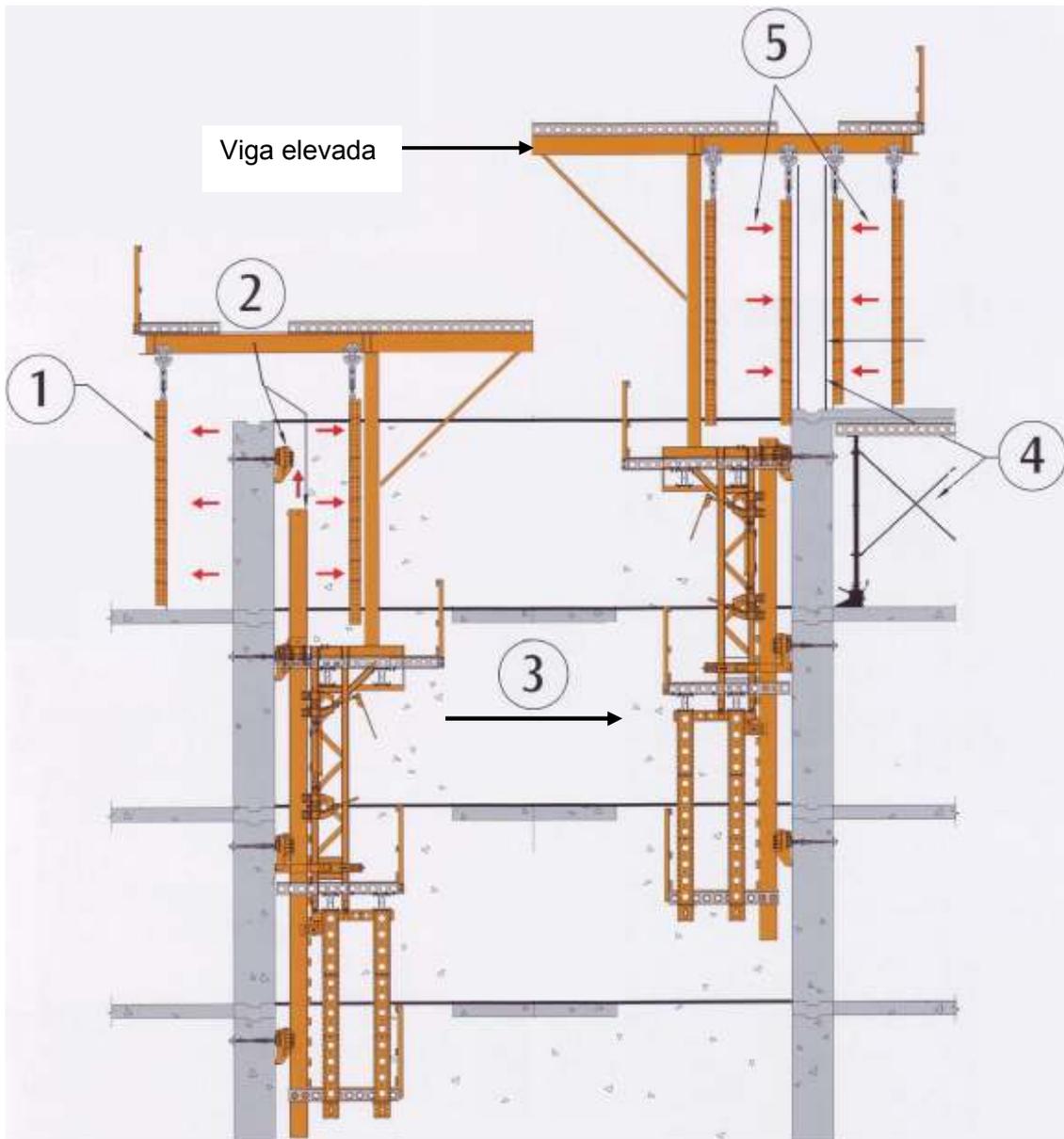


Figura 3.67: Consola de elevación EFCO.

La figura 3.67 representa el trepado del molde para un núcleo de ascensores. La gracia de esta versión del molde auto trepante es que permite hacer muro y losa en forma conjunta, utilizando el sistema de trepado por una sola cara del muro, minimizando así el número de piezas a utilizar.

Los números dibujados en la figura 3.67 representan la siguiente secuencia de elevación:

- 1) Se extraen los tensores y anclajes de los moldes para retirar el encofrado a ambos lados del muro y dejarlo listo para la limpieza.
- 2) Se instala el cajetín al muro y se eleva el mástil hasta ser apoyado en el pestillo.
- 3) Se eleva la consola completa hasta la siguiente posición de vaciado del hormigón, asegurando el soporte sobre el cajetín con su respectiva cuña de seguridad.
- 4) Se monta el apuntalamiento de la losa, se limpia el encofrado y se le aplica desmoldante. Se coloca la armadura correspondiente al muro a hormigonar.
- 5) Se ajusta el encofrado para el vaciado y se vierte el hormigón para losa y muro.
- 6) Se repite el proceso desde el punto 1 hasta el punto 5.

La viga elevada proporciona una plataforma de trabajo para efectuar el hormigonado. Además, sirve como soporte para colgar los encofrados internos y externos.

b) Sistema de anclajes

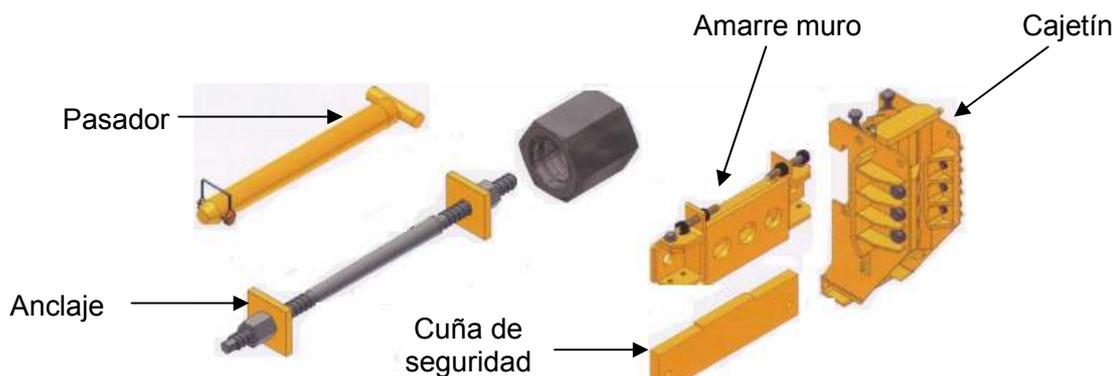


Figura 3.68: Sistema de anclaje EFCO.

El anclaje al muro para ambas versiones del moldaje auto trepante es el mismo. En este caso no quedan piezas embebidas en el hormigón, ya que se utiliza un pasador de que se coloca a través de los moldes antes de hormigonar, dejando los huecos para poder colocar el

anclaje donde va apernado el amarre de muro. De esta forma el cajetín es introducido en el amarre de muro asegurando el apoyo de todo el sistema de encofrados.

c) Sistema hidráulico

Las características del sistema hidráulico son las siguientes:

- Carga máxima de trabajo del cilindro: 133 [KN].
- Recorrido útil del cilindro: 600 [mm].
- Presión de trabajo: 135 [bar].
- Velocidad máxima de extensión del cilindro: 0.2 [m/min].

Además las velocidades de viento operación del sistema son:

- Velocidad máxima admisible para realizar operaciones de movimiento del equipo auto trepante: 70 [Km/hr].
- Velocidad máxima admisible para trabajar en el equipo auto trepante: 110 [km/hr].

3.2.5 Rendimientos de los moldajes trepantes y auto trepantes

Los rendimientos de los encofrados trepantes y auto trepantes de las empresas con las que se está trabajando son los siguientes:

Tabla 3.11: Rendimientos moldajes trepantes y auto trepantes			
Tipo	Empresa	Rendimiento [m2/HD]	
		Por obra	Por arrendadores
Trepantes	ULMA	10 - 20	15 - 30
	DOKA	10 - 20	15 - 30
	PERI	10 - 20	15 - 30
	EFCO	10 - 20	15 - 30
Auto trepantes	ULMA	25 - 40	30 - 50
	DOKA	25 - 40	30 - 50
	PERI	25 - 40	30 - 50
	EFCO	25 - 40	30 - 50

El análisis de estos datos se realizará más adelante.

3.2.6 Problemas frecuentes en el uso de sistemas trepantes y auto trepantes

Además de los problemas descritos en el punto 3.1.3 para los moldajes tradicionales, se pueden agregar los siguientes:

- Desplomes en la elevación de la estructura:

La estructura conformada por las consolas de trepado y los moldajes pueden desaplomarse inclinándose hacia un lado a medida que se eleva la estructura. Si esta variación no se corrige puede ir intensificándose a medida que aumenta la altura en la elevación. Este problema se produce por la falta de nivelación y plomo de los moldes, que genera una posición incorrecta de los mismos. Para que no ocurra esto, se debe chequear el correcto nivel de los encofrados (con un nivel o sistema autonivelante) y verificar durante la construcción con un plomo cada uno de los moldajes utilizados.

Por otra parte, hay que asegurarse de que el cajetín de trepado se encuentre alineado en forma perpendicular al riel, evitando un desplazamiento lateral de toda la estructura.

- Movimiento de los conos insertos en el hormigón:

Las consolas de trabajo y los moldes van afirmados al muro mediante los elementos de conexiones. Particularmente se colocan en la enfierradura un pie y una barra de anclaje a la que va atornillada un cono que queda embebido en el hormigón permitiendo una posterior adaptación de un tornillo que asegura el apoyo de consolas y encofrados. Estos conos de anclaje deben quedar firmes en la armadura, en posición horizontal y bien nivelados, ya que de lo contrario el encofrado a apoyar en ellos quedará desnivelado. Las causas de este problema son: los desnivelan los trabajadores al hormigonar quedando mal afirmados a la enfierradura o se mueven al vibrar el hormigón al no tener cuidado y pasarlos a llevar. En consecuencia, es importante verificar la nivelación de cada cono y comprobar que esté firme en su posición a la enfierradura.

- Unión losa – muro:

Este problema está relacionado con los moldajes auto trepantes, ya que en su implementación puede ocurrir que los muros estén contruidos de manera desfasada respecto de las losas.

Para materializar esta unión se deben dejar previstos en los muros los arranques adecuados para colocar en una segunda etapa las armaduras de las losas. Existen diversas formas de lograr esto, donde destacan:

a) La primera y más económica consiste en dejar barras ancladas horizontalmente en los muros con un tramo de la barra doblado y escondido dentro del espesor de éste (se coloca una pieza de aislapol de modo de completar el espesor del muro). Una vez hormigonado el muro, se retira el aislapol y se enderezan las barras de modo de poder empalmarlas con las barras de la losa. Hay que tener un cuidado especial al usar esta solución, pues al doblar las barras en 90°, éstas fluyen y se deteriora la calidad del acero.

b) Otra alternativa, que sin duda es la más cara, consiste en hormigonar los muros sin preocuparse del tema de las losas. En una segunda etapa se inyectan en los muros, con un epoxico adecuado, las armaduras de las losas. Esto demanda un gran trabajo, pues hay que hacer las perforaciones una a una (las brocas son caras y se rompen con facilidad) y usar un epoxico que tampoco es económico.

c) Finalmente, para solucionar este problema, se pueden dejar arranques con conectores mecánicos¹⁰ en el extremo, de modo que no sobresalgan del espesor del muro, para después se atornillar o apretar las barras de refuerzo de la losa (las que deben venir con hilo en el extremo¹¹). Esto aumenta los costos frente a la primera solución expuesta, pero asegura una buena calidad de la unión. En anexos se adjuntan los detalles típicos de conexión usados en el proyecto Costanera Center.

En cualquier solución que se adopte es fundamental garantizar la correcta posición de los arranques, en particular al momento de hormigonar los muros, pues durante este proceso cualquier elemento en el interior del muro puede desplazarse. Si eso ocurre, es muy poco probable que las armaduras de las losas calcen con los arranques dejados y por lo tanto todo el esfuerzo de esta solución se perderá.

¹⁰ El costo de cada conector varía según la aplicación, pero para una unión losa – muro, un conector para barras de diámetro 16 [mm] tiene un valor nominal de 8.59 [US\$].

¹¹ El hilo en las barras se hace en obra mediante una máquina roscadora. El rendimiento de esta máquina es de 300 roscas diarias y el costo por roscar una barra es de 2 [US\$] aproximadamente.

3.2.7 Ventajas y desventajas de los encofrados trepantes y auto trepantes

Las diferentes tecnologías presentan una serie de ventajas y desventajas que pueden hacer la diferencia en el momento de escoger una para realizar una construcción.

3.2.7.1 Ventajas

- Armado simple del moldaje:

Las piezas de los encofrados utilizados tanto en los sistemas trepantes como auto trepantes son de grandes dimensiones. Ello, sumado a lo sencillo que es la colocación de los elementos de conexión, hace que sean fáciles de armar, por lo que no se hará necesario tener varios especialistas en terreno supervisando el armado. Sólo bastará con uno.

- Reducida mano de obra especializada:

En el caso de los moldajes trepantes, al ser una técnica relativamente sencilla, basta con que halla un técnico en obra que supervise la correcta instalación de todo el sistema. Para los auto trepantes, hay que sumar otra persona a cargo de operar la bomba y revisar que los cilindros hidráulicos suban correctamente por los rieles.

Como todas las labores van siendo supervisadas por los especialistas en terreno, no se hace necesario que los obreros tengan conocimientos técnicos del funcionamiento de los sistemas, ya que, a medida que avanza la obra, van aprendiendo cómo se suelta el encofrado del muro y cómo se colocan correctamente los pernos de anclaje.

A pesar de que los obreros cuentan con una capacitación especial para el uso de estas tecnologías, igual se cometen errores. Es por ello que el período crítico de construcción es durante el desarrollo de los primero ciclos; donde los especialistas hacen mayores intervenciones.

- Reutilizaciones del equipo:

Las consolas de trabajo, al igual que los paneles, están compuestas por elementos de acero, por lo que no sufren un daño considerable durante la construcción del edificio, pudiendo reutilizarse muchas veces. Además, como los encofrados permanecen unidos a las consolas,

sufren menos daño por mal trato en obra. El único elemento que se cambia durante la obra es el tablero de los paneles. Si este es de madera, se cambia fácilmente y por un bajo costo. Si es metálico, se arregla o cambia debido a deformaciones o abolladuras que pueda sufrir durante el proceso constructivo.

Para los moldajes auto trepantes hay que tener un mayor cuidado en las mantenciones que se le deben hacer a los cilindros y bombas hidráulicas. Los cilindros se deben desarmar, limpiar y aceitar las componentes que correspondan y revisar los estados de resortes y pernos para ver si deben ser reemplazados. Las bombas también deben ser limpiadas, pero lo más importante es cambiar todos los años el líquido hidráulico y su respectivo filtro.

- Buena terminación en los muros:

Se logran buenas terminaciones en los muro de hormigón, los que generalmente no requieren de tratamientos superficiales después de descimbrar. Además, se cuenta con plataformas de seguimiento para reparar o dar un mejor acabado a los muros ya hormigonados.

Hay que tener especial cuidado cuando: se arma el molde, se vibra el hormigón y se descimbra el molde; actividades críticas para el buen acabado final. Si se controla la buena ejecución de las actividades anteriormente señaladas, es posible llegar a terminaciones al nivel de muros arquitectónicos, que exigen hormigones a la vista de muy buena calidad.

- Capacidad de hormigonar muros de gran altura:

Para ambos sistemas, se puede hacer un montaje y superposición de paneles que permite hormigonar muros de hasta 6 [m] de altura, obteniendo mayores rendimientos y la posibilidad de alcanzar grandes alturas en pocos ciclos de trabajo. Para verter el hormigón a esta altura es necesario que: se hormigone utilizando mangas¹² y el hormigón tenga una buena cohesión tal que cuando choque con la enfierradura no se segregue y posea buena fluidez (relación adecuada entre agua y finos). Para una densidad de armadura muy grande, se pueden agregar aditivos y lograr así conos mayores a 10, usados para hormigonar desde grandes alturas.

¹² Según la norma Nch 170 no se permite hormigonado libre a una altura mayor a los 2.0 [m] para un cono < 8 [cm], ni para una altura mayor a los 2.5 [m] para un cono >= 8 [cm].

3.2.7.2 Desventajas

- Uso de la grúa:

La grúa es una máquina que puede cumplir funciones en todas las partidas de una obra gruesa. Sube material como fierros y hormigón (salvo cuando este se bombea) y es la encargada de los movimientos verticales de los encofrados trepantes. Por lo tanto, en caso de cualquier falla y por mucho que se encuentren soluciones para trasladar fierros y hormigón, para el caso de los moldajes trepantes se suspende el izado hasta que sea reparada. Obviamente esta no es una limitante y pasa a ser una ventaja cuando se habla de moldajes auto trepantes.

- Endurecimiento del hormigón:

Para cumplir con los ciclos de hormigonado explicados anteriormente se debe alcanzar la resistencia mínima de 150 [Kg/cm²] para poder descimbrar a las 24 horas de hormigonado. Para esto se deben utilizar hormigones que permitan estas características, ya sean con dosificaciones con baja razón A/C, utilizando cementos de alta resistencia o incorporando acelerantes para disminuir el tiempo de fraguado.

Las condiciones climáticas pueden ser un factor que juegue en contra del endurecimiento del hormigón, ya que con tiempos fríos este fragua más lento, con lo cual no alcanzaría la resistencia en los tiempos previstos, lo que generaría un retraso en los rendimientos y en consecuencia un encarecimiento del sistema.

- Juntas de hormigonado:

Tomando en cuenta los ciclos de hormigonado de ambos sistemas, al descimbrar un muro y hormigonar la continuación de este, van a pasar por lo menos 2 días, tiempo suficiente para asegurar un endurecimiento. Luego, como no se tiene un hormigonado en forma continua, se producirán juntas frías, las que si no son tratadas disminuyen la resistencia final de la estructura.

- Pérdida de piezas:

Tanto los moldes como las consolas de hormigonado van dejando una serie de piezas embebidas en el hormigón para asegurar su anclaje al muro. Estas son irrecuperables y constituyen una pérdida.

Por otra parte, todos los sistemas de encofrados descritos anteriormente poseen piezas pequeñas que por descuido de los trabajadores se pierden dentro de la construcción, ya sea porque caen desde las plataformas o son guardadas en lugares donde no corresponden.

3.3 Moldajes deslizantes

A diferencia de los sistemas trepantes y auto trepantes, estos encofrados no derivaron de ninguna tecnología existente, sino que fue innovación pura desarrollada en EEUU a principios del siglo 20. En un principio tenían una serie de limitaciones por lo que era usada sólo en estructuras simples de hormigón. Estas limitaciones son principalmente porque los métodos de elevación de la época eran mecánicos, lo que no hacía muy eficaz la elevación de los encofrados. Posteriormente, con la aparición de los gatos hidráulicos, la técnica se masificó producto de la rapidez que permite en la construcción.

Este método se ha desarrollado considerablemente en Europa y América del Norte y su uso se ha incrementado en Sudamérica. En Chile la técnica fue introducida en 1953 por la empresa Tasco Ltda. la que, a través de contactos con una empresa sueca, importó los gatos hidráulicos, base del sistema de moldajes deslizantes.

En la actualidad no es una técnica masificada en nuestro país, pero se ha ido incorporando lentamente por las razones explicadas anteriormente.

3.3.1 Tecnología de los encofrados deslizantes

El moldaje deslizante es una técnica que debe estar presente cuando se enfrenta la construcción de elementos verticales de gran altura. Permite construir, en forma continua, con un único encofrado elevado mediante gatos hidráulicos a velocidades que varían entre los 15 [cm/h] y los 30 [cm/h]. Este rango de velocidades existe debido a la variable velocidad de fraguado de los diferentes hormigones y puede representar hasta más de 7 [m] en la vertical cada 24 horas.

Con lo anterior se deduce que es posible obtener economías de materiales, sobre todo de moldaje al tratarse de una sola unidad que va subiendo a lo alto de la estructura. Además se utiliza menos mano de obra y los plazos de construcción se reducen, ya que su velocidad de avance es mayor a la de cualquier método existente.

La técnica consiste en el uso de un moldaje de muy poca altura, en general de 1 [m] de alto, con la recomendación de que no sea menor a 90 [cm] ni mayor a 1.2 [m] para permitir el correcto armado del sistema. El molde recorre todo el perímetro y muros interiores de la estructura a deslizar. Este molde, de construcción sólida y exacta, es armado a nivel de la fundación o a nivel de inicio del deslizado. Cada cierto trecho se coloca un arnés metálico que afirma y soporta el moldaje, compuesto de dos patas y dos travesaños que sujetan el gato hidráulico que permite la elevación. Este gato se desplaza sobre una barra maciza o hueca de sección circular, de 26 ó 32 [mm] de diámetro, que va apoyada sobre los cimientos o sobre el hormigón endurecido.

De esta forma, el encofrado se apoya sobre los arnés metálicos donde van afirmados los gatos hidráulicos que a su vez se soportan en las barras metálicas señaladas. El hormigón se vierte dentro del molde y a medida que se va endureciendo se va elevando en forma constante el sistema completo.

Se cuenta con una plataforma principal o de trabajo, dispuesta a la altura de los gatos. Esta es una superficie segura desde la cual se opera el sistema. Además permite colocar la enfierradura y el hormigón en el molde. Desde esta cuelgan 1 o 2 plataformas inferiores a uno o ambos lados del muro a deslizar, lo que permite, al igual que en los moldajes trepantes y auto trepantes, controlar la calidad del hormigón después del paso del molde. Desde estas se pueden realizar trabajos de terminaciones y retirar los marcos que han sido dejados para formar vanos propios de la estructuras (ventanas y puertas por ejemplo).

Un esquema de los componentes que conforman el sistema propiamente tal es el que se presenta a continuación.

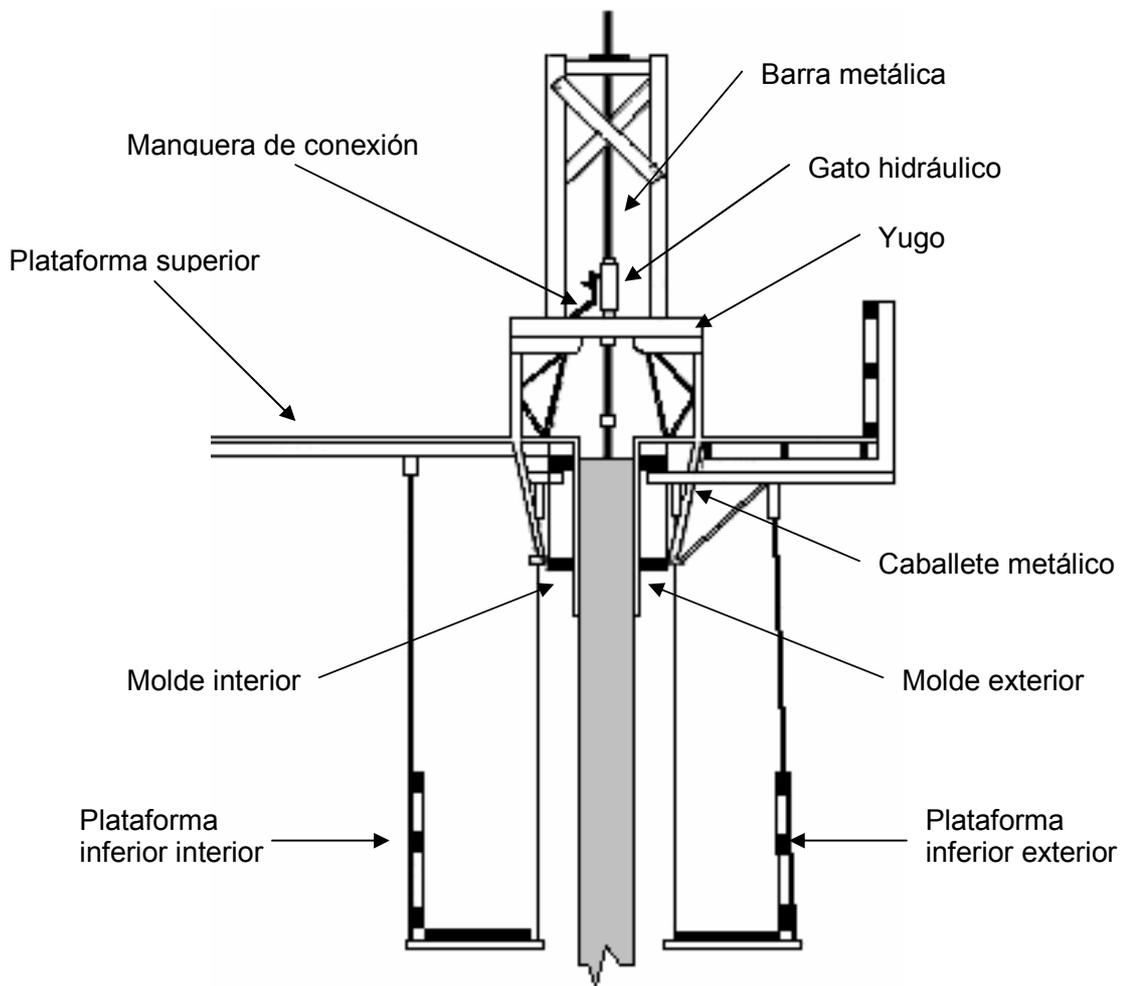


Figura 3.69: Componentes del sistema de moldajes deslizantes.

Como el moldaje a utilizar en toda la construcción vertical nace desde los cimientos, antes de operar el sistema hay que tener un cuidado especial en el armado. Para esto existen las siguientes recomendaciones:

- Antes de armar el molde se debe colocar toda la enfierradura inicial, con sus fierros verticales y estribos horizontales, hasta la altura de los travesaños o yugos que soportan los gatos hidráulicos.
- Luego, se inicia el armado del molde partiendo por el tablero interior y su respectivo caballete metálico.
- Posteriormente, se construye la plataforma superior, que va apoyada sobre los moldes interiores.

- Una vez hecho esto se colocan los moldes exteriores, que deben ir muy bien nivelados, con su respectivo caballete metálico.
- Los caballetes interiores y exteriores se unen mediante travesaños o yugos metálicos. A estos se afirman los gatos que quedan conectados a un compresor mediante un circuito hidráulico, lo que permite operarlos al elevar la presión dentro del circuito.
- Antes de deslizar se deben revisar todos y cada uno de los componentes que constituyen el encofrado.

Un aspecto fundamental para la correcta construcción del muro de hormigón es que los moldes interiores y exteriores poseen una cierta conicidad (figura #3.70) que da el espesor del muro a media altura. La conicidad se refleja en que: el extremo superior del tablero es del espesor del muro menos 0.5 a 1.0 [cm] y el extremo inferior del tablero es del espesor del muro más 0.5 a 1.0 [cm].

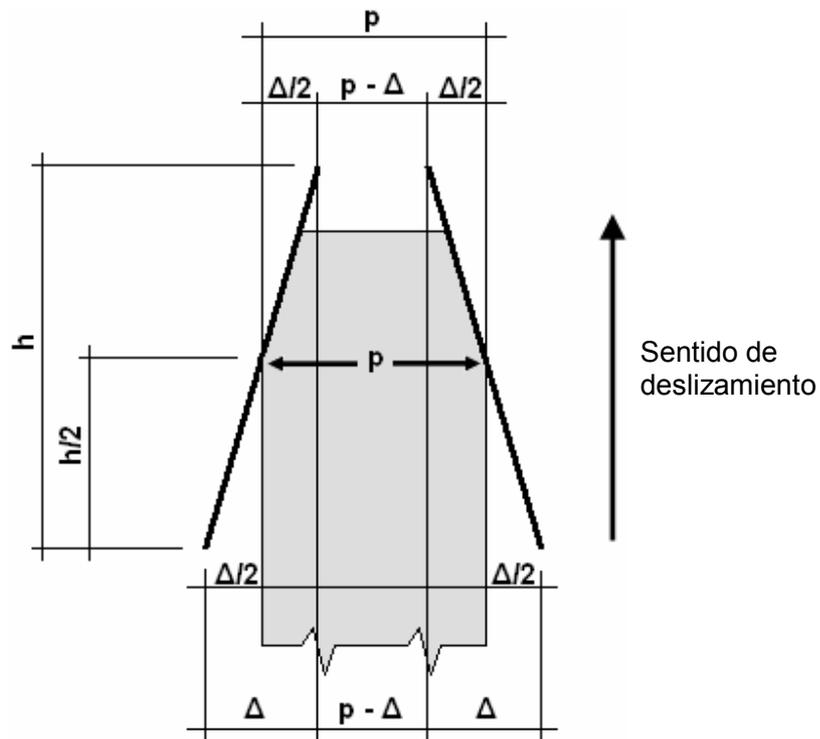


Figura 3.70: Conicidad del molde del encofrado deslizante.

La conicidad existe porque de caso contrario, al elevarse el molde, el hormigón tiende a pegarse al tablero, arrastrándolo y por consecuencia generando agrietamientos en la superficie del muro.

Una vez terminada la preparación del molde, considerando el aplomado del mismo, se está listo para operar; por lo que se da comienzo al llenado de este vertiendo hormigón en una capa bien compactada de no más de 25 [cm] de espesor a todo lo largo del perímetro. Luego otra capa semejante y así sucesivamente. Como cada capa posee edades diferentes, siendo la superior la más joven, se produce a lo alto de todo el encofrado un gradiente de fraguado (figura 3.71), obteniendo la capa inferior la mayor rigidización. Una vez que esta permite al hormigón mantenerse en su posición y en su forma, se procede a accionar el compresor, que comanda el sistema hidráulico, permitiendo que los gatos levanten el molde deslizándolo sobre la superficie del muro de hormigón. Es así como el sistema permite verter hormigón fresco en la parte superior y obtener una salida rígida por la parte inferior.

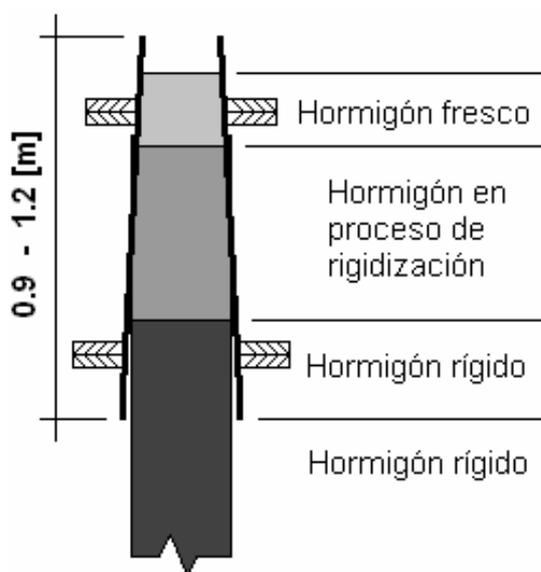


Figura 3.71: Gradiente de fraguado en moldajes deslizantes.

Una vez que comienza la elevación los enfierradores pueden comenzar a operar. Cuando la altura supera los 3.5 [m], se instalan las plataformas inferiores y se colocan los cables de seguridad que afirman los caballetes y sirven para que los trabajadores enganches su cuerda de vida.

A medida que se avanza en la vertical se deben ir chequeando y corrigiendo los movimientos laterales que pueda ir sufriendo la estructura de encofrados. Así mismo, es importante verificar los niveles y alturas de de las distintas singularidades que presenta la estructura, junto a los eventuales desplomes. Esto es posible hacerlo mediante un control topográfico. Además, hay que controlar la calidad y el fraguado del hormigón que sale por la parte inferior del molde, ya que si está muy fresco se debe disminuir la velocidad de izado.

Al tratarse de un deslizado continuo que depende del fraguado del hormigón, se deben planificar bien las partidas de enfierradura y hormigonado, particularmente en lo referido a la subida de los materiales, ya que la grúa debe ir alternando la subida de fierros y hormigón sin interrumpir el izado.

3.3.2 Elementos que conforman los moldajes deslizantes

Con el propósito de que se comprendan mejor los elementos que conforman estos sistemas, se dará una explicación general de los elementos que los componen.

a) Moldajes

A diferencia de los sistemas explicados anteriormente, los moldes de los encofrados deslizantes no son encargados a empresas externas especializadas; de hecho, las empresas a las que se recurrió para este trabajo no tienen en su stock ningún sistema deslizante, porque simplemente no lo trabajan.

Los moldes muchas veces son hechos por la misma empresa constructora que los requiere y están constituidos por paneles ensamblados en el lugar donde se va a colocar el hormigón, rodeando los muros en toda su sección horizontal.

El tablero es la parte que está en contacto con el hormigón, recibe su empuje y le da forma final cuando se endurece. Como se dijo anteriormente su altura varía entre los 0.9 y los 1.2 [m]. Para alturas menores puede que el hormigón no alcance a endurecerse, por lo que se caería por la parte inferior del molde a medida que se va deslizando.

Si las condiciones medio ambientales son desfavorables para el fraguado del hormigón, por ejemplo en un ambiente frío, se pueden construir encofrados de mayor altura. Sin embargo, no es necesario construir uno mayor a 1.2 [m] porque a medida que se aumenta la altura, las presiones de hormigón que se deben soportar son mayores, teniendo que reforzarse cada vez más el sistema. Cuando sea inevitable se pueden usar hormigones con baja razón A/C, utilizar cementos de alta resistencia, incorporar acelerantes para disminuir el tiempo de fraguado, e incluso calentar el agua de amasado.

Al igual que los sistemas anteriores, existen distintos tipos de materiales para los moldes, particularmente para la superficie de contacto con el hormigón. Estos son:

- Encofrados de madera:

Los paneles y el tablero de estos moldajes son de madera. Es posible confeccionarlos en el mismo lugar de la obra, lo que permite modificarlos sin problemas. El inconveniente es

que al ser de madera el número de usos que se le pueden dar son pocos, ya que pierden sus propiedades con la humedad y frente a agentes corrosivos. Para aumentar la durabilidad es posible colocar tableros contra chapados cubiertos con una placa fenólica o con una plancha de acero negro¹³ de 0.5 [mm] de espesor aproximadamente, para así obtener una superficie más lisa reduciendo la fricción entre el molde y el hormigón.

- Encofrados metálicos:

En este caso los moldes son difíciles de modificar, ya que se crean para una obra en particular. No son construibles en obra por su complejidad. Su gran ventaja es que el número de usos que se les puede dar varía entre los 100 y los 150 aproximadamente.

Se utilizan para obras de grandes alturas (mayores a 80 [m]) porque no sufren grandes daños durante el deslizado y no presentan problemas de deformaciones que pueden llevar a desplomes de la estructura.

Se logran superficies más lisas y homogéneas que con los encofrados de madera, debido al menor roce entre el tablero y el hormigón durante el izado.

- Encofrados mixtos:

Como se deduce de su nombre, poseen partes de madera y partes metálicas. Generalmente el panel y sus perfiles son metálicos y el tablero que se coloca es de madera. Para esta solución se usan placas fenólicas similares a las usadas por los moldajes tradicionales descritos con anterioridad, las que permiten buenas terminaciones en el hormigón y aproximadamente 60 usos.

Como el panel no sufre mucho daño durante la elevación, su reutilización es muy alta, cercana a la de los encofrados metálicos. Sin embargo, los tableros que poseen placas fenólicas en contacto con el hormigón sufren mayor daño durante el arrastre del molde, siendo muy difícil su reposición durante la elevación.

¹³ No puede ser un metal que tenga una reacción química con el cemento (aluminio por ejemplo), ya que pueden producir porosidades en el metal aumentando el roce y la adherencia del hormigón al molde.

b) Gato y bomba hidráulica

Los gatos hidráulicos son los elementos que permiten el deslizamiento vertical del sistema deslizante. La disposición de estos por el perímetro de los muros a hormigonar depende de las cargas que tengan que levantar, considerando en el diseño que la carga vertical que actúa sobre cada uno no sea superior a la capacidad de levante.

Existen distintos tipos de gatos y diferentes empresas que los fabrican, pero los más comunes y los que más se usan en Chile son los de la marca sueca Byggings. Se fabrican con capacidad de levante de 3 o 8 [ton], siendo los primeros los de tipo corriente. Consisten en un cilindro que en la parte inferior se sujeta de los caballetes que soportan el moldaje deslizante y que para afirmarse a las barras metálicas posee un pistón en la parte superior y cabezales trepadores en la parte inferior y superior. Este último va fuertemente empujado hacia arriba por un resorte. A diferencia de los cabezales de los sistemas auto trepantes, en este caso sólo permiten movimiento hacia arriba bloqueándose para abajo.

Los más utilizados en Chile son los que tienen una capacidad de levante de 3 [ton]. Sin embargo, nunca es bueno trabajar con la máxima capacidad, debido a las eventualidades que pueden ocurrir en obra, por lo que se recomienda no sobrepasar los 2/3 de su capacidad, es decir: 2 [ton]. Esto permite tener una holgura adecuada para cualquier emergencia, carga no contemplada o mala maniobra.

Para que los gatos puedan operar, se necesita de una bomba hidráulica, que es la encargada de entregar la presión de aceite necesaria a todos los gatos hidráulicos, permitiendo que todos puedan ascender en forma uniforme. El cilindro está provisto de un conducto para la entrada y salida del aceite, al que se conectan las mangueras de la bomba. Esta última es capaz de abastecer a más de 50 gatos asegurando un funcionamiento eficiente.

La secuencia de trabajo de los gatos se puede dividir en 3 partes:

- Primera parte:

El sistema aún no ha sido elevado, por lo que el gato no está sometido a presión. El resorte se encuentra extendido, el pistón está levantado y el cabezal trepador inferior está soportando el peso del encofrado.

- Segunda parte:

La bomba se pone en marcha entregando aceite a presión al gato. Producto de esto el cabezal trepador superior se desplaza hacia abajo y se fija cada vez con más fuerza a la barra metálica. Va subiendo la presión, cargándose cada vez más el cabezal superior y descargándose cada vez más el inferior, hasta que se vence la carga vertical producida por el sistema deslizante. La carga la pasa a soportar sólo el cabezal superior. La elevación del cilindro comienza y arrastra hacia arriba al caballete con el encofrado. Durante el deslizamiento el resorte está comprimido, lo que hace que el gato un recorrido completo.

- Tercera parte:

Se para la bomba por lo que la presión de aceite disminuye. Cuando esta se hace menor a la carga producida por el sistema deslizante, el cilindro baja unos milímetros y el cabezal inferior se aprieta la barra metálica, transmitiendo a esta la carga del encofrado. Como la bomba no se encuentra funcionando la presión sigue bajando, por lo que el cabezal superior sube y el pistón se desplaza empujando el aceite de vuelta a la bomba.

El resorte se apoya en la parte inferior del cilindro, el que no puede descender porque el cabezal inferior está afirmado a la barra metálica.

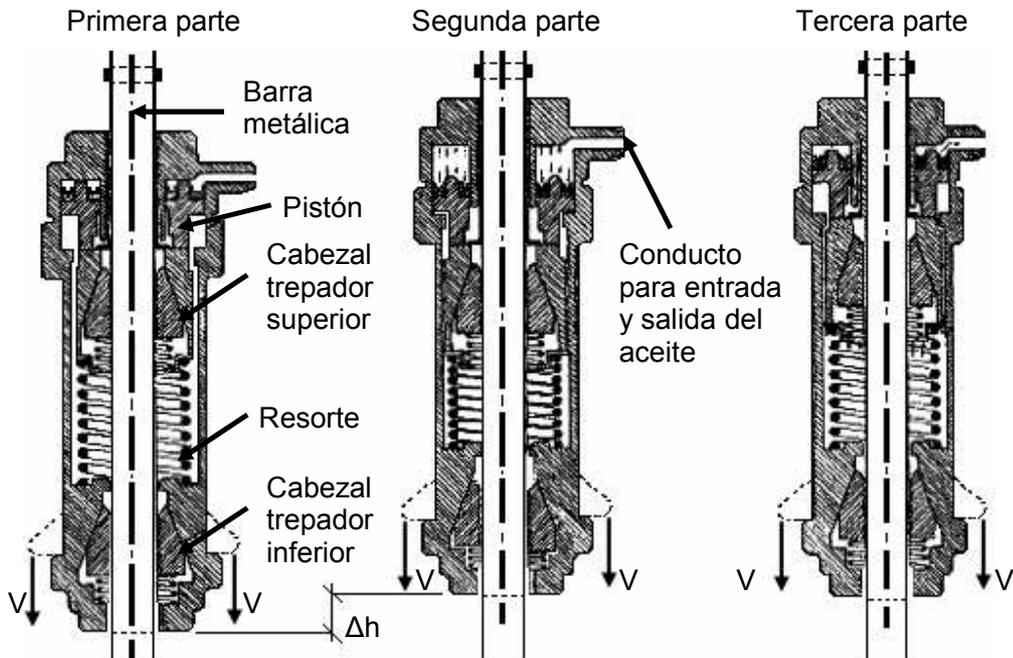


Figura 3.72: Secuencia de trabajo del gato hidráulico.

En la figura 3.72, “ Δh ” corresponde al paso del gato y “V” a la carga vertical ejercida por el encofrado deslizante.

Las características del sistema hidráulico para los gatos usados en Chile son las siguientes:

- Carga máxima de trabajo del gato: 30 [KN].
- Presión de trabajo: 100 [bar] (aproximadamente 100 [Kg/cm²]).
- Velocidad de elevación máxima del gato: 0.005 [m/min] (15 a 30 [cm/h]).
- Velocidad máxima admisible de viento para realizar operaciones de movimiento del equipo deslizante: entre 70 y 80 [Km/hr].

c) Caballetes

Los caballetes están compuestos por montantes que van a ambos lados del muro y están unidos por travesaños o yugos que permiten formar un marco rígido que soporta a los paneles del encofrado y da a poyo al sistema de elevación, particularmente al gato hidráulico.

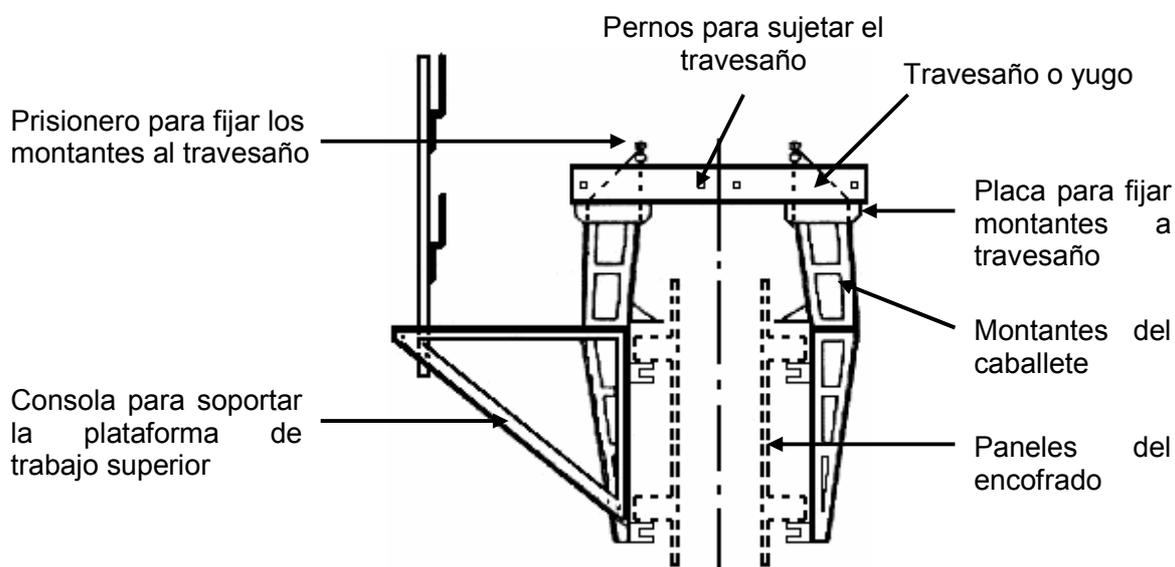


Figura 3.73: Componentes de los caballetes.

Por otra parte, los caballetes dan soporte a las plataformas de trabajo y las plataformas inferiores. Además, son los encargados de resistir las presiones de hormigón¹⁴ que son

¹⁴ Si se considera una altura máxima de 1.2 [m] con un peso específico del hormigón de 2.5 [ton/m³], esta presión no puede ser mayor a la hidrostática que equivale a 30 [KN/m²].

ejercidas sobre los moldes, evitando el desplazamiento lateral y vertical de los paneles. Para cumplir con esto, se deben tener en cuenta las siguientes especificaciones:

- Las uniones entre montantes y yugos deben permitir ajustes en la distancia entre ellos; pero no deben ocurrir giros ni desplazamientos.
- Deben poder montarse y desmontarse cómodamente.
- Deben ser capaces de resistir todos los esfuerzos a los que son sometidos sin permitir deformaciones superiores a las admisibles, incluyendo los generados por operaciones de transporte de materiales, trabajo sobre las plataformas, etc.

Generalmente, para asegurar durabilidad, los caballetes son metálicos. Los más usados en Chile son de este material y son encargados a la empresa sueca Byggings, al igual que los gatos. De esta forma se asegura compatibilidad entre los componentes principales de los sistemas deslizantes. Todos los tipos de encofrados detallados con anterioridad son compatibles con los caballetes.

Considerando la rigidez de los caballetes y que los yugos pueden poseer luces variables, se pueden realizar construcciones de elementos verticales de prácticamente cualquier espesor.

d) Barras metálicas

Las barras metálicas soportan todo el peso ejercido por el sistema deslizante que pasa hacia ellas a través de gatos hidráulicos, transmitiéndolo finalmente a la fundación de la estructura a construir. Estas barras quedan embebidas en el hormigón, evitando que se pandeen por la fuerza transmitida por los gatos.

Un mal cálculo en el diseño puede producir que soporten cargas mayores a las asignadas durante su cálculo, lo que genera problemas en la elevación producto de un probable pandeo. Es por esto que las cargas a considerar son las que ejerce el sistema completo, incluyendo las cargas que transmiten los caballetes sobre los gatos.

Poseen diferentes diámetros, que dependerán del gato a utilizar. En Chile la más utilizada es la de 26.7 [mm] de diámetro exterior. El largo varía entre los 1.5 y los 6 [m], ya que si son de mayor longitud se presentan problemas por el peso de cada una y por la altura que alcanzan al unirse una con otra. A medida que el encofrado va subiendo, las barras se van

acoplado una sobre otra. La manera de unir las es atornillando una con otra producto de un empalme con hilos o utilizando soldadura.

Antes de ser utilizadas deben ser limpiadas y haber recibido un tratamiento de mínima rugosidad tal que los cabezales trepadores de los gatos hidráulicos puedan afirmarse y no resbalen. Además se debe eliminar todo elemento externo que impida un adecuado deslizamiento, tales como abolladuras o engrosamientos.

e) Plataformas de trabajo

El sistema cuenta con 2 plataformas, la superior o de trabajo y la inferior o de seguimiento. Ambas deben estar concebidas respetando todos los elementos de seguridad, ya que el sistema deslizante se caracteriza por ser un trabajo en altura, lo que aumenta el riesgo en la construcción.

La plataforma superior cumple las siguientes funciones:

- Permitir la segura circulación de los trabajadores.
- Soportar herramientas, maquinarias e instalaciones que permiten el funcionamiento del encofrado deslizante.
- Permitir la realización de los trabajos necesarios para enfierrar y hormigonar los muros, como la colocación de la armadura, el vertido y la compactación del hormigón entre otros.
- Poder transportar y acopiar materiales.

Como en la plataforma superior es donde se realizan la mayor cantidad de las operaciones durante la elevación del sistema deslizante, su superficie debe ser de mayor tamaño, por lo que su ancho a lo largo de todo el perímetro de los muros a construir es de 1.2 [m] por cada lado, exterior e interior. La superficie de la plataforma va unida al molde en su parte superior, por lo que el vaciado del hormigón resulta muy sencillo.

La plataforma inferior cumple las siguientes funciones:

- Controlar el grado de rigidización del hormigón.
- Extracción de marcos y moldes dejados para los espacios correspondientes a puertas, ventanas y vanos.
- Controlar el curado del hormigón.
- Realizar trabajos de terminación sobre la superficie del hormigón.

3.3.5 Problemas frecuentes en el uso de sistemas deslizantes

Al igual que los moldajes auto trepantes, el moldaje deslizante se eleva mediante un sistema hidráulico. Sin embargo, al ser un proceso continuo, el cuidado y control que se debe tener durante la elevación es mayor.

A continuación se describen los problemas más comunes para tener en cuenta si se quiere utilizar un sistema deslizante en la construcción de una estructura vertical.

- Desplomes en la elevación de la estructura:

Los desplomes se producen por el movimiento horizontal de las plataformas mientras se está deslizando. Estos movimientos pueden ser producidos por: viento, presiones del hormigón fresco, deformaciones en los moldes, diferencias de peso a lo largo de las plataformas, entre otros.

Como es imposible evitar que estos factores estén presentes durante la construcción, se debe tener un minucioso control de la verticalidad del muro. Para ello, se colocan plomos que cuelgan debajo de la plataforma superior y se toma un punto de referencia en el muro a la altura de los cimientos de la estructura a construir. Se mide esta distancia (separación del plomo con el muro) y se controla que se mantenga constante cada cierto intervalo de tiempo durante el deslizado. Cuando el desplome supere los 5 [mm] se debe corregir.

Para corregir los desplomes se debe desnivelar el molde repartiendo el desnivel en todos los gatos hidráulicos según su posición; con esto se toma nuevamente la posición correcta y se corrigen los errores de plomo.

Si el desplome es menor, basta con redistribuir los pesos sobre la plataforma de trabajo de acuerdo al sector que presente el problema. Si el desplome es mayor (1 [cm] o más), se desnivela la plataforma de trabajo, elevando más los gatos en un lado que en el otro.

Las consecuencias en desplome no controlado pueden llegar hasta la demolición de la estructura hasta una altura donde se pueda corregir el problema. Es por ello que si se detecta, se debe corregir inmediatamente.

- Giros del sistema:

A veces se produce una rotación del sistema durante la elevación, lo que puede provocar el pandeo de las barras metálicas. Al pandearse una barra deja de tomar carga y debido a la rigidez del sistema esta se transmite a las 2 gatas adyacentes, lo que eventualmente puede pandear las barras. Esto genera un problema de estabilidad porque cuando una barra patea, comienza a transmitir fuerzas horizontales sobre el sistema de encofrados, aumentando aún más el giro; lo que provoca, en algunas ocasiones, que otras barras se patee generando una especie de ciclo vicioso que obliga a detener el deslizado.

Los giros son producidos por: elevación discontinua de los gatos, mayor deslizado cuando el hormigón se encuentra muy fresco, mayor velocidad de elevación de los gatos hidráulicos, entre otros.

Para controlar este problema se usan los mismos plomos para corregir los desplomes, pero esta vez se observa en el muro, a nivel de los cimientos, el desplazamiento horizontal del plomo respecto del punto de referencia. Si el giro es mayor a 1 [cm] se debe corregir.

El método más común para la corrección del giro consiste en colocar fierros diagonales de diámetros superiores a 28 [mm] y de 3 [m] de largo en el hormigón fresco apoyados contra los yugos. Se disponen en sentido contrario al giro y a medida que se avanza en el deslizado, los fierros van quedando empotrados en el hormigón endurecido, generando una fuerza en el yugo que provoca un giro contrario del molde para recuperar la correcta posición de deslizamiento.

Pueden existir tantas soluciones como el ingenio lo permita, pero siempre hay que tener cuidado en que al corregir el giro, no se introduzca otro en el sentido contrario.

- Endurecimiento del hormigón:

La velocidad de deslizado va a depender directamente de la velocidad de endurecimiento que tenga el hormigón y esta, a su vez, de la temperatura de trabajo. En consecuencia, a menor temperatura, más lento es el endurecimiento y menor el la velocidad de deslizado que se puede alcanzar. Es por ello que durante el día se alcanzan mayores velocidades que durante la noche.

En ambientes de altas temperaturas el hormigón endurece muy rápido, por lo que se recomienda usar moldajes de madera, ya que los metálicos alcanzan altas temperaturas en poco tiempo.

- Nidos:

Además de las causas y soluciones que se explicaron anteriormente para la generación de nidos, en moldajes deslizantes se pueden producir por arrastre de áridos durante el deslizado. Esto se produce por una baja trabajabilidad del hormigón, la que se aumenta al agregar un aditivo plastificante que no afecta la resistencia del mismo si se mantiene la misma relación A/C.

- Fisuras en el hormigón:

Con el sistema deslizante se pueden producir fisuras en el hormigón cuando no se respeta la conicidad del molde, ya que cuando este no tiene la inclinación correspondiente, se produce un arrastre del hormigón por el encofrado. Otras causas pueden ser una alta adherencia del hormigón al molde o un relleno de hormigón en capas muy altas. Las soluciones para el problema de fisuras fueron explicadas anteriormente para el caso de moldajes tradicionales (3.1.2).

- Pobre recubrimiento de armaduras:

Se produce por una inadecuada colocación del fierro o por la falta de separadores para la armadura. Cuando ocurre esto, la armadura se pega a la superficie del molde y pierde su recubrimiento mínimo, ya que al salir del molde deslizado, el hormigón se desprende de ella. Cuando esto ocurre hay que reparar el recubrimiento desde la plataforma inferior con mortero, asegurando así el mínimo recubrimiento de la armadura.

Para evitar ese problema se debe controlar la colocación de los separadores. Se pueden aumentar sus dimensiones o colocar de manera más tupida.

- Detención del deslizamiento:

El sistema de moldajes deslizantes tiene la característica de ser continuo. Si se detiene la elevación del sistema, el hormigón se endurece y los moldes quedan adheridos al muro.

Antes de continuar con la elevación, hay que preocuparse de desencofrar, limpiar y volver a armar los moldes. Esto provoca un aumento en la duración de la obra y en el desgaste de los moldes, en especial cuando el problema ocurre a grandes alturas ya que hay que armar andamios para tener acceso desmoldar y volver a armar.

La causa principal de una detención prolongada es por desperfectos de la maquinaria, es por ello que se debe contar con repuestos para reemplazar los dispositivos dañados; como por ejemplo los gatos hidráulicos que pueden fallar por desgaste de los cabezales trepadores y resortes.

Para reanudar la elevación hay que tener en cuenta que el hormigón puede estar endurecido y en contacto con los moldes; para evitar esto, se debe izar la estructura en vacío sin hormigonar hasta que no exista contacto molde – hormigón endurecido, lo que se logra gracias a la conicidad del molde. Una vez que ocurre esto, se puede comenzar el hormigonado y el deslizado. Otro punto a tener en cuenta es que queda una junta fría de hormigón, por lo que antes de recomenzar el izado hay que tratarla, ya sea con un mortero de adherencia o con un epóxico.

- Unión losa – muro:

Mismo problema que el descrito en el punto 3.2.6 para moldajes auto trepantes.

3.2.6 Ventajas y desventajas de los encofrados deslizantes

Como se dijo anteriormente esta tecnología no es muy usada en Chile. En este punto se tratarán las principales ventajas y desventajas que presenta el sistema de encofrados deslizantes; características son evaluadas cuando se debe escoger una alternativa para una determinada construcción.

3.2.6.1 Ventajas

- Juntas de hormigonado:

Las juntas de hormigonado, a diferencia de los sistemas trepantes y auto trepantes, representan una ventaja para los encofrados deslizantes. Esto es porque al ser un proceso continuo, no se producen juntas frías, por lo que la resistencia final de la estructura será mayor. Además no se debe recurrir a morteros o epóxicos para su tratamiento.

La única forma de tener juntas frías usando este sistema es por un problema de detención del deslizado, lo que no ocurre en la generalidad de los casos.

- Menores recursos utilizados:

La metodología de construcción con moldajes deslizantes es repetitiva, siempre se realiza el mismo procedimiento y los trabajadores realizan trabajos específicos, por lo que se van especializando y mejorando a medida que avanza la obra. Esto genera los altos rendimientos presentados anteriormente. Por la rapidez con la que se ejecuta la construcción, se logran economías en recursos como mano de obra y materiales. Además, como es un proceso continuo, la planificación de la obra obliga a tener los materiales exactos al pie de la obra para ir cumpliendo con las diferentes etapas, evitando así la conocida pérdida de materiales por tenerlos acopiados por mucho tiempo.

- Buena terminación en los muros:

Como se dijo, al ir deslizando el molde no se producen juntas frías, por lo que las marcas sobre la superficie de los muros hormigonados son producidas por el arrastre del molde. Sin embargo, la terminación sigue siendo lisa, con la posibilidad de ser fácilmente tratada en las

plataformas inferiores, ya que el hormigón bajo el molde no se encuentra completamente endurecido.

- Reutilizaciones del equipo:

Los materiales utilizados durante la elevación como: yugos, caballetes, gatos bombas y elementos de conexión no sufren mayores daños; por lo que con una adecuada limpieza y mantenimiento de cada componente quedan listos para ser reutilizados en otra obra. Los gatos son los más delicados del listado, ya que se deben desarmar, limpiar cada componente, cambiar los resortes vencidos y afilar los dientes de agarre de los cabezales trepadores a las barras metálicas.

El elemento que más sufre es el molde debido a su constante roce con el hormigón. El mayor problema para su reutilización es que se debe usar en una obra de similares características porque, como se dijo anteriormente, los moldes son creados para la obra en particular.

Las barras metálicas se pueden recuperar una vez finalizada la obra siempre y cuando la mano de obra no resulte más cara que las propias barras.

3.2.6.2 Desventajas

- Mano de obra especializada:

Como no es una técnica muy utilizada, es necesario tener en obra técnicos expertos que puedan solucionar y prever todo tipo de problemas que puedan ocurrir, por ejemplo con las bombas y gatos hidráulicos, ya que un mal funcionamiento de estos puede provocar hasta una detención prolongada del deslizamiento. Adicionalmente, los trabajadores deben estar familiarizados con la forma de operar el sistema para que puedan realizar sus labores en forma eficiente y segura.

El sistema funciona correctamente si se asegura la continuidad del deslizado. De lo contrario se producen graves pérdidas por la detención de la obra. Es por ello que la ejecución de ésta debe estar supervisada por un ingeniero que conozca profundamente el funcionamiento del sistema.

Además, como se trata de un trabajo en altura, los trabajadores deben estar previamente capacitados para cumplir con las normas de seguridad de un trabajo con estas características.

- Armado y montaje precisos:

Los problemas de desplomes y giros de la estructura están directamente relacionados con el correcto armado y montaje de las piezas de sistema, tales como los moldes, caballetes, yugos, etc. Si los moldes no quedan perfectamente nivelados y con su conicidad correspondiente se producirán estos problemas desde el inicio de la elevación de la estructura.

- Rigurosa revisión antes y durante de la elevación:

Antes de partir con el izado de la estructura deslizante, se debe revisar y probar cada componente para evitar parar la obra en reiteradas ocasiones. Además, se necesita tener un duplicado en obra de cada maquinaria, porque los repuestos de estas no se encuentran con facilidad en el mercado. La nivelación y conicidad de los moldajes debe ser revisada rigurosamente junto a la seguridad de las plataformas de trabajo.

Hay que tener en cuenta, en el caso de encofrados deslizantes, que generalmente no se paga por un servicio a una empresa externa, sino que es la misma empresa constructora la que implemente la solución en una obra determinada, por lo que el ingeniero a cargo es el que debe revisar cada componente del sistema, ya que la responsabilidad frente a una falla cae directamente sobre él.

- Limitación en el espesor de muros a construir:

Si se analiza físicamente el proceso de deslizado, el peso del hormigón que se encuentra dentro del molde debe ser mayor a la fuerza de roce que se produce entre el hormigón y las 2 caras del molde que están en contacto con este. Si esto no ocurre, el molde arrastra el hormigón. Si bien la fuerza de roce depende del estado del molde (liso o rugoso), de la dosificación del hormigón y de la compactación del mismo, se recomienda no construir muros de espesores menores a los 15 [cm].

3.4 Resumen comparativo

A lo largo del capítulo 3 se ha realizado una descripción de algunas de las tecnologías de moldajes tradicionales, trepantes, deslizantes y auto trepantes presentes en el mercado chileno; entregando sus principales características técnicas.

Como se dijo anteriormente, los sistemas trepantes y auto trepantes utilizan el mismo molde que los tradicionales de cada empresa, es por esto que lo primero es realizar un cuadro comparativo de los encofrados tradicionales.

Sistema de moldaje	Paneles			Tablero		Peso promedio [Kg/m ²]	Hormigón (Panel de 2.7 [m])
	# Anchos	# Alturas	Espesor [cm]	Espesor [mm]	# de usos		Presión admisible [KN/m ²]
ULMA	5	3	15	18	50	80	60
DOKA	6	4	15	18	60	75	80
PERI	5	3	15	21	50	70	67.5
EFCO	10	6	21.5	5	150	88	62

Sistema de moldaje	Unión entre paneles			Seguridad	
	Tipo	Resistencia Corte [KN]	Resistencia tracción [KN]	Resistencia plataforma [Kg/m ²]	Viento de trabajo [Km/hr]
ULMA	Grapa	6	15	200	50
DOKA	Grapa	6	15	150	50
PERI	Grapa	6	15	150	50
EFCO	Perno	40	84.5	200	50

Como primera observación, los paneles EFCO presentan una mayor variedad de alturas y anchos que los ofrecidos por las otras marcas; esto permite que se eliminen compensaciones en madera que se deben hacer en obra para poder encofrar muros con dimensiones que no son múltiplo de los anchos o altos de paneles. Además, el espesor del perfil que compone al panel es considerablemente mayor al de sus pares; esto lo que lo hace más rígido, pero más pesado, eliminando la necesidad de rigidizadores para unir paneles a lo largo y ancho. Esta independencia también está relacionada con la pieza que se usa para unir los paneles, ya que la resistencia al corte y tracción del perno de unión de EFCO es considerablemente mayor a la de las grapas. Sin embargo, se debe usar un mayor número de pernos que de grapas (del orden de 5 pernos por grapa) para eliminar la necesidad de rigidizadores. Luego, el mayor

número alturas y anchos, sumado a un mayor número de elementos de unión entre paneles hacen que EFCO posea mayores posibilidades de pérdidas de piezas en comparación a las otras empresas, lo que genera un mayor riesgo en cuanto al aumento de los costos se refiere.

Por otra parte, es importante destacar la diferencia en el número de usos de los paneles. Al tratarse de un tablero metálico, EFCO presenta la mayor cantidad de usos entre todos los moldajes, sin embargo, esto es siempre y cuando el trato que se les dé en obra sea el adecuado, ya que la mayor parte de los tableros que se dan de baja son por abolladuras sufridas durante el uso.

En el caso de PERI y ULMA, el número de usos es el mismo ya que el recubrimiento de la placa de madera contrachapada es de material fenólico, siendo en ambos casos de densidad 440 [gr/m²], clasificada como alta. En cambio, DOKA posee un panel con una durabilidad un poco mayor a los 2 anteriores porque usa un recubrimiento plástico de 1.5 [mm] de espesor que tiene una mayor resistencia a agentes corrosivos y al mal trato en obra.

Los paneles deslizantes, en cambio, son creados para la obra en particular y pueden usar tableros metálicos o de madera según sea la exigencia de la misma. No poseen compensaciones de madera porque el molde es armado una sola vez a los pies de la obra. Si se considera que se pueden utilizar los mismos tableros que los descritos en la tabla 3.12, ya sean de contrachapados de madera con recubrimiento, metálicos o mixtos, el número de usos que se les puede dar será semejante al de los sistemas tradicionales.

La diferencia en la presión lateral admisible del hormigón sobre los encofrados radica básicamente en el tipo de anclaje. DOKA se escapa en resistencia sólo porque su anclaje posee una barra de mayor diámetro (20 [mm]). Si usa una barra de anclaje de 15 [mm] de diámetro, su resistencia es de 60 [KN/m²], semejante a la de los otros sistemas.

Los moldajes deslizantes, por su parte, son calculados para soportar la presión del hormigón para su altura de diseño, que no es mayor a 1.2 [m]. Con esto si se considera presión hidrostática, el diseño queda asegurado para soportar los 30 [KN/m²] que representa el hormigón fresco a lo alto del moldaje.

Como se vio en el capítulo 3.2.2, el moldaje trepante cuenta con 3 plataformas: de hormigonado, de trabajo y de seguimiento. Luego, la diferencia en cuanto a peso de un moldaje tradicional de uno trepante radica básicamente en el peso de las últimas 2. Si se supone una

superficie a hormigonar de 5.4 [m] de largo (2 paneles de 2.7 [m]) y 4[m] de alto (2 paneles de 2.4 [m]), es decir: de 25.92 [m²], la carga a levantar por la grúa usando moldajes tradicionales y trepantes son los siguientes:

- Tradicionales: $Carga = 25.92[m^2] \cdot 8.8 \left[\frac{Kg}{m^2} \right] = 2281[Kg]$, donde los 8.8 [Kg/m²], corresponden al encofrado más pesado de los sistemas expuestos en este trabajo.

- Trepantes: $Carga = 2281[Kg] + 500[Kg] + 200[Kg] = 2881[Kg]$, donde los 500 [Kg] corresponden a la plataforma de trabajo y los 200 [Kg] a la de seguimiento.

Los datos sobre los pesos de las plataformas son aproximados y obtenidos de los catálogos de cada empresa que desglosan los pesos de cada pieza que las componen. Por otra parte, la superficie considerada es de las más grandes que se puede generar usando moldajes tradicionales tal que se puedan levantar con grúa en una sola pieza. Luego, al hacer la comparación de los pesos de los moldajes para una determinada superficie, se deduce que la grúa a utilizar en una determinada obra puede tener la misma capacidad de carga para el uso de ambas tecnologías, por ejemplo, para este ejercicio, de 3 [ton] en la punta.

Adicionalmente, los moldajes trepantes y auto trepantes presentan características propias del anclaje al muro y del sistema hidráulico para la elevación en el caso de los auto trepantes. Estas son presentadas en la tabla 3.13 para cada una de las empresas con las que se trabajó.

Tabla 3.14: Comparación moldajes trepantes y auto trepantes							
Sistema de moldaje	Sistema de anclaje		Sistema hidráulico				
			Cilindro			Bomba	Seguridad
	Tipo	Embebido en el hormigón ¹⁵	Carga máx. [ton]	Recorrido máx. [mm]	Velocidad de extensión [m/min]	Presión de trabajo [bar]	Vel. máx. de trabajo [Km/hr]
ULMA	Doble cono	Si o No	10	660	0.5	300	72
DOKA	Doble cono	Si	10	600	0.2	300	70
PERI	Doble cono	Si	10	710	0.5	210	72
EFCO	Doble	No	13	600	0.2	135	70

¹⁵ Si el anclaje traspasa el muro, no posee elementos embebidos en el hormigón. Cuando el anclaje no lo traspasa queda un pie de anclaje dentro del muro hormigonado, tal como se vio en el capítulo 3.2.4.

En el caso de ULMA y EFCO existe la posibilidad de realizar anclajes sin dejar piezas embebidas en el hormigón, por lo que los anclajes se pueden reutilizar durante toda la elevación. En todos los casos el anclaje es doble, para dar una mayor seguridad al apoyo del sistema, ya sea trepante o auto trepante.

Destaca que capacidad de carga del cilindro de EFCO es mayor en comparación con las otras. Esto se debe a que el moldaje EFCO es más robusto, posee mayor cantidad de elementos de acero que rigidizan el sistema y tiene, según la tabla 3.12, un mayor peso promedio de paneles.

Que el recorrido máximo del cilindro sea mayor en el caso de ULMA y DOKA da como resultado una mayor velocidad de elevación, ya que se llega a una misma altura con menos movimientos de los cabezales trepadores propios de cada sistema.

Si recordamos los moldajes deslizantes, la carga máxima del gato hidráulico con el que se trabaja en Chile es de 3 [ton], esto provoca que la distancia de separación entre cada gato sea de 2 [m] aproximadamente. En cambio, debido a una mayor capacidad de carga del cilindro en el caso de los sistemas auto trepantes, esta separación puede ser tanto mayor como la carga vertical que reciba cada uno lo permita. En el caso del proyecto Costanera Center, hay cilindros separados hasta por 6 [m].

Desde el punto de vista de la seguridad, todos los sistemas, ya sean tradicionales, trepantes, auto trepantes o deslizantes respetan las normas vigentes en cada país. Es por esto la similitud en los valores entregados en las tablas anteriores.

Al utilizar un mismo panel en encofrados tradicionales, trepantes y auto trepantes, la calidad del hormigón visto será semejante, aumentando levemente en el caso de los moldes trepantes y auto trepantes, ya que los moldes descansan sobre las consolas de trabajo durante toda la elevación y no son acumulados o apilados en la obra como el caso de los tradicionales. Por otra parte, la calidad del hormigón alcanzado con el uso de moldajes deslizantes puede llegar a ser alta siempre y cuando se tenga un riguroso control topográfico para eliminar posibles giros y desplomes del sistema. Sin embargo, existe una diferencia respecto de los otros sistemas, ya que se producen pequeñas variaciones de espesores en los muros debido a que la rigidización del hormigón se produce más arriba o más abajo del molde. Esto se traduce en una pequeña ondulación en la superficie de los muros, lo que para terminaciones de hormigón a la vista sería una desventaja.

Otro factor determinante al momento de escoger una tecnología de moldajes para un edificio es el rendimiento que logran. A continuación, se presenta una tabla con un resumen de los rendimientos de cada sistema.

Tabla 3.15: Resumen de rendimientos de los sistemas			
Tipo	Empresa	Rendimiento [m²/HD]	
		Por obra	Por arrendadores
Tradicionales	ULMA	10 - 15	15 - 30
	DOKA	10 - 15	15 - 30
	PERI	10 - 15	15 - 30
	EFCO	10 - 15	15 - 30
Trepantes	ULMA	10 - 20	15 - 30
	DOKA	10 - 20	15 - 30
	PERI	10 - 20	15 - 30
	EFCO	10 - 20	15 - 30
Auto trepantes	ULMA	25 - 40	30 - 50
	DOKA	25 - 40	30 - 50
	PERI	25 - 40	30 - 50
	EFCO	25 - 40	30 - 50

Los rendimientos que aparecen en la tabla 3.15 fueron entregados por empresas que dan el servicio de arriendo de los sistemas y por usuarios que usan estos sistemas en diferentes obras. La diferencia de los valores se produce porque cuando se determinan rendimientos teóricamente se supone que todas las partidas (enfierradura, moldaje y hormigón) están perfectamente coordinadas y no existe ningún problema en la obra. Sin embargo, la realidad no es así, lo que se ve reflejado en la disminución de los valores.

La similitud en los rendimientos de moldajes tradicionales y trepantes puede ser engañosa. Hay que recordar que los moldajes tradicionales con los que se está trabajando sólo se pueden movilizar mediante grúa. Por lo tanto, para mejorar la eficiencia en la obra, se arma un conjunto de paneles con su respectiva plataforma de hormigonado y se eleva como conjunto. Luego, el mayor tiempo invertido es en aplomar y asegurar los moldajes con los puntales estabilizadores. En el caso de moldajes trepantes, este tiempo se reduce ya que el encofrado descansa sobre la consola de trabajo y se ajusta al muro con el sencillo sistema de rieles y cremalleras; sin embargo, se invierte una gran cantidad de tiempo en colocar de forma correcta los conos de anclaje, punto crítico durante la elevación si se quieren evitar desplomes. Es por esto que los rendimientos son semejantes en ambas tecnologías.

4. COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE MOLDAJES

Los sistemas presentados en el capítulo anterior poseen una alta presencia en el mercado. Como ya se realizó una comparación respecto de los aspectos técnicos propios de cada uno, ahora se busca ver cuál de los sistemas es más conveniente desde el punto de vista económico para la construcción de muros en edificios.

Para esto, se supondrá la construcción de una estructura que no presente cambios en su altura. Particularmente, se evaluará el proyecto de un edificio de oficinas, que estructuralmente está compuesto por un núcleo de ascensores y columnas que forman marcos perimetrales, similar al que se está construyendo en las torres del proyecto Costanera Center. La planta de la caja de ascensores y escaleras del edificio a construir se presenta a continuación:

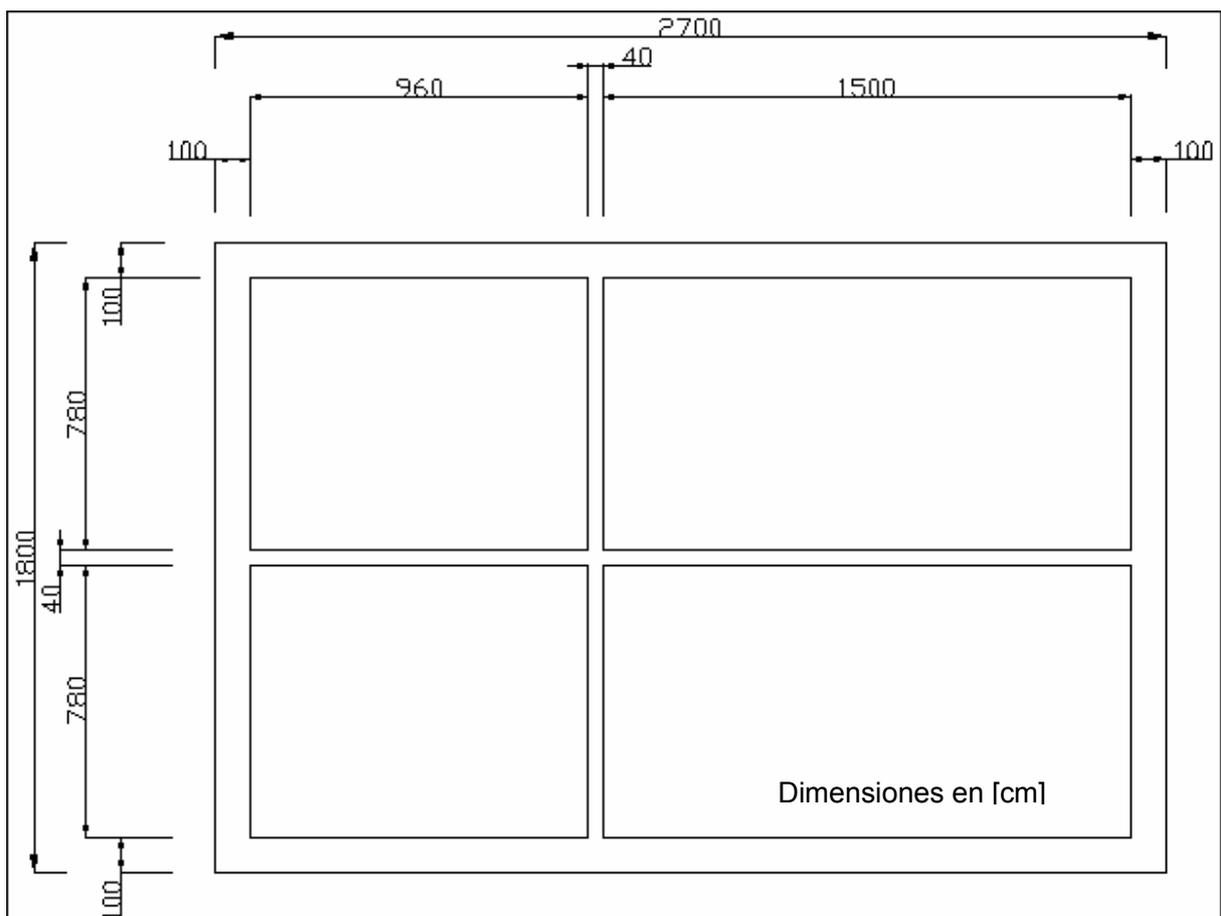


Figura 4.1: Planta tipo de caja de ascensores de edificio supuesto.

Para esta misma planta se evaluarán los costos a distintas alturas, lo que genera la siguiente cubicación de moldajes a utilizar:

Alturas alternativas [m]	Superficie moldaje muros [m²]
70	17.556
140	35.112
210	52.668
280	70.224
350	87.780

Para facilitar la evaluación, sin pérdida de generalidad, se considerarán los siguientes supuestos:

- La altura de piso será de 3.5 [m], lo que genera una superficie a moldear de 877.8 [m²] por piso.
- Los muros no cambian de espesor.
- El proyecto se realiza en Santiago, lo que elimina los costos de traslado de personal.
- Los días de trabajo considerados son 22 por mes.
- Temperatura de trabajo de confort.
- No se considerará en los costos las partidas correspondientes a acero y hormigón porque los kilos y m³ son los mismos para cada tecnología.
- El costo de transporte o flete de los moldajes se estima en \$100.000 por viaje, suponiendo camiones con capacidad para 20 toneladas.

Además, para efectos de cálculo, se utilizaron los valores de dólar, euro y UF del día Martes 30 de Junio del 2009, es decir:

Dólar [\$]	530,30
UF [\$]	20.933,02
Euro [\$]	746,37

Por otra parte, se considerarán los costos propios de sistema más un ítem de gastos generales. Los valores considerados fueron entregados por empresas con las que se está realizando el estudio y por usuarios con experiencia en construcción.

4.1 Moldajes tradicionales

Para los sistemas tradicionales se consideró un rendimiento de 3 pisos por mes, lo que generó los siguientes plazos para las diferentes alturas:

Alturas alternativas [m]	Nº de pisos	Plazo [mes]
70	20	6,67
140	40	13,33
210	60	20,00
280	80	26,67
350	100	33,33

EL plazo se calcula como el número pisos dividido por el rendimiento. Para el arriendo, se considera este mismo valor más 1 mes debido al tiempo invertido en instalación y devolución de los moldajes.

En cuanto al rendimiento de la mano de obra, se estimó que realizan 12 [m²/hombre/día], por lo que se necesitan 10 hombres para cumplir con los plazos expuestos en la tabla 4.3. El sueldo, incluyendo leyes sociales¹⁶, se tomó como 580.000 [\$/hombre/mes].

Como el sistema es elevado mediante el uso de grúa, se considera un 30 % del costo total de esta como parte del moldaje tradicional en los gastos generales. Esto porque se consideró que el moldaje representa un 30% del tiempo de trabajo de una grúa en obra gruesa.

El desglose de los gastos generales y los costos propios del sistema, para cada una de las empresas con las que se está trabajando, se incluyen en la sección anexos. A continuación, se presenta un resumen con los costos de los moldajes tradicionales para cada empresa en cuestión.

Tipo	Empresa	Gastos Generales [UF/m2]	Costos propios del sistema [UF/m2]	Total [UF/m2]
Tradicional	EFCO	0,039	0,327	0,366
	DOKA	0,039	0,336	0,375
	PERI	0,039	0,340	0,379
	ULMA	0,039	0,343	0,382

¹⁶ Como leyes sociales se consideran como mínimo: asignación de movilización, asignación de colación, gratificación, séptimo, vacaciones, seguro de accidente, seguro de cesantía, AFP y salud.

4.2 Moldajes trepantes

Para los sistemas trepantes, se consideró un rendimiento de 4 pisos por mes, que se calculó utilizando los ciclos de avance del sistema. Con esto, se calcularon los siguientes plazos para las diferentes alturas:

Alturas alternativas [m]	Nº de pisos	Plazo [mes]
70	20	5
140	40	10
210	60	15
280	80	20
350	100	25

Para el rendimiento de la mano de obra, se estimó que se realizan 12 [m²/hombre/día], por lo que se necesitan 14 hombres para cumplir con los plazos expuestos en la tabla 4.5. El sueldo, incluyendo leyes sociales, se tomó como 580.000 [\$/hombre/mes].

Al igual que el sistema tradicional, el trepante es elevado mediante el uso de grúa; luego, también se toma en cuenta este costo en los gastos generales como un 30% del total de la grúa.

El desglose de los gastos generales y los costos propios del sistema, para cada una de las empresas con las que se está trabajando, se incluyen en la sección anexos. A continuación, se presenta un resumen con los costos de los moldajes trepantes para cada empresa en cuestión.

Tipo	Empresa	Gastos Generales [UF/m ²]	Costos propios del sistema [UF/m ²]	Total [UF/m ²]
Trepante	EFCO	0,024	0,346	0,369
	DOKA	0,024	0,349	0,373
	PERI	0,024	0,360	0,384
	ULMA	0,024	0,361	0,384

4.3 Moldajes auto trepantes

Para los sistemas auto trepantes, se consideró un rendimiento de 6 pisos por mes, que se calculó utilizando los ciclos de avance del sistema. Con esto, se calcularon los siguientes plazos para las diferentes alturas:

Alturas alternativas [m]	Nº de pisos	Plazo [mes]
70	20	3,33
140	40	6,67
210	60	10,00
280	80	13,33
350	100	16,67

En cuanto al rendimiento de la mano de obra, se estimó que realizan 35 [m²/hombre/día], por lo que se necesitan 7 hombres para cumplir con los plazos expuestos en la tabla 4.7. Este alto rendimiento se logra debido a la automatización del sistema. El sueldo, incluyendo leyes sociales, se tomó como 580.000 [\$/hombre/mes].

Como el sistema auto trepante no necesita grúa para su elevación, no se considera este costo en los gastos generales.

El desglose de los gastos generales y los costos propios del sistema, para cada una de las empresas con las que se está trabajando, se incluyen en la sección anexos. A continuación, se presenta un resumen con los costos de los moldajes auto trepantes para cada empresa en cuestión.

Tipo	Empresa	Gastos Generales [UF/m ²]	Costos propios del sistema [UF/m ²]	Total [UF/m ²]
Auto trepante	EFCO	0,005	0,376	0,381
	DOKA	0,005	0,370	0,375
	PERI	0,005	0,402	0,407
	ULMA	0,005	0,388	0,393

4.4 Moldajes deslizantes

Para el sistema deslizante, se consideró un rendimiento de 8 pisos por mes, que se calculó utilizando la velocidad de elevación del sistema. Se podría lograr un mayor rendimiento; sin embargo, debido a restricciones estructurales, el núcleo no se puede elevar indefinidamente sobre las losas, por lo que se limita la velocidad de elevación. Con este rendimiento, se calcularon los siguientes plazos para las diferentes alturas:

Tabla 4.9: Plazos moldajes deslizantes		
Alturas alternativas [m]	Nº de pisos	Plazo [mes]
70	20	2,5
140	40	5,0
210	60	7,5
280	80	10,0
350	100	12,5

El número de gatos hidráulicos que se utilizó se calculó usando el criterio que deben estar espaciados a una distancia menor o igual a 2 [m]. Luego, se hacen necesarios 75 gatos para realizar la construcción siguiendo la siguiente distribución:

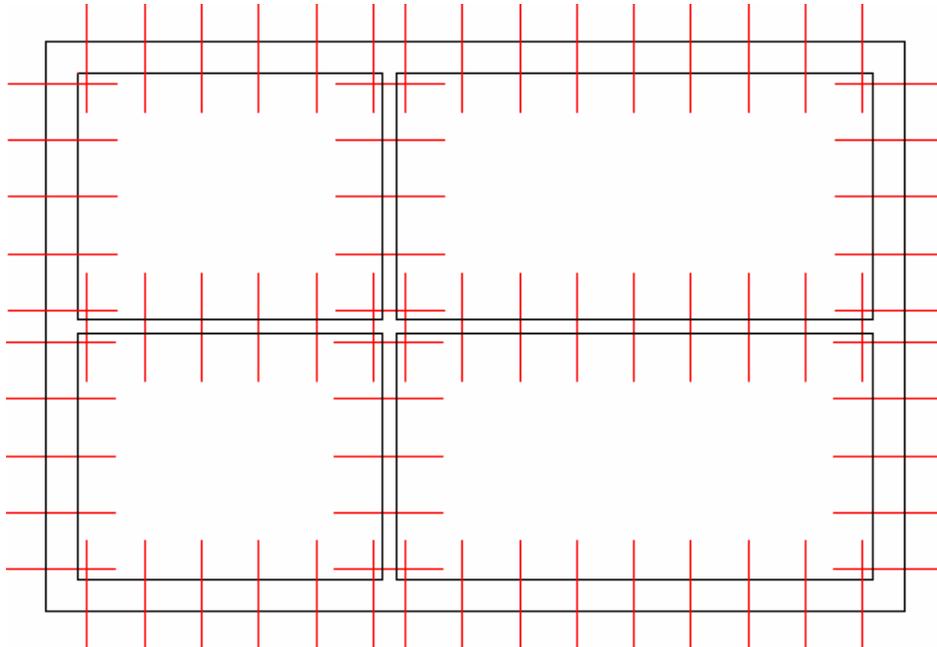


Figura 4.2: Distribución de gatos hidráulicos y barras metálicas.

El número de barras metálicas o cañas por donde trepan los gatos es igual al número de gatos, es decir: 75.

Los costos de los gatos es de 10 [US\$/gato/día] y el de las barras metálicas de 6.500 [\$/barra¹⁷].

Por otra parte, debido a la magnitud de la construcción, se consideraron 2 operadores que trabajan en el turno de día y dos en el turno de noche. A cada uno se le paga 25.000 [\$/hombre/turno] más leyes sociales. Además, para los maestros a cargo del platachado, se consideró un rendimiento de 25 [m²/hombre/turno] a un costo de 18.000 [\$/turno].

Al igual que el sistema auto trepante, el deslizante se eleva a través del sistema hidráulico, por lo tanto el costo de grúa no es considerado en los gastos generales.

El desglose de los gastos generales y los costos propios de sistema se incluyen en la sección anexos. A continuación, se presenta un resumen con los costos de del sistema deslizante.

Tipo	Empresa	Altura [m]	Gastos Generales [UF/m²]	Costos propios del sistema [UF/m²]	Total [UF/m²]
Deslizante	Byggings	70	0.008	0.226	0.234
		140	0.008	0.209	0.217
		210	0.008	0.204	0.211
		280	0.008	0.201	0.208
		350	0.008	0.199	0.207

A diferencia de los sistemas anteriores, el moldaje deslizante se va depreciando con la altura, ya que el costo se calcula por metro lineal y se divide por la altura a construir; luego a mayor altura, menor costo. Otra diferencia a destacar es que el costo del ingeniero a cargo es mayor debido a la capacitación que debe tener para el uso de esta tecnología.

¹⁷ Considerando barras de 6 [m] de largo.

4.5 Resumen comparativo

En los puntos anteriores se entregaron los resultados de los costos de los sistemas de moldajes tradicionales, trepantes, deslizantes y auto trepantes presentes en el mercado chileno. Ahora se realizará un cuadro comparativo de los costos de cada tecnología para las diferentes alturas analizadas; esto es:

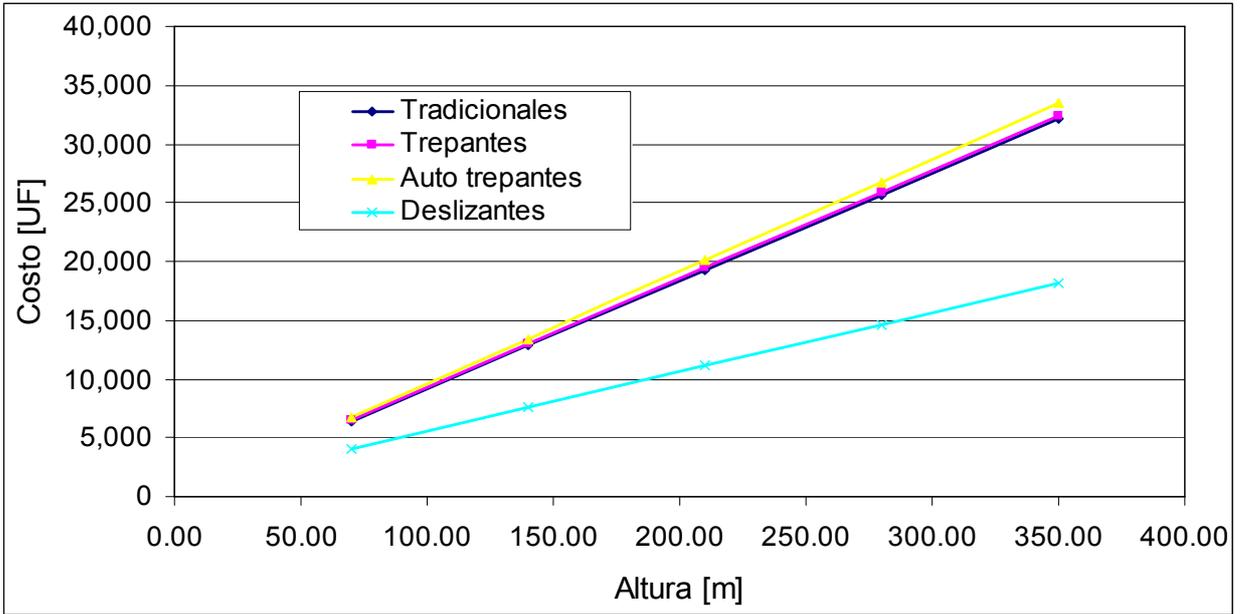
Tabla 4.11: Comparación de precios [UF] para alturas consideradas						
Sistema	Empresa	Alturas [m]				
		70	140	210	280	350
Tradicional [UF]	EFCO	6425	12850	19276	25701	32126
	DOKA	6583	13167	19750	26334	32917
	PERI	6658	13316	19974	26632	33290
	ULMA	6700	13399	20099	26799	33498
Trepante [UF]	EFCO	6486	12972	19458	25944	32430
	DOKA	6540	13080	19620	26160	32700
	PERI	6744	13488	20231	26975	33719
	ULMA	6748	13497	20245	26993	33742
Auto trepante [UF]	EFCO	6688	13376	20064	26752	33440
	DOKA	6583	13166	19748	26331	32914
	PERI	7144	14287	21431	28575	35718
	ULMA	6906	13812	20719	27625	34531
Deslizante [UF]	Byggings	4101	7611	11121	14631	18140

Como se puede apreciar en la tabla 4.11, el sistema deslizante es considerablemente más económico que los otros sistemas con los que se trabajó. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los moldajes deslizantes poseen un mayor riesgo de construcción, donde pueden presentarse problemas como los descritos en el capítulo 3.3.5 que aumentan los costos.

Por otra parte, los encofrados tradicionales y trepantes poseen costos semejantes para las distintas alturas evaluadas a pesar de que el rendimiento del primero es menor al del segundo. Esto se explica porque la diferencia en sus rendimientos se compensa con su diferencia de costos de arriendo.

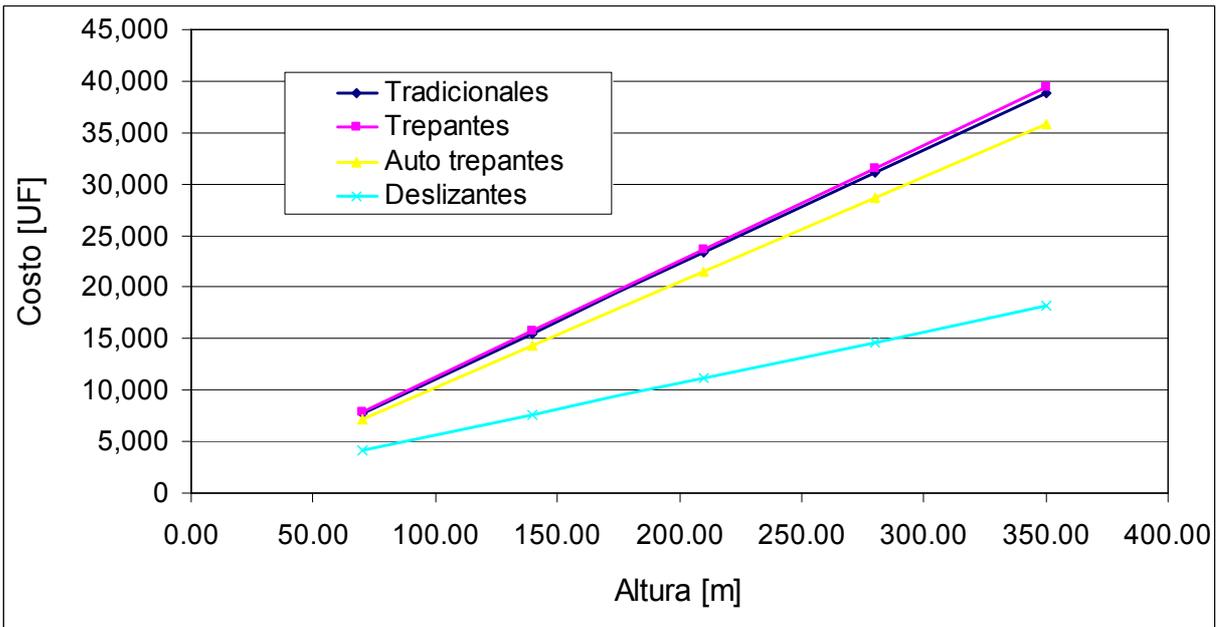
Además, se observa que la diferencia de precios entre los moldajes auto trepantes y los tradicionales se hace cada vez mayor a medida que se aumenta la altura de la construcción. Esto queda más claro si se observa el gráfico 4.1.

Gráfico 4.1: Comparación de costos de los distintos sistemas EFCO con el sistema deslizantes



Para cualquiera de los sistemas ofrecidos por las otras empresas se hubiese obtenido el mismo resultado gráfico. Este resultado puede hacer pensar que nunca va a convenir usar la tecnología auto trepante; sin embargo, en países como Estados Unidos donde la mano de obra es considerablemente más cara que en Chile (del orden de \$1.000.000), el sistema auto trepante se hace más económico desde los 70 [m] de altura; siempre tomando en cuenta estructuras que puedan ser comparables como la caja de ascensores y escaleras de un edificio.

Gráfico 4.2: Misma comparación que gráfico 4.1 con costo de mano de obra para EEUU



Desde el punto de vista de la seguridad se hace interesante el uso de moldajes auto trepantes, ya que trabajar con un sistema tradicional o trepante a alturas sobre los 200 [m] es indudablemente más riesgoso.

Finalmente, si el espacio disponible en obra es reducido, el contar con moldajes que queden sujetos a la estructura resulta conveniente.

5. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

La tecnificación en el rubro de la construcción ha crecido notablemente en las últimas décadas. El mercado se hace cada vez más competitivo y exigente, teniendo como eje: calidad, seguridad y disminución de los plazos de la construcción. Es por ello que se incorporan sistemas cada vez más sofisticados traídos a nuestro país por grandes empresas internacionales de encofrados. Las técnicas que se proponen permiten realizar los trabajos en menor tiempo y mejorar la calidad de los hormigones en cuanto a su acabado superficial, lo que disminuye los costos de terminaciones futuras.

Para la construcción de elementos verticales en edificios, existen distintos métodos o secuencias constructivas, donde destacan los moldajes tradicionales industrializados, trepantes, auto trepantes y deslizantes. Cada uno de estos puede ser utilizado en la mayoría de las estructuras construidas a lo largo de Chile. Sin embargo, debido a características técnicas y económicas, existen algunas limitantes para cada sistema.

Para construcciones verticales, que posean un cambio de sección continuo o singular de magnitud importante en la altura, no conviene la utilización de moldajes deslizantes, ya que realizar un cambio en el espesor es difícil y costoso debido a la necesidad de cambiar los moldes a unos de otras dimensiones. Sólo se pueden hacer cambios discretos en los espesores. En cambio, para los otros sistemas estudiados, el mismo molde puede tomar las distintas posiciones que se requieran, entregando una solución más sencilla y económica. Por otra parte, si no existiesen cambios de espesor en la altura, los encofrados deslizantes son una buena alternativa, porque permiten: mayores economías en moldes, la construcción de la estructura en un tiempo menor al de los otros sistemas y una buena resistencia estructural al no presentar juntas frías, entre otros.

Desde el punto de vista de la calidad de las terminaciones en hormigón, los moldajes trepantes y auto trepantes destacan sobre el resto, ya que logran generar hormigones que prácticamente no necesitan trabajos de terminaciones. Que los moldajes descansan sobre plataformas y que su cimbre y descimbre se realice en forma mecánica y no manual, ayuda a lograr dicha calidad. Por su parte, los encofrados tradicionales deben ser apilados en la obra, por lo que el posible maltrato que sufran se ve reflejado en la superficie de su tablero, generando así superficies irregulares de hormigón. En cuanto a los moldajes deslizantes, al ser un proceso continuo, se logra una terminación con posibles huellas generadas por el potencial arrastre del molde, las cuales son posibles de mejorar con un hormigón más fluido. Además, por

la conicidad del molde y las diferencias de temperatura entre el día y la noche, se producen ondulaciones en el muro.

Por otra parte, para estructuras donde se deben realizar conexiones, como por ejemplo la losa con el muro de la caja de ascensores y escaleras del ejemplo considerado en el punto 4 de este trabajo, resulta más eficiente el uso de moldajes tradicionales, trepantes o auto trepantes, ya que la necesidad de dejar conexiones para losas, vigas y vanos de ventanas ponen en riesgo un deslizamiento continuo por la complejidad de éste. Es por ello que la ventaja de los otros sistemas es que, al tener ciclos de hormigonado, se pueden hacer estas conexiones sin problemas y con más tiempo para una mejor fijación tanto en colocación como en posición.

Desde el punto de vista de la velocidad de construcción, el moldaje deslizante es el más rápido del mercado, incluso más que el auto trepante, esto por su alta velocidad de elevación (entre 15 y 30 [cm/h]). Sin embargo, en cuanto a los problemas que se pueden presentar durante la elevación de ambos sistemas, el encofrado deslizante es más riesgoso y posee mayores costos y tiempos para solucionar dichos problemas.

A pesar de que los resultados demuestran que implementar en Chile un sistema de moldaje auto trepante siempre es más caro que uno tradicional, hay un punto importante a considerar cuando se va a escoger uno sobre otro si se está evaluando una construcción de gran altura (más de 200 [m]); esto es: la seguridad. Las consolas de trabajo del moldaje auto trepante poseen plataformas que tienen elementos de seguridad incorporados para poder trabajar en altura. En cambio, si se piensa en un obrero trabajado a grandes alturas con un moldaje tradicional convencional, es evidente que las condiciones de seguridad disminuyen.

Otro punto importante a considerar para construcciones a grandes alturas es el uso de grúa, ya que el tiempo perdido en transportar moldajes tradicionales, tanto para su cimbre como para su descimbre, y elevar encofrados trepantes, no existe al utilizar las otras dos tecnologías revisadas en este trabajo. Luego, ese tiempo se puede invertir en otras partidas de la obra como lo es el fierro y el hormigón; generando así holguras en estas actividades. Adicionalmente, si existe espacio limitado para poder apilar los moldajes tradicionales que no estén siendo utilizados, se hace aún más valioso el uso de sistemas que se puedan sujetar en los muros mientras la construcción va avanzando.

Es interesante analizar también las ventajas que tienen los sistemas deslizantes y auto trepantes en cuanto a la velocidad de construcción, ya que disminuir los plazos de la obra

gruesa implica directamente una disminución de los plazos de la obra completa, por lo que, usando el caso del ejemplo estudiado, se tienen los espacios listos para arrendar o vender antes que con las tecnologías trepantes y tradicionales; reduciendo el costo financiero del proyecto y generando beneficios en forma anticipada.

Finalmente, se concluye que el sistema auto trepante es una solución técnica que permite acelerar los trabajos de construcción de elementos verticales de hormigón armado manteniendo un alto estándar de calidad y un alto nivel de seguridad; sin embargo, los valores obtenidos no difieren mucho de un sistema a otro, excepto el deslizante que es definitivamente más económico; por lo tanto no se puede ser taxativo en cuanto a que tradicionales y trepantes son más baratos que auto trepantes, ya que pequeñas diferencias que se hagan en las estimaciones de cálculo pueden invertir la situación.

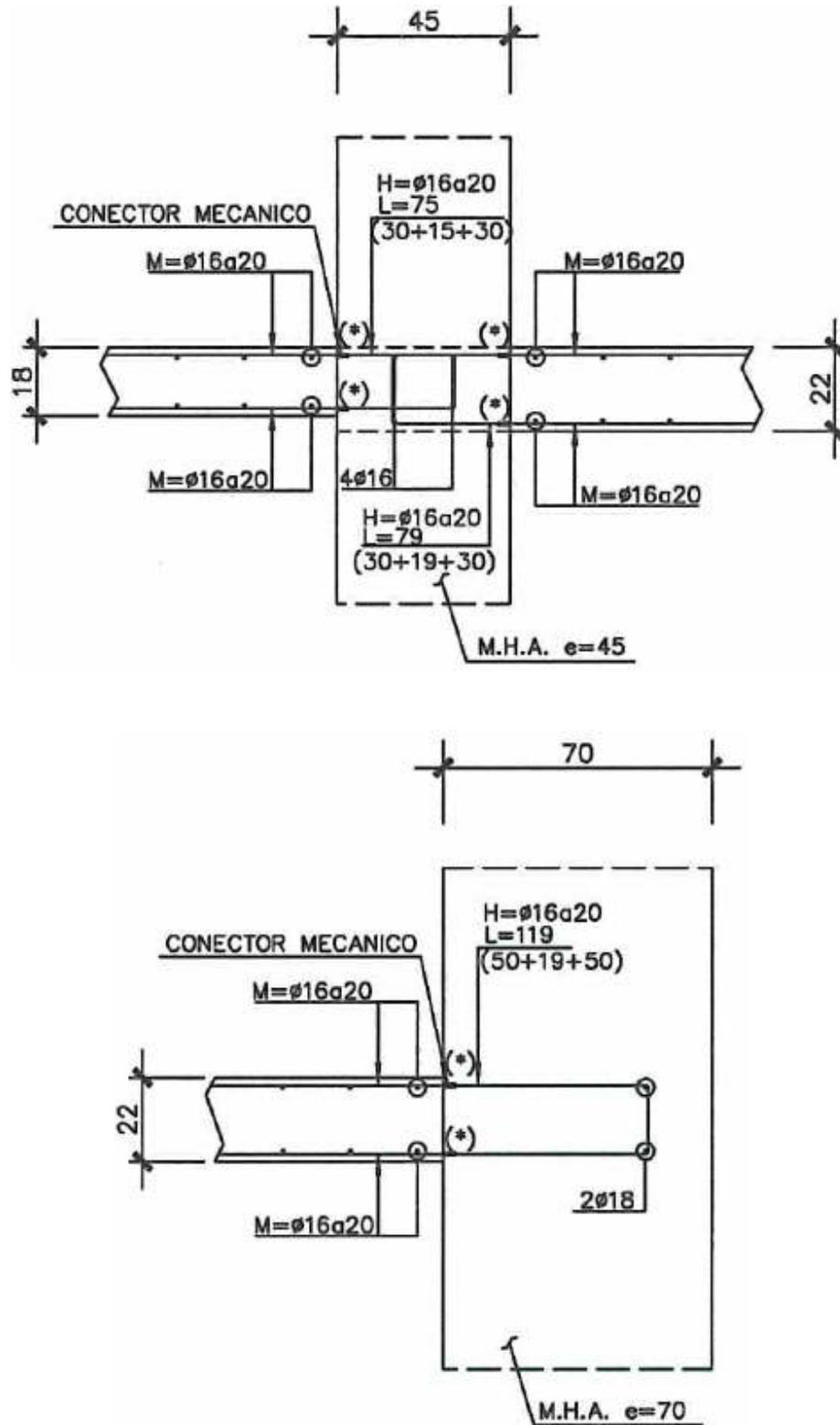
BIBLIOGRAFÍA

- Silva, RP: "Estudio de alternativas de moldaje para una obra en altura y/o repetitiva", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 1985.
- Quezada, JJ: "Técnicas constructivas de encofrados deslizantes para aplicaciones de hormigón arquitectónico. Comparación con moldes trepantes", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil con diploma en Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2002.
- Otaegui, MT: "Encofrados, innovación sin moldes", Revista BIT, Noviembre de 2006.
- DOKA, "Manual de encofrado auto trepante DOKA SKE 50 y SKE 100", Septiembre de 2005. 36p.
- DOKA, "Manual de encofrado marco DOKA Framax Xlife", Julio de 2007. 112p.
- PERI, "Especificaciones técnicas sistema auto trepa ACS torres 1, 2 y 3 mall Costanera Center". 39p.
- PERI, "Self-Climbing Technology", Marzo de 2008. 27p.
- PERI, "Manual de operaciones de Automatic Climbing System ACS 100", Septiembre de 2007. 83p.
- PERI, "TRIO panel formwork", Marzo de 2005. 88p.
- ULMA, "Guía del usuario ORMA 60 KN/m²". 107p.
- ULMA, "Presentación sistema auto trepante", Febrero de 2008. 44p.
- EFCO, "Plate Girder sistema de encofrados", Febrero de 2008. 55p.
- EFCO, "Power Tower sistema de encofrados", Febrero 2008. 35p.

- http://www.osalan.com/datos/pu_978-84-95859-41-9c.pdf/ (OSALAN, Guía práctica de encofrados del gobierno Vasco).
- Instituto mexicano del cemento y del concreto A.C., “Guía para el diseño y la construcción de cimbras aci-347-R94”, año 1994. 50p.
- Hurd, MK: “Formwork for concrete”, Sixth edition, Abril de 1995. 444p.
- Instituto del cemento y del hormigón de Chile, “Especificaciones para tolerancias en materiales y construcciones de concreto”, año 1990. 61p.

ANEXOS

Anexo A: Detalles típicos de conectores mecánicos usados en Costanera Center:



A continuación se presentan imágenes de conectores mecánicos:

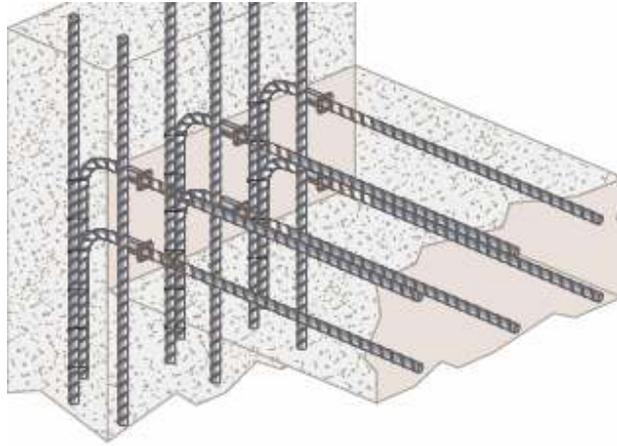


Figura A1: Unión losa – muro con conectores mecánicos.



Figura A2: Acercamiento a conector mecánico.

Anexo B: Tablas de costos de moldajes tradicionales:

Tanto los gastos generales como los costos propios del sistema fueron calculados en [UF/m²], por lo que son equivalentes para todas las alturas consideradas.

Los gastos generales son los mismos para cada empresa con las que se trabajó y corresponden a:

Tabla B1: Gastos generales de los moldajes tradicionales para h = 70 [m]					
Costos de personal					
Personal	Participación	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
Ingeniería	0.10	6.67	71.66	UF/mes	47.77
Capataz obra gruesa	0.18	6.67	38.22	UF/mes	44.59
Topógrafo	0.18	6.67	33.44	UF/mes	39.01
Trazador	0.18	6.67	33.44	UF/mes	39.01
Administrativo	0.10	6.67	16.72	UF/mes	11.15
Bodeguero	0.10	6.67	23.89	UF/mes	15.92
Cuidador	0.10	6.67	10.99	UF/mes	7.32
Total costos personal [UF]					204.78
Costos de maquinaria					
Maquinaria	Participación	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
Grúa	0.30	6.67	238.86	UF/mes	477.71
Total costos maquinaria [UF]					477.71
TOTAL GASTOS GENERALES DE MOLDAJES TRADICIONALES [UF]					682.49
Superficie a construir [m ²]					17,556
TOTAL GASTOS GENERALES DE MOLDAJES TRADICIONALES [UF/m²]					0.039

Los precios propios de los moldajes tradicionales para cada empresa son los siguientes:

Tabla B2: Precios de moldaje tradicional EFCO para h = 70 [m]					
Designación	Rendimiento	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m2]
Arriendo	3.0	posturas/mes	0.43	UF/m2/mes	0.14
Insumos	-	-	0.02	UF/m2	0.02
Transporte	-	-	0.04	UF/m2	0.04
Pérdidas	8.0	%	0.01	UF/m2	0.01
Sub total 1 [UF/m2]					0.22
Designación	Cantidad	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
M.O c/LS	10.0	6.67	27.71	[UF/hombre/mes]	1,847.16
Sub total 2 [UF]					1,847.16
Superficie a construir [m2]					17,556
Sub total 3 [UF/m2]					0.11
TOTAL PRECIO DE MOLDAJE TRADICIONAL EFCO [UF/m2]					0.327

Tabla B3: Precios de moldaje tradicional DOKA para h = 70 [m]					
Designación	Rendimiento	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m2]
Arriendo	3.00	posturas/mes	0.48	UF/m2/mes	0.16
Insumos	-	-	0.02	UF/m2	0.02
Transporte	-	-	0.04	UF/m2	0.04
Pérdidas	8.00	%	0.01	UF/m2	0.01
Sub total 1 [UF/m2]					0.23
Designación	Cantidad	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
M.O c/LS	10.0	6.67	27.71	[UF/hombre/mes]	1,847
Sub total 2 [UF]					1,847
Superficie a construir [m2]					17,556
Sub total 3 [UF/m2]					0.11
TOTAL PRECIO DE MOLDAJE TRADICIONAL DOKA [UF/m2]					0.336

Tabla B4: Precios de moldaje tradicional PERI para h = 70 [m]					
Designación	Rendimiento	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m2]
Arriendo	3.0	posturas/mes	0.49	UF/m2/mes	0.16
Insumos	-	-	0.02	UF/m2	0.02
Transporte	-	-	0.03	UF/m2	0.03
Pérdidas	8.00	%	0.01	UF/m2	0.01
Sub total 1 [UF/m2]					0.24
Designación	Cantidad	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
M.O c/LS	10.0	6.67	27.71	[UF/hombre/mes]	1,847.16
Sub total 2 [UF]					1,847.16
Superficie a construir [m2]					17,556
Sub total 3 [UF/m2]					0.11
TOTAL PRECIO DE MOLDAJE TRADICIONAL PERI [UF/m2]					0.340

Tabla B5: Precios de moldaje tradicional ULMA para h = 70 [m]					
Designación	Rendimiento	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m2]
Arriendo	3.0	posturas/mes	0.49	UF/m2/mes	0.16
Insumos	-	-	0.02	UF/m2	0.02
Transporte	-	-	0.04	UF/m2	0.04
Pérdidas	8.00	%	0.01	UF/m2	0.01
Sub total 1 [UF/m2]					0.24
Designación	Cantidad	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
M.O c/LS	10.0	6.67	27.71	[UF/hombre/mes]	1,847
Sub total 2 [UF]					1,847
Superficie a construir [m2]					17,556
Sub total 3 [UF/m2]					0.11
TOTAL PRECIO DE MOLDAJE TRADICIONAL ULMA [UF/m2]					0.343

Anexo C: Tablas de costos de moldajes trepantes:

Tanto los gastos generales como los costos propios del sistema fueron calculados en [UF/m²], por lo que son equivalentes para todas las alturas consideradas.

Los gastos generales son los mismos para cada empresa con las que se trabajó y corresponden a:

Tabla C1: Gastos generales de los moldajes trepantes para h = 70 [m]					
Costos de personal					
Personal	Participación	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
Ingeniería	0.10	4.00	71.66	UF/mes	28.66
Capataz obra gruesa	0.18	4.00	38.22	UF/mes	26.75
Topógrafo	0.20	4.00	33.44	UF/mes	26.75
Trazador	0.20	4.00	33.44	UF/mes	26.75
Administrativo	0.10	4.00	16.72	UF/mes	6.69
Bodeguero	0.10	4.00	23.89	UF/mes	9.55
Cuidador	0.10	4.00	10.99	UF/mes	4.39
Total costos personal [UF]					129.56
Costos de maquinaria					
Maquinaria	Participación	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
Grúa	0.30	4.00	238.86	UF/mes	286.63
Total costos maquinaria [UF]					286.63
TOTAL GASTOS GENERALES DE MOLDAJES TREPANTES [UF]					416.18
Superficie a construir [m ²]					17,556
TOTAL GASTOS GENERALES DE MOLDAJES TREPANTES [UF/m²]					0.024

Los precios propios de los moldajes trepantes para cada empresa son los siguientes:

Tabla C2: Precios de moldaje trepante EFCO para h = 70 [m]					
Designación	Rendimiento	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m2]
Arriendo	4.0	posturas/mes	0.61	UF/m2/mes	0.15
Insumos	-	-	0.02	UF/m2	0.02
Transporte	-	-	0.05	UF/m2	0.05
Pérdidas	7.20	%	0.01	UF/m2	0.01
Sub total 1 [UF/m2]					0.24
Designación	Cantidad	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
M.O c/LS	14.0	5.00	27.71	[UF/hombre/mes]	1,939.52
Sub total 2 [UF]					1,939.52
Superficie a construir [m2]					17,556
Sub total 3 [UF/m2]					0.11
TOTAL PRECIO DE MOLDAJE TREPANTE EFCO [UF/m2]					0.346

Tabla C3: Precios de moldaje trepante DOKA para h = 70 [m]					
Designación	Rendimiento	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m2]
Arriendo	4.0	posturas/mes	0.64	UF/m2/mes	0.16
Insumos	-	-	0.02	UF/m2	0.02
Transporte	-	-	0.04	UF/m2	0.04
Pérdidas	7.20	%	0.01	UF/m2	0.01
Sub total 1 [UF/m2]					0.24
Designación	Cantidad	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
M.O c/LS	14.0	5.00	27.71	[UF/hombre/mes]	1,939.52
Sub total 2 [UF]					1,939.52
Superficie a construir [m2]					17,556
Sub total 3 [UF/m2]					0.11
TOTAL PRECIO DE MOLDAJE TREPANTE DOKA [UF/m2]					0.349

Tabla C4: Precios de moldaje trepante PERI para h = 70 [m]					
Designación	Rendimiento	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m2]
Arriendo	4.0	posturas/mes	0.70	UF/m2/mes	0.17
Insumos	-	-	0.02	UF/m2	0.02
Transporte	-	-	0.04	UF/m2	0.04
Pérdidas	7.20	%	0.01	UF/m2	0.01
Sub total 1 [UF/m2]					0.25
Designación	Cantidad	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
M.O c/LS	14.0	5.00	27.71	[UF/hombre/mes]	1,939.52
Sub total 2 [UF]					1,939.52
Superficie a construir [m2]					17,556
Sub total 3 [UF/m2]					0.11
TOTAL PRECIO DE MOLDAJE TREPANTE PERI [UF/m2]					0.360

Tabla C5: Precios de moldaje trepante ULMA para h = 70 [m]					
Designación	Rendimiento	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m2]
Arriendo	4.0	posturas/mes	0.68	UF/m2/mes	0.17
Insumos	-	-	0.02	UF/m2	0.02
Transporte	-	-	0.04	UF/m2	0.04
Pérdidas	7.20	%	0.01	UF/m2	0.01
Sub total 1 [UF/m2]					0.25
Designación	Cantidad	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
M.O c/LS	14.0	5.00	27.71	[UF/hombre/mes]	1,939.52
Sub total 2 [UF]					1,939.52
Superficie a construir [m2]					17,556
Sub total 3 [UF/m2]					0.11
TOTAL PRECIO DE MOLDAJE TREPANTE ULMA [UF/m2]					0.361

Anexo D: Tablas de costos de moldajes auto trepantes:

Tanto los gastos generales como los costos propios del sistema fueron calculados en [UF/m²], por lo que son equivalentes para todas las alturas consideradas.

Los gastos generales son los mismos para cada empresa con las que se trabajó y corresponden a:

Tabla D1: Gastos generales de los moldajes auto trepantes para h = 70 [m]					
Costos de personal					
Personal	Participación	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
Ingeniería	0.10	2.86	71.66	UF/mes	20.47
Capataz obra gruesa	0.18	2.86	38.22	UF/mes	19.11
Topógrafo	0.20	2.86	33.44	UF/mes	19.11
Trazador	0.20	2.86	33.44	UF/mes	19.11
Administrativo	0.10	2.86	16.72	UF/mes	4.78
Bodeguero	0.10	2.86	23.89	UF/mes	6.82
Cuidador	0.10	2.86	10.99	UF/mes	3.14
Total costos personal [UF]					92.54
Costos de maquinaria					
Maquinaria	Participación	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
Grúa	0.00	2.86	238.86	UF/mes	0.00
Total costos maquinaria [UF]					0.00
TOTAL GASTOS GENERALES DE MOLDAJES AUTO TREPANTES [UF]					92.54
Superficie a construir [m ²]					17,556
TOTAL GASTOS GENERALES DE MOLDAJES AUTO TREPANTES [UF/m²]					0.01

Los precios propios de los moldajes auto trepantes para cada empresa son los siguientes:

Tabla D2: Precios de moldaje auto trepante EFCO para h = 70 [m]					
Designación	Rendimiento	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m2]
Arriendo	6.0	posturas/mes	1.50	UF/m2/mes	0.25
Insumos	-	-	0.02	UF/m2	0.02
Transporte	-	-	0.05	UF/m2	0.05
Pérdidas	4.00	%	0.01	UF/m2	0.01
Sub total 1 [UF/m2]					0.34
Designación	Cantidad	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
M.O c/LS	7	3.33	27.71	[UF/hombre/mes]	646.51
Sub total 2 [UF]					646.51
Superficie a construir [m2]					17,556
Sub total 3 [UF/m2]					0.04
TOTAL PRECIO DE MOLDAJE AUTO TREPANTE EFCO [UF/m2]					0.376

Tabla D3: Precios de moldaje auto trepante DOKA para h = 70 [m]					
Designación	Rendimiento	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m2]
Arriendo	6.0	posturas/mes	1.50	UF/m2/mes	0.25
Insumos	-	-	0.02	UF/m2	0.02
Transporte	-	-	0.05	UF/m2	0.05
Pérdidas	4.00	%	0.01	UF/m2	0.01
Sub total 1 [UF/m2]					0.33
Designación	Cantidad	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
M.O c/LS	7	3.33	27.71	[UF/hombre/mes]	646.51
Sub total 2 [UF]					646.51
Superficie a construir [m2]					17,556
Sub total 3 [UF/m2]					0.04
TOTAL PRECIO DE MOLDAJE AUTO TREPANTE DOKA [UF/m2]					0.370

Tabla D4: Precios de moldaje auto trepante PERI para h = 70 [m]					
Designación	Rendimiento	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m2]
Arriendo	6.0	posturas/mes	1.70	UF/m2/mes	0.28
Insumos	-	-	0.02	UF/m2	0.02
Transporte	-	-	0.05	UF/m2	0.05
Pérdidas	4.00	%	0.01	UF/m2	0.01
Sub total 1 [UF/m2]					0.36
Designación	Cantidad	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
M.O c/LS	7	3.33	27.71	[UF/hombre/mes]	646.51
Sub total 2 [UF]					646.51
Superficie a construir [m2]					17,556
Sub total 3 [UF/m2]					0.04
TOTAL PRECIO DE MOLDAJE AUTO TREPANTE PERI [UF/m2]					0.402

Tabla D5: Precios de moldaje auto trepante ULMA para h = 70 [m]					
Designación	Rendimiento	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m2]
Arriendo	6.0	posturas/mes	1.60	UF/m2/mes	0.27
Insumos	-	-	0.02	UF/m2	0.02
Transporte	-	-	0.05	UF/m2	0.05
Pérdidas	4.00	%	0.01	UF/m2	0.01
Sub total 1 [UF/m2]					0.35
Designación	Cantidad	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
Operadores	7	3.33	27.71	[UF/hombre/mes]	646.51
Sub total 2 [UF]					646.51
Superficie a construir [m2]					17,556
Sub total 3 [UF/m2]					0.04
TOTAL PRECIO DE MOLDAJE AUTO TREPANTE ULMA [UF/m2]					0.388

Anexo E: Tablas de costos de moldajes deslizantes:

En este caso los gastos generales fueron calculados en [UF/m²], por lo que son equivalentes para todas las alturas consideradas. Sin embargo, como el costo propio del moldaje deslizante decrece con la altura se deben entregar los costos para cada una de ellas.

Los gastos generales son:

Tabla E1: Gastos generales de los moldajes deslizantes para h = 70 [m]					
Costos de personal					
Personal	Participación	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
Ingeniería	0.10	2.50	85.99	UF/mes	21.50
Capataz obra gruesa	0.18	2.50	38.22	UF/mes	16.72
Especialista de hormigón	0.40	2.50	23.89	UF/mes	23.89
Topógrafo	0.20	2.50	33.44	UF/mes	16.72
Trazador	0.20	2.50	33.44	UF/mes	16.72
Administrativo	0.10	2.50	16.72	UF/mes	4.18
Bodeguero	0.10	2.50	23.89	UF/mes	5.97
Cuidador	0.10	2.50	10.99	UF/mes	2.75
Total costos personal [UF]					108.44
Costos de maquinaria					
Maquinaria	Participación	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
Grúa	0.00	2.50	238.86	UF/mes	0.00
Total costos maquinaria [UF]					0.00
Costos de servicios					
Servicio	Participación	Plazo [meses]	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF]
Generador	0.33	2.50	31.05	UF/mes	25.62
Total costos servicios					25.62
TOTAL GASTOS GENERALES DE MOLDAJES DESLIZANTES [UF/m²]					0.01

Los precios propios de los moldajes deslizantes para cada empresa son los siguientes:

Tabla E2: Precios de moldajes deslizantes para h = 70 [m]					
Hechura del molde					
Componente	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m]
Madera elaborada	2.5	planchas/m	0.13	UF/planchas	0.33
Madera bruta	5.0	planchas/m	0.08	UF/planchas	0.40
Pernos	8.0	unidades/m	0.07	UF/unidad	0.56
Latón negro	1.1	m/m	0.10	UF/m	0.11
Clavos	0.5	Kg/m	0.02	UF/Kg	0.01
MO c/LS	1.0	-	0.25	UF/m	0.25
Total hechura del molde [UF/m]					1.66
Mano de obra de suministro, armado y descimbre					
Componente	Cantidad	Precio unitario		Unidad	TOTAL [UF/m]
MO c/LS armado	1	0.30		UF/m	0.30
MO c/LS desarme	1	0.15		UF/m	0.15
MO c/LS plataforma	1	0.15		UF/m	0.15
MO c/LS colocación gatos	1	0.10		UF/m	0.10
Total mano de obra de suministro, armado y descimbre [UF/m]					0.70
Sub total 1 [UF/m]					2.36
Altura a construir [m]					70
Sub total 2 [UF/m²]					0.03
Costos del sistema de elevación					
Componente	Precio unitario		Unidad	TOTAL [UF/m²]	
Arriendo de gatas	0.08		UF/m ²	0.08	
Cañas	0.02		UF/m ²	0.02	
Platachado	0.07		UF/m ²	0.07	
Operadores	0.02		UF/m ²	0.02	
Total costos del moldaje deslizante [UF/m ²]					0.19
TOTAL PRECIO DE MOLDAJES DESLIZANTES [UF/m²]					0.226

Tabla E3: Precios de moldajes deslizantes para h = 140 [m]					
Hechura del molde					
Componente	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m]
Madera elaborada	2.5	planchas/m	0.13	UF/planchas	0.33
Madera bruta	5.0	planchas/m	0.08	UF/planchas	0.40
Pernos	8.0	unidades/m	0.07	UF/unidad	0.56
Latón negro	1.1	m/m	0.10	UF/m	0.11
Clavos	0.5	Kg/m	0.02	UF/Kg	0.01
MO c/LS	1.0	-	0.25	UF/m	0.25
Total hechura del molde [UF/m]					1.66
Mano de obra de suministro, armado y descimbre					
Componente	Cantidad	Precio unitario		Unidad	TOTAL [UF/m]
MO c/LS armado	1	0.30		UF/m	0.30
MO c/LS desarme	1	0.15		UF/m	0.15
MO c/LS plataforma	1	0.15		UF/m	0.15
MO c/LS colocación gatos	1	0.10		UF/m	0.10
Total mano de obra de suministro, armado y descimbre [UF/m]					0.70
Sub total 1 [UF/m]					2.36
Altura a construir [m]					140
Sub total 2 [UF/m²]					0.02
Costos del sistema de elevación					
Componente	Precio unitario		Unidad	TOTAL [UF/m²]	
Arriendo de gatas	0.08		UF/m ²	0.08	
Cañas	0.02		UF/m ²	0.02	
Platachado	0.07		UF/m ²	0.07	
Operadores	0.02		UF/m ²	0.02	
Total costos del moldaje deslizante [UF/m ²]					0.19
TOTAL PRECIO DE MOLDAJES DESLIZANTES [UF/m²]					0.209

Tabla E4: Precios de moldajes deslizantes para h = 210 [m]					
Hechura del molde					
Componente	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m]
Madera elaborada	2.5	planchas/m	0.13	UF/planchas	0.33
Madera bruta	5.0	planchas/m	0.08	UF/planchas	0.40
Pernos	8.0	unidades/m	0.07	UF/unidad	0.56
Latón negro	1.1	m/m	0.10	UF/m	0.11
Clavos	0.5	Kg/m	0.02	UF/Kg	0.01
MO c/LS	1.0	-	0.25	UF/m	0.25
Total hechura del molde [UF/m]					1.66
Mano de obra de suministro, armado y descimbre					
Componente	Cantidad	Precio unitario		Unidad	TOTAL [UF/m]
MO c/LS armado	1	0.30		UF/m	0.30
MO c/LS desarme	1	0.15		UF/m	0.15
MO c/LS plataforma	1	0.15		UF/m	0.15
MO c/LS colocación gatos	1	0.10		UF/m	0.10
Total mano de obra de suministro, armado y descimbre [UF/m]					0.70
Sub total 1 [UF/m]					2.36
Altura a construir [m]					210
Sub total 2 [UF/m²]					0.01
Costos del sistema de elevación					
Componente	Precio unitario		Unidad	TOTAL [UF/m²]	
Arriendo de gatas	0.08		UF/m ²	0.08	
Cañas	0.02		UF/m ²	0.02	
Platachado	0.07		UF/m ²	0.07	
Operadores	0.02		UF/m ²	0.02	
Total costos del moldaje deslizante [UF/m ²]					0.19
TOTAL PRECIO DE MOLDAJES DESLIZANTES [UF/m²]					0.204

Tabla E5: Precios de moldajes deslizantes para h = 280 [m]					
Hechura del molde					
Componente	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m]
Madera elaborada	2.5	planchas/m	0.13	UF/planchas	0.33
Madera bruta	5.0	planchas/m	0.08	UF/planchas	0.40
Pernos	8.0	unidades/m	0.07	UF/unidad	0.56
Latón negro	1.1	m/m	0.10	UF/m	0.11
Clavos	0.5	Kg/m	0.02	UF/Kg	0.01
MO c/LS	1.0	-	0.25	UF/m	0.25
Total hechura del molde [UF/m]					1.66
Mano de obra de suministro, armado y descimbre					
Componente	Cantidad	Precio unitario		Unidad	TOTAL [UF/m]
MO c/LS armado	1	0.30		UF/m	0.30
MO c/LS desarme	1	0.15		UF/m	0.15
MO c/LS plataforma	1	0.15		UF/m	0.15
MO c/LS colocación gatos	1	0.10		UF/m	0.10
Total mano de obra de suministro, armado y descimbre [UF/m]					0.70
Sub total 1 [UF/m]					2.36
Altura a construir [m]					280
Sub total 2 [UF/m²]					0.01
Costos del sistema de elevación					
Componente	Precio unitario		Unidad	TOTAL [UF/m²]	
Arriendo de gatas	0.08		UF/m ²	0.08	
Cañas	0.02		UF/m ²	0.02	
Platachado	0.07		UF/m ²	0.07	
Operadores	0.02		UF/m ²	0.02	
Total costos del moldaje deslizante [UF/m ²]					0.19
TOTAL PRECIO DE MOLDAJES DESLIZANTES [UF/m²]					0.201

Tabla E6: Precios de moldajes deslizantes para h = 350 [m]					
Hechura del molde					
Componente	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Unidad	TOTAL [UF/m]
Madera elaborada	2.5	planchas/m	0.13	UF/planchas	0.33
Madera bruta	5.0	planchas/m	0.08	UF/planchas	0.40
Pernos	8.0	unidades/m	0.07	UF/unidad	0.56
Latón negro	1.1	m/m	0.10	UF/m	0.11
Clavos	0.5	Kg/m	0.02	UF/Kg	0.01
MO c/LS	1.0	-	0.25	UF/m	0.25
Total hechura del molde [UF/m]					1.66
Mano de obra de suministro, armado y descimbre					
Componente	Cantidad	Precio unitario		Unidad	TOTAL [UF/m]
MO c/LS armado	1	0.30		UF/m	0.30
MO c/LS desarme	1	0.15		UF/m	0.15
MO c/LS plataforma	1	0.15		UF/m	0.15
MO c/LS colocación gatos	1	0.10		UF/m	0.10
Total mano de obra de suministro, armado y descimbre [UF/m]					0.70
Sub total 1 [UF/m]					2.36
Altura a construir [m]					350
Sub total 2 [UF/m²]					0.01
Costos del sistema de elevación					
Componente	Precio unitario		Unidad	TOTAL [UF/m²]	
Arriendo de gatas	0.08		UF/m ²	0.08	
Cañas	0.02		UF/m ²	0.02	
Platachado	0.07		UF/m ²	0.07	
Operadores	0.02		UF/m ²	0.02	
Total costos del moldaje deslizante [UF/m ²]					0.19
TOTAL PRECIO DE MOLDAJES DESLIZANTES [UF/m²]					0.199